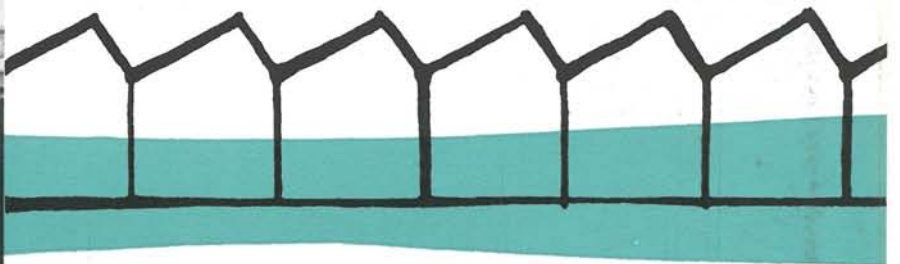


832-14

estructura prefabricada de una nave industrial

JEAN SWETCHINE, ingeniero E. T. P.
R. LEBRET, arquitecto



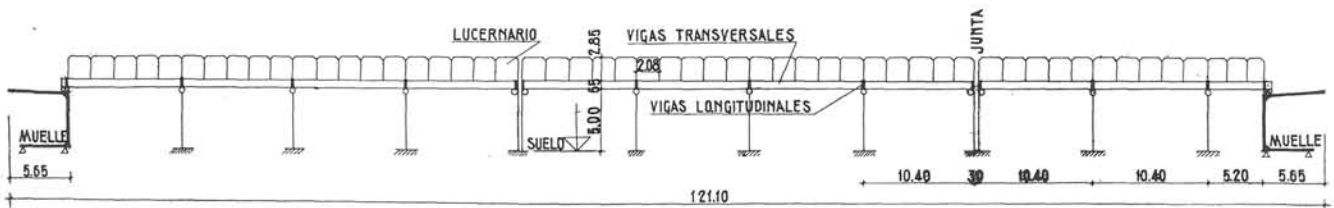
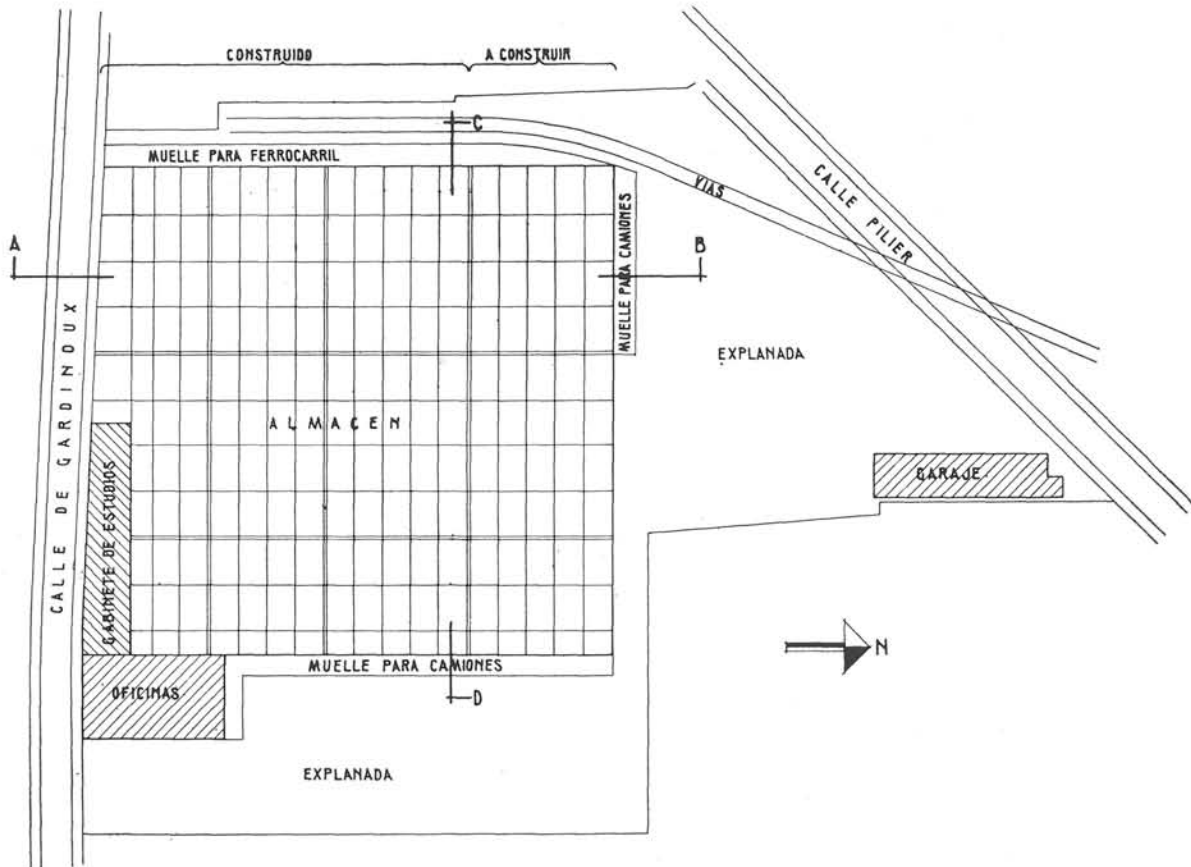
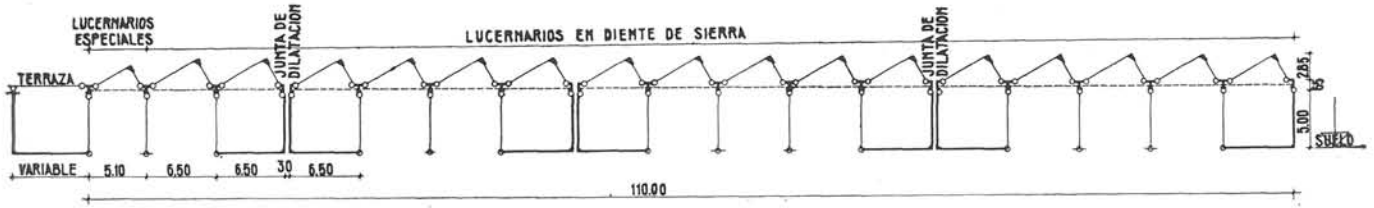
SINOPSIS

