

EL TALLER DE MONTAJE DEL I. N. T. A., EN TORREJON DE ARDOZ

Por ILDEFONSO SÁNCHEZ DEL RÍO
y CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, Ingenieros de Caminos.

Termina en el presente artículo la descripción de la importante estructura del Taller de Montaje del I.N.T.A., que se inició en nuestro número anterior, y se hace al final un breve e interesante juicio crítico de los autores sobre la misma.

II

Cuerpo de oficinas.

El cuerpo de oficinas está a continuación de la nave de 40 m., con el mismo ancho que ésta y avanzando tres módulos de 7 m. Consta de dos plantas, una intermedia y la de cubierta. En el programa de concurso se reducía a cuatro el número de pilares internos de la zona, lo que nos obligó a una solución extraordinaria para la estructura de este pequeño edificio.

La estructura se organizó en cuatro planos transversales, aprovechando para el primero el entramado de testero de la nave de 40 m. en su parte baja. En los dos planos interiores disponíamos, en el proyecto primitivo, vigas Vierendel de tres vanos (10-20-10 m.), apoyadas sobre cuatro soportes. Tienen sus cordones inferiores y superiores como vigas de los forjados del piso intermedio y de la cubierta y se subdividen en doce recuadros, 3-6-3, mediante montantes que no perturban la distribución arquitectónica del piso intermedio. Aunque las vigas se construyeron en estas condiciones, nuevas exigencias de carga en el piso superior obligaron a aumentar el número de apoyos intermedios, quedando subdividido en tres cada tramo central. En la disposición de acartelamientos y distribución de armaduras, tuvimos en cuenta las mismas prescripciones que en las vigas Vierendel de

las naves de taller que describimos con detalle a continuación.

Los cordones superior e inferior de estas vigas se arriostran mediante vigas longitudinales en todos los nudos, las cuales terminan, por un lado, en el entramado de testero de la nave de 40 m., y por otro, en el de fachada del cuerpo de oficinas. Estas vigas soportan los forjados Rio-cerámico simplemente apoyados en ellas, que constituyen la cubierta y piso intermedio del edificio.

Taller.

DESCRIPCIÓN.

Las naves del taller propiamente dicho ocupan, en planta, dos superficies simétricas que empiezan completando el rectángulo de la nave de 40 m., para prolongar los muros exteriores de las naves de 60 m. Se obtienen así dos alas de 15 m. de anchura en toda la longitud de la nave de 40 m. y del cuerpo de oficinas, es decir, en 63 m. Después se amplían 10 m. hacia el interior, prolongándose con 25 m. en una longitud de 35 metros.

La disposición de la cubierta indicada en las bases del concurso es en diente de sierra, conservando el módulo transversal de 7 m. de las naves principales, sin apoyos intermedios en la zona de 15 m., permi-

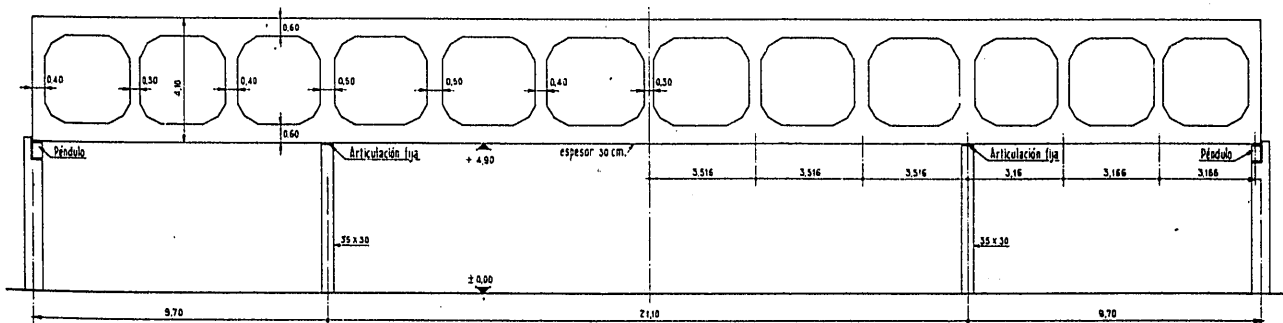


Figura 14.



Una de las vigas Vierendel del cuerpo de oficinas, antes de ejecutar los forjados.

tiéndose una fila en la zona de 25 m., fila de apoyos que delimita la ampliación de 10 m.

Tanteamos diversas soluciones para el diente de sierra, eligiendo la de viga resistente en el lucernario y lienzos de forjado inclinados, simplemente apoyados en los cordones de dos vigas contiguas.

La viga-lucernario es un caso verdaderamente típico de viga Vierendel que dispusimos en plano vertical, simplemente apoyada en sus extremidades y enlazada a las contiguas por cuatro vigas de arriostramiento que unen los dos nudos extremos y dos intermedios del cordón superior.