En la zona norte de París, barriada de Aubervilliers, se ha construido un almacén industrial por cuenta de la Société Générale de Fonderie, de 110×110 m en planta. La cubierta de esta construcción, de elementos prefabricados, está constituida por una serie de lucernarios formando diente de sierra. En este trabajo se describen los principios de cálculo estático, métodos constructivos y de fabricación y montaje de los elementos estructurales.



Diversas fases de montaje.

planta y secciones A. B. y C. D.



generalidades

En la barriada de Aubervilliers, norte de Paris, se ha construido un almacén industrial de 10.000 m² de superficie.

El arquitecto R. Lebreton había hecho un estudio previo de esta obra, en el que se llegó a definir las características más importantes de la solución técnica que podían servir de base para la ejecución de la obra.



Perforadoras, compactadores y niveladoras consolidan y preparan el terreno.



Trépano y campana, operando a percusión para apertura de pozos de cimentación.

La empresa Forges et Ateliers de Commentryoisel, licitadora en la subasta, de la que salió triunfante, propuso una solución que utilizaría elementos prefabricados de hormigón armado o pretensado.

El período constructivo no debía durar más de ocho meses, y se estableció una fuerte penalidad por cada día de retraso del plazo previsto para la entrega de la obra.

El proyecto adoptado fue un reticulado de vigas longitudinales y transversales, de $10,40 \times 6,50$ m, apoyado sobre soportes. La cubierta debía formar una serie de lucernarios constituyendo diente de sierra. Los elementos debían ser prefabricados, unos en taller y otros a pie de obra, utilizando hormigón armado y pretensando algunas vigas.

Los soportes, hormigonados «in situ», se construyeron con encofrados prefabricados de hormigón, preparados en taller, y andamios tubulares metálicos.

estudio estático de la estructura

Para la estabilidad general del conjunto de la obra se podían admitir dos concepciones, según que se tuvieran o no en cuenta los esfuerzos horizontales en la estructura, normal y sin viento.

De estas dos soluciones, denominaremos hiperestática a la que admite esfuerzos horizontales, mientras que se ha reservado el de isostática a la que se supone los elimina.

En la solución isostática, que es la primera que se estudió, las cerchas que forman los dientes de sierra de la cubierta trabajan como vigas simplemente apoyadas, por lo que, consecuentemente, no se engendra ningún empuje.

El comportamiento del conjunto se puede resumir de la forma siguiente: bajo la acción de la gravedad, todas las vigas de carga (transversales) se hallan solicitadas por momentos en el plano vertical. Las vigas secundarias o longitudinales juegan un papel de atado; bajo la acción del viento, las vigas transversales absorben en flexión los esfuerzos que se originan en las cabezas de los soportes. Como los soportes ordinarios no pueden trabajar a flexión debido a su pequeña inercia, las vigas longitudinales transmiten los esfuerzos hasta las juntas de dilatación, donde son absorbidos por soportes especiales dimensionados a este efecto.

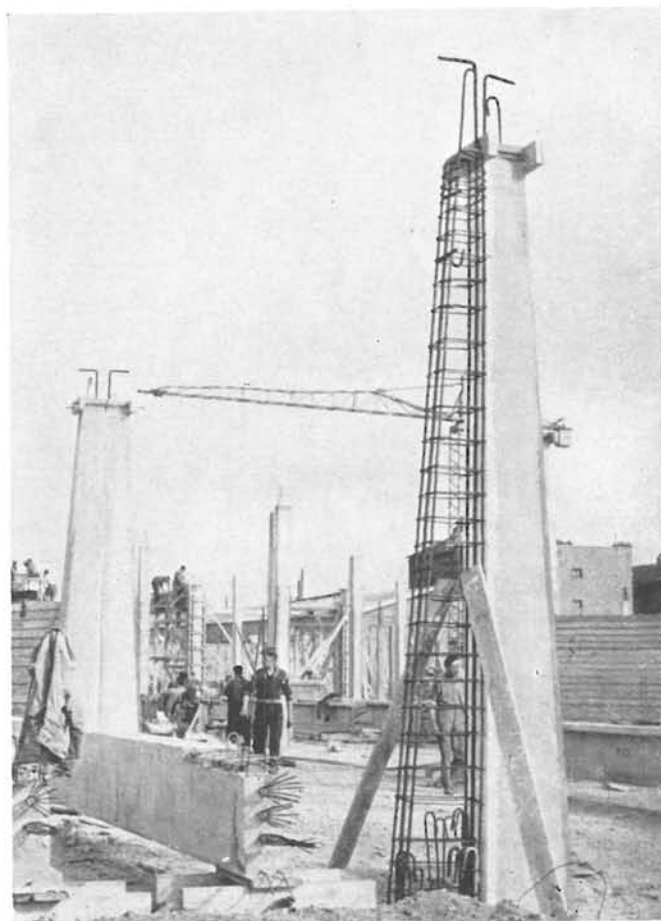
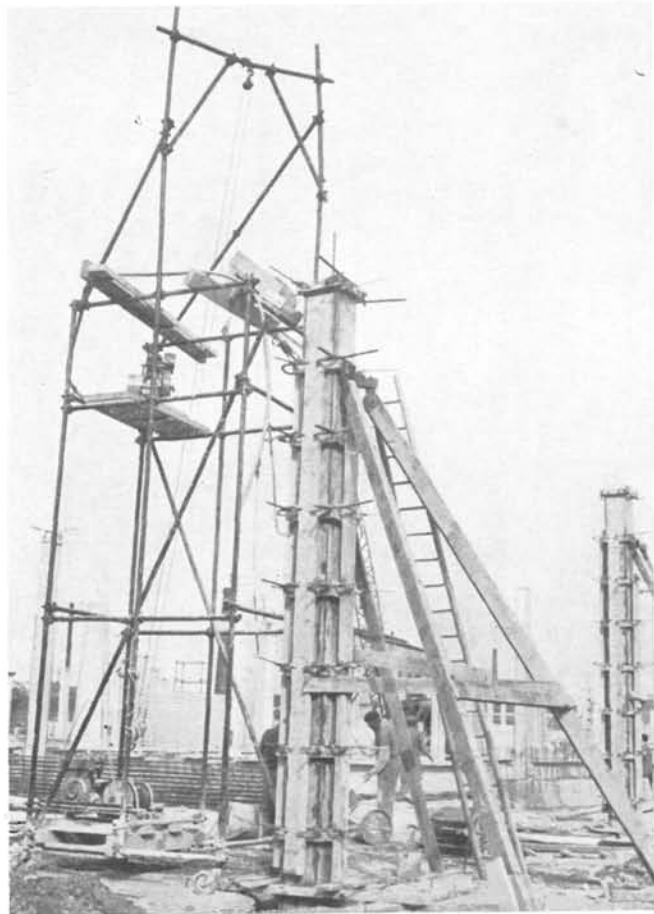
En la solución hiperestática, las cerchas de los dientes de sierra se han considerado como sujetas a tope en sus extremidades, trabajando como si se tratase de un arco de dos articulaciones. Los empujes originados por la acción de las cargas verticales tienen el mismo valor en los dos apoyos, anulándose, por tanto, sobre una misma viga de tipo ordinario; sin embargo, el empuje aparece con toda su integridad sobre las vigas que forman los labios de las juntas de dilatación.

Así, pues, el comportamiento del sistema hiperestático se puede resumir de la forma siguiente: bajo la acción de los esfuerzos verticales, las vigas ordinarias trabajan con flexión vertical, mientras que las vigas de las juntas se hallan sometidas, a su vez, a una flexión en el plano horizontal, por lo que han de ser capaces de absorber los empujes creados por las cerchas de los lucernarios; las vigas longitudinales desempeñan un papel de tirante, recogiendo el empuje que originan las vigas en las cabezas de los soportes. Bajo la acción del viento, el comportamiento de este sistema no difiere del correspondiente a la solución isostática, y, en lo que respecta a la acción del viento en dirección paralela a la de los caballetes, tanto en una solución como en otra se absorbe por las estructuras, en forma de ménsula, que protegen los muelles laterales del almacén.

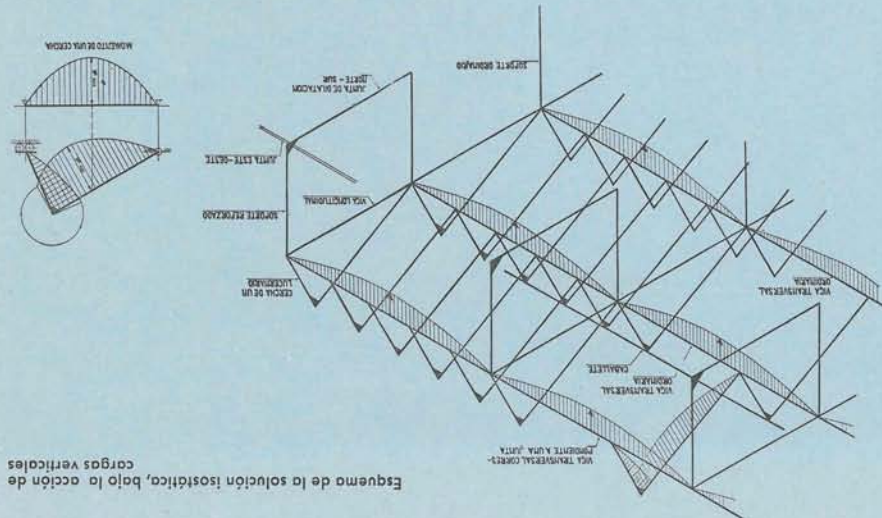
ventajas e inconvenientes de cada solución

El interés en la solución isostática reside, evidentemente: por una parte, en la simplicidad de su cálculo, ya que las solicitaciones a que se halla sometido están bien definidas; y por otra, porque facilita la ejecución, pues las cerchas de los dientes de sierra no necesitan un dimensionado riguroso, las vigas longitudinales no presentan serios problemas de atado con las transversales, y, además, durante el montaje, la estabilidad de cada tramo no necesita la ayuda de los vecinos, por ser suficiente la suya propia.

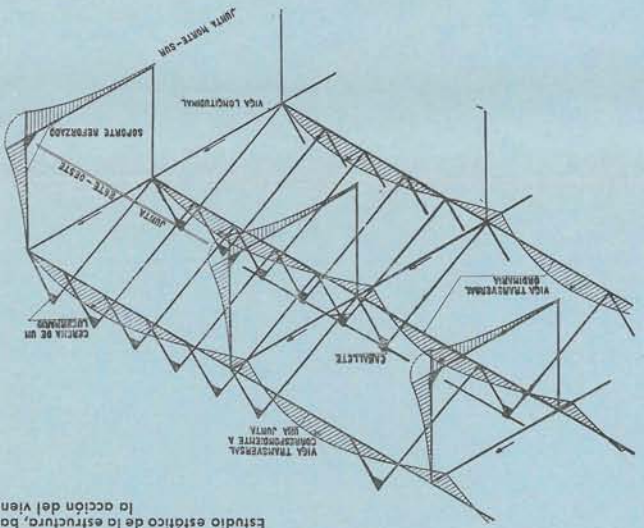
Una fase del hormigonado de montantes reforzados, capaces de resistir los empujes horizontales.



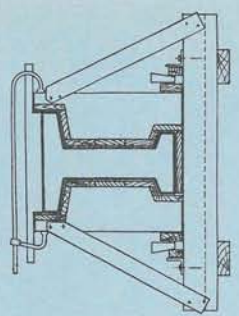
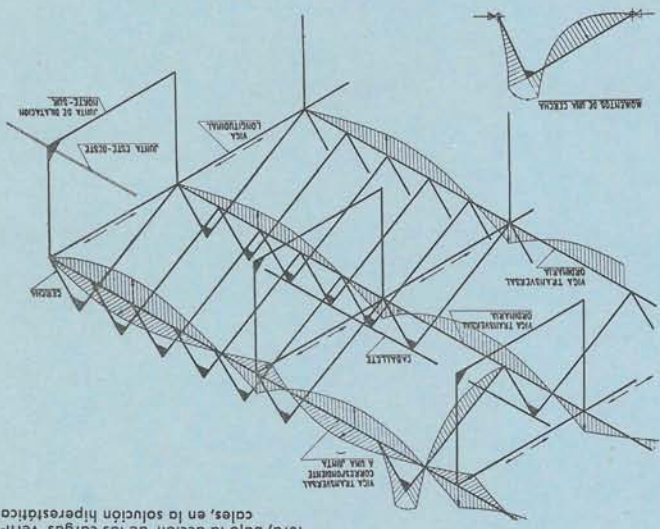
Esquema de la solución isostática, bajo la acción de cargas verticales



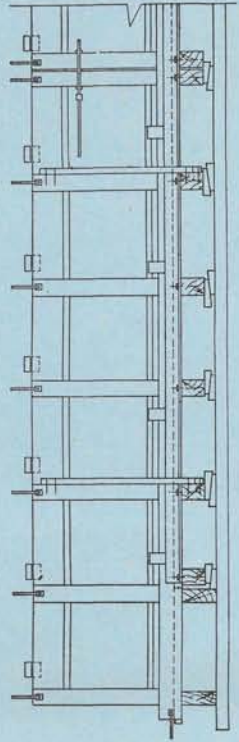
Estudio estático de la estructura, bajo la acción del viento



Esquema de la estabilidad de la estructura, bajo la acción de las cargas verticales, en la solución hiperestática



Encofrado de una de las vigas



Esto no obstante, aun siendo una solución seductora, aparentemente, presenta serios inconvenientes, de los que los más importantes son: En primer lugar, la presencia de momentos negativos parásitos en los caballetes, debidos a los rozos entre piezas de hormigón; la presencia de los góterones de forma particular, y la imperfección de la hipótesis de apoyos libres; todo lo cual obligaría a armar convenientemente para evitar estos momentos. Y en segundo lugar, que el momento máximo de una de estas cerchas sería unas dos veces mayor que el correspondiente a la misma cercha en el sistema hiperestático, por lo que es fácil darse cuenta del ahorro considerable de material y mayor elasticidad que del sistema hiperestático se pueda obtener.

Estas razones son más que suficientes para renunciar a la solución ideológica en provecho de la hiperestática, a pesar de las dificultades que este último sistema lleva consigo.

El sistema hiperestático presenta dificultades para lograr un equilibrio estático entre las cerchas y las vigas que las soportan; a lo que hay que añadir, que se debe asegurar la estabilidad de la obra, con objeto de evitar su ruina en caso de desaparecer una de sus partes. Y además, la ejecución requiere que los elementos prefabricados tengan sus dimensiones dentro de límites muy exigentes; sujeción durante el montaje, ya que un tramo montado no se halla en equilibrio con el vecino y, en términos generales, este sistema exige un depurado grado de techismo en la obra.

características principales de la solución hiperestática

En el estudio de la estabilidad de esta estructura ha sido una preocupación constante el asegurar un comportamiento satisfactorio de la obra, en los tres casos siguientes: cuando la estructura se halla en servicio normal y con o sin sobrecargas de agentes atmosféricos; así como durante el montaje. Ya que el empuje de un tramo de cerchas que se apoya sobre una viga transversal debe ser absorbido por dicha viga trabajando a flexión, y, finalmente, en caso de ruina parcial de la obra, porque la parte de estructura aún en pie ha de poder resistir para evitar las consecuencias desastrosas que un relajamiento de los elementos que han de resistir el empuje pudieran motivar. Esta condición es de la misma naturaleza que la anterior.

cerchas de los lucernarios

Estos elementos han sido calculados de acuerdo con las hipótesis siguientes: los dos apoyos en que descansan han de ser geométricamente fijos y conocer las sobrelargas de rotura, en el caso de una relajación de distancia de 2 cm sobre la teóricamente admitida entre apoyos.

Dado el peso y dimensiones de estos elementos, se han estudiado los esfuerzos que han de resistir durante el transporte y colocación en obra.

Vigas transversales

Estas vigas se han prefabricado utilizando los procedimientos de pretensado; técnica que se justifica por las siguientes consideraciones: las vigas de hormigón pretensado experimentan deformaciones de menor consideración; por su naturaleza, estas vigas se prestan fácilmente a la creación de las contrafuerzas necesarias, y, como se hallan siempre en un estado de compresión, se evitan de ellas un buen comportamiento bajo los efectos adversos de montaje primero y del viento después.

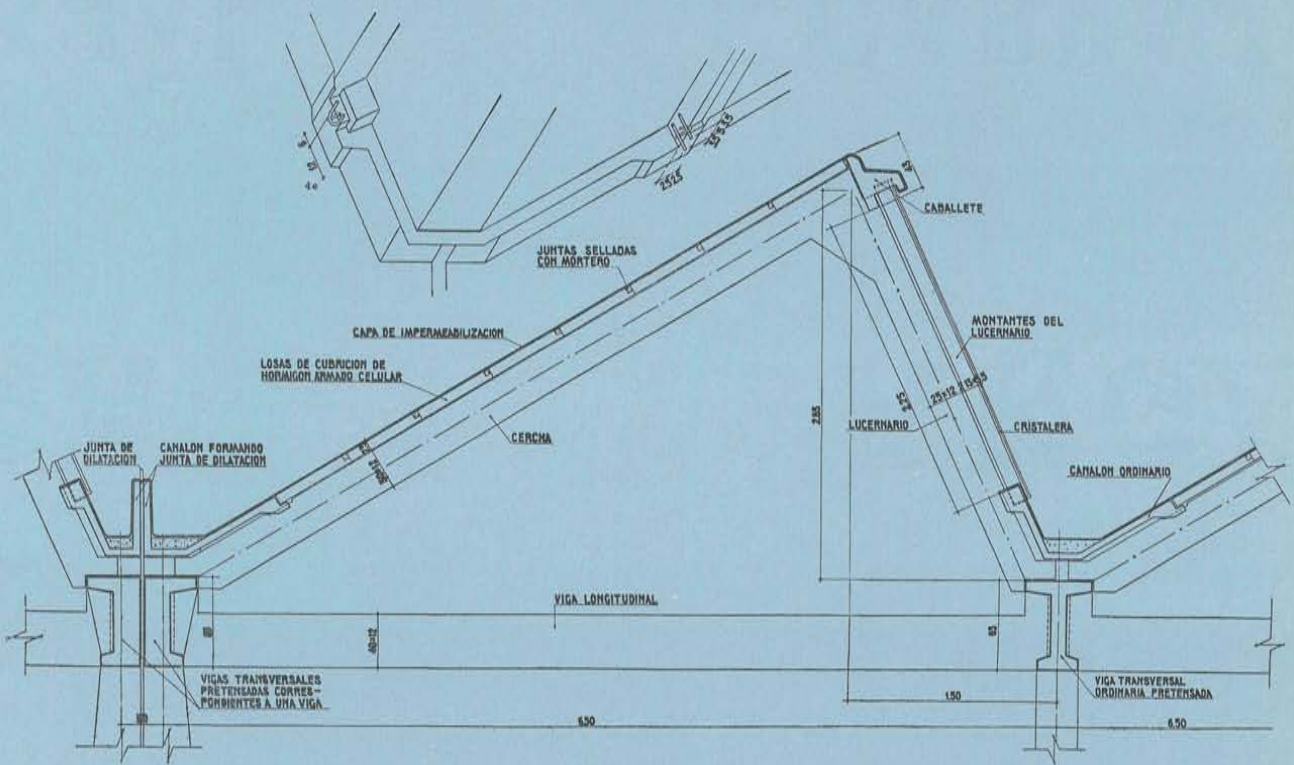
Bajo el punto de vista económico, se hizo un estudio comparativo entre el hormigón armado y el pretensado, resultando, este último, con sensible ventaja sobre aquel.

Las vigas transversales se han prefabricado siguiendo los métodos Freyssinet para el pretensado; estos elementos trabajan como vigas continuas, y, para el cálculo de flexiones, el valor admitido para los momentos negativos sobre apoyos, donde las secciones están formadas por hormigón armado, se eligió el más débil entre los momentos obtenidos por los procedimientos clásicos de continuidad y el momento resistente de la sección sin armaduras de compresión, en las que se ha admitido que el hormigón, vertido sin situar, trabaja con una carga límite de 72 kg/cm².

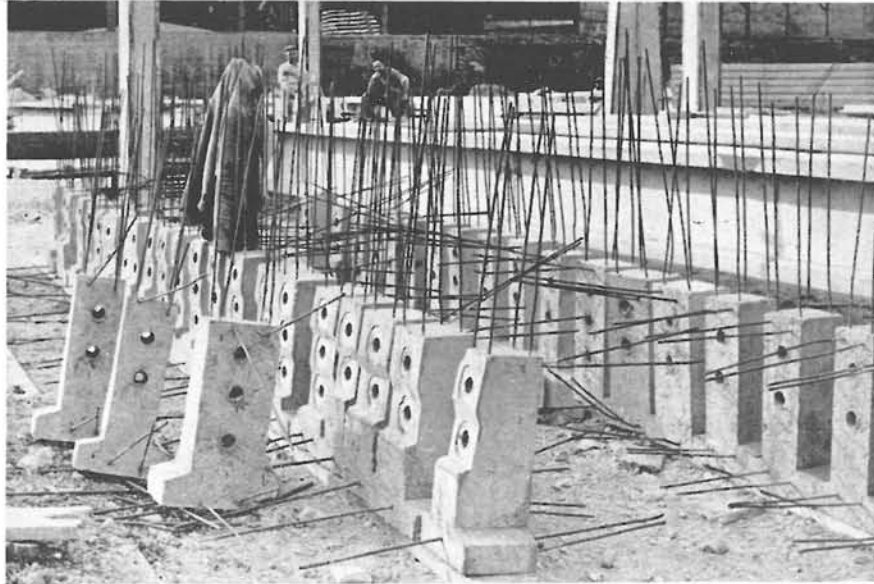
La armadura de pretensado está compuesta por cables de acero especial, de 12 alambres cada uno, trabajando a 83 kg/cm² y tendido en cuarta las diversas tralascas y pérdidas de tensión. La armadura suplementaria para los momentos negativos de los apoyos es de acero recuberto y de gran adherencia, trabajando a razón de 2100 kg/cm². Las armaduras transversales y longitudinales de construcción son de acero dulce, y trabajan a 1460 kg/cm². La carga de trabajo admisible para el hormigón pretensado de las vigas es de 120 kg/cm².

Un estudio minucioso condujo a dos tipos de viga: uno, en forma de doble T, llamado tipo C, que corresponde a la viga ordinaria, trabajando a flexión en el plano vertical, y el otro, de sección en forma de U, denominado tipo J, empleado para formar las juntas de dilatación y que, además, ha de trabajar a flexión en el plano horizontal con carácter permanente.

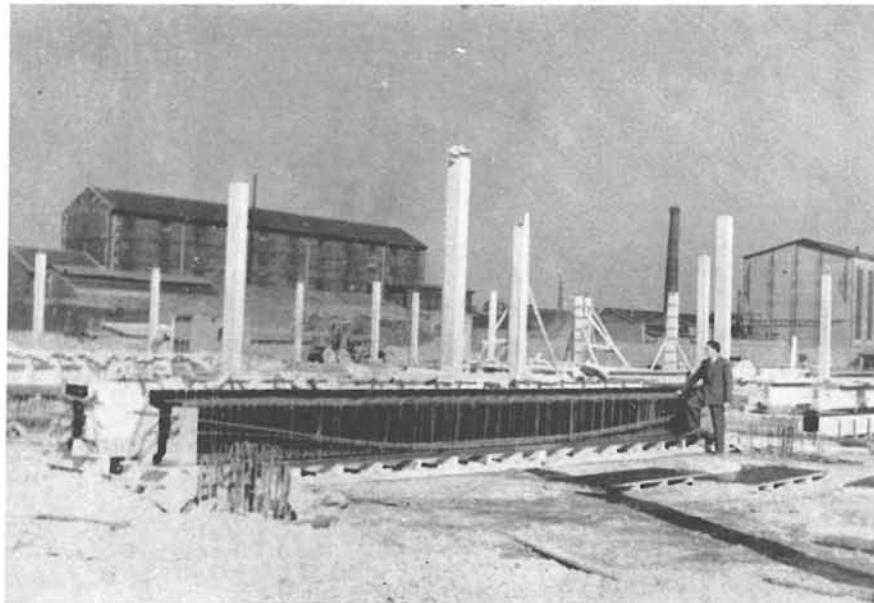
detalle de cubierta



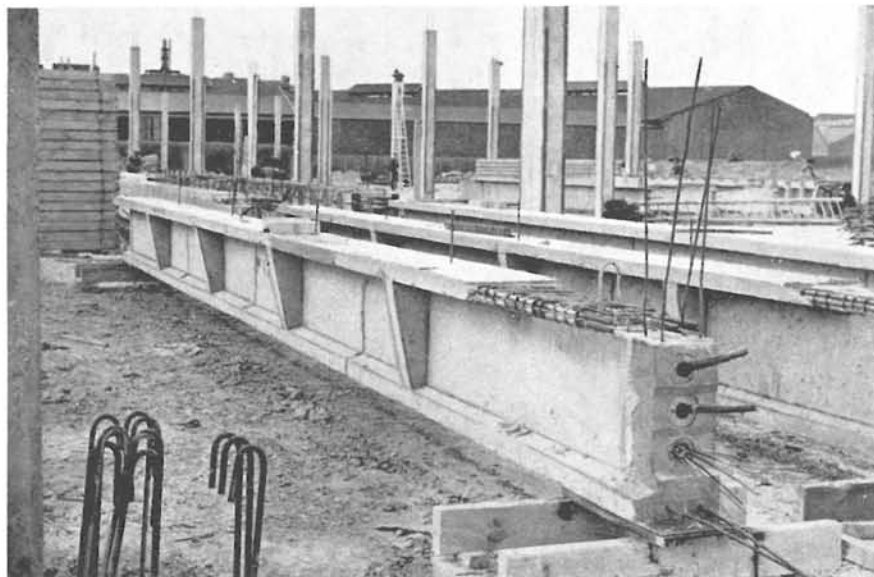
Bloques prefabricados, con las armaduras de trabazón y los asientos previstos para la colocación de los gatos de pretensado.



Disposición general de las armaduras de una viga pretensada con sus bloques extremos en posición.



Una de las vigas pretensadas, con un cable tesado, preparada para ser colocada en obra.



Las vigas tipo C no se hallan sometidas a momentos horizontales más que durante el montaje o en caso de ruina parcial de la obra, ya que los momentos debidos a la acción del viento sobre un tramo intermedio son despreciables. El perfil de este tipo de viga es simétrico, admitiéndose que la flexión horizontal, ocasional la absorbe únicamente la cabeza superior, a cuyo efecto va provisto de armaduras de acero dulce, y las solicitaciones del hormigón se acumulan con las de la flexión vertical.

En el tipo de viga J, como se halla siempre sometido a un momento horizontal importante, procedente del empuje de las cerchas hiperestáticas de los lucernarios, se tuvo gran cuidado para interesar la totalidad de la sección pretensada en esta solicitación. A esta finalidad se ha previsto una cartela en correspondencia con el plano de cada cercha, que juega una función de rigidez. De esta forma, se ha podido admitir que toda la sección se halla solicitada en flexión plana, compuesta y desviada, comprobando que se halla siempre comprimida en totalidad, sin que, por ello, las compresiones rebasen las cargas límite adoptadas.

En estos dos tipos de viga, y sobre los apoyos, la cabeza superior trabaja a tracción, por lo que el momento horizontal de continuidad ha de ser absorbido únicamente por las armaduras.

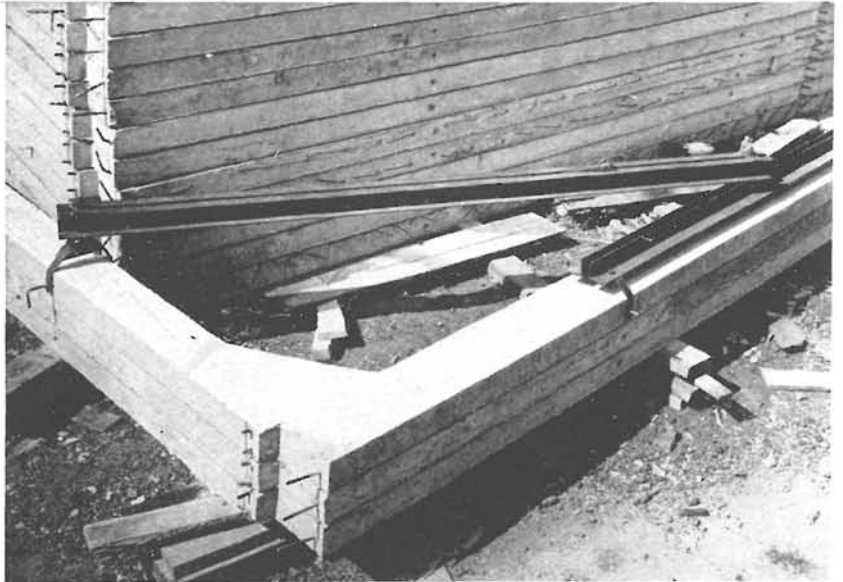
vigas longitudinales

El papel principal de estos elementos en la solución hiperestática es el de hallarse sometidos a las diferentes solicitaciones siguientes: a tracción simple, originada por el empuje de las cerchas; flexión vertical, debida al peso propio; flexión vertical, motivada por los momentos eventuales aplicados en los nudos, que provienen de una torsión residual de las vigas y cuya causa puede obedecer a una asimetría de cargas verticales, a la acción del viento, etc., y, finalmente, al esfuerzo normal, de tracción o compresión, bajo la acción del viento, como consecuencia de su papel de solidarización de las cabezas de los soportes.

otros elementos

Los elementos restantes de la estructura, tales como caballetes, goterones, soportes ordinarios, soportes reforzados y marquesinas de los muelles, no presentan ninguna particularidad teórica que merezca especial mención. Sin embargo, conviene retener que las marquesinas o ménsulas que cubren los muelles son órganos que se han considerado como partes independientes de la estructura, por lo que su estabilidad ha de ser asegurada por ellos mismos, teniendo en cuenta que el viento se hace sentir en una dirección paralela a las cumbreras.

J. J. U.



Para la manipulación de las cerchas se utilizó un aparejo, cuyo punto de enganche (entre la barra transversal) coincide con el centro de gravedad del conjunto, lo que permitía la colocación de estos elementos con pequeños riesgos de rotura o ligas excesivas.

Aparejo especial, empleado para la elevación y colocación de los elementos prefabricados que forman los canales de la cubierta.

Fragmentos parciales de obra, en curso de montaje.