Los lienzos inclinados son forjados de viguetillas entre elementos de Río-cerámico. Para no transmitir esfuerzos horizontales a las vigas, apoyamos las extremidades con articulación fija en el cordón superior, y con articulación deslizante en plano horizontal, en el inferior. La articulación fija está formada por hierros pasantes verticales que salen del cordón de la viga y quedan embebidos en la viguetilla de borde del forjado, intercalando entre viga y forjado una placa de plomo horizontal. El apoyo deslizante que se había proyectado con cilindros de uralita macizos,

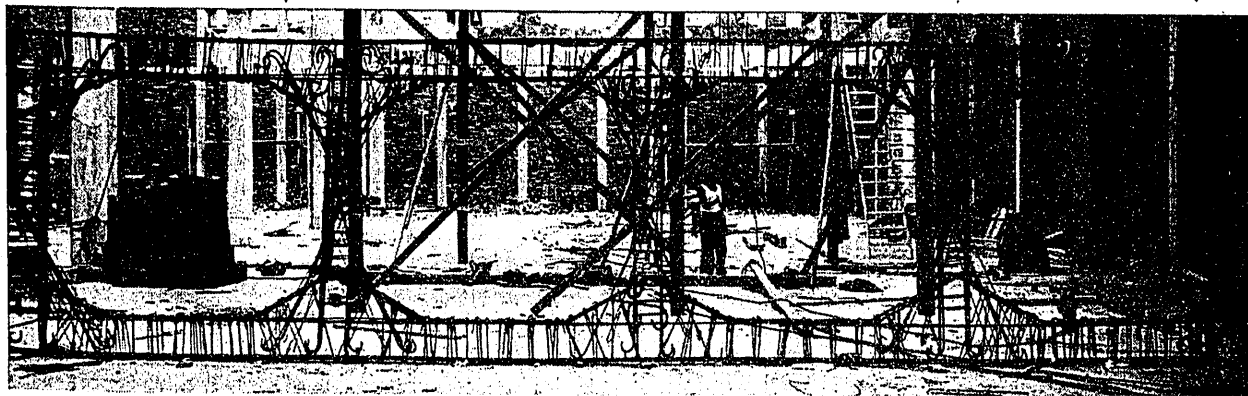
de 15 cm. en toda la longitud, lo sustituimos por dos placas de uralita pulimentada en las caras de contacto.

En la viga Vierendel disponíamos de una altura libre de 2,65 m. que, con 15 m. de luz, permiten la organización en seis recuadros, de forma muy próxima al cuadrado. En lugar de conservar la misma distancia entre ejes de montantes, hemos mantenido constante la distancia entre caras, con objeto de tener huecos idénticos, lo que simplificaba mucho la ejecución del lucernario. El ancho de la viga es de 20 m., reducido al mínimo para disminuir el peso propio y conseguido gracias a la calidad del hormigón, consolidado por vibración.

Los cordones son del mismo canto, 40 cm., y los montantes varían con 25 cm., el central; 30, los contiguos, y 40, los otros cuatro. El enlace entre montantes y cordones se realiza por doble acartelamiento recto, con lo cual nos aproximamos al enlace óptimo en cuarto de circunferencia y obtenemos un aspecto agradable. En las armaduras hemos reducido el mismo número de plantillas para simplificar la mano de obra de montaje y ejecutarlas en serie.

El procedimiento constructivo ha influido decisivamente en el proyecto de vigas y enlaces con los otros elementos. Desde el principio adoptamos la solución de moldear las vigas sobre el suelo, en posición horizontal y en el recuadro que corresponde a cada una, para después hacerla girar hasta plano vertical e izarla a su posición definitiva. Este sistema ha permitido, aparte del gran ahorro de encofrado y mano de obra en colocación de madera y hormigón, conseguir una ejecución más cuidadosa y obtener por vibración un hormigón de resistencia adecuada (1). La relación agua-cemento fué de 0,40; la dosificación, 350 kilogramos de cemento, y la resistencia obtenida en probetas cúbicas a los veintiocho días, del orden de 190 Kg./cm.².

(1) Otra ventaja obtenida es la reducción de plazo. Véase estudio comparativo con una solución corriente en: F. Vianco, *Organización de obras*, pág. 38.



Armadura de una viga Vierendel de 10 m.

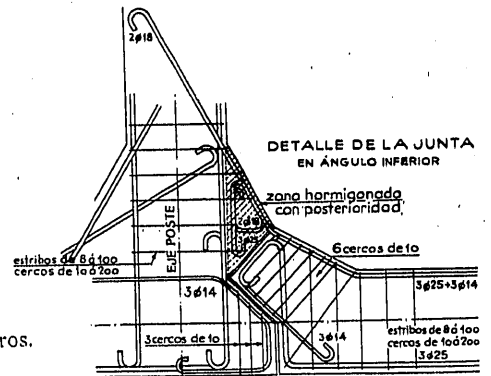
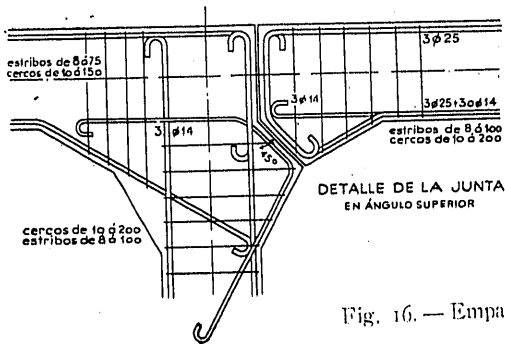
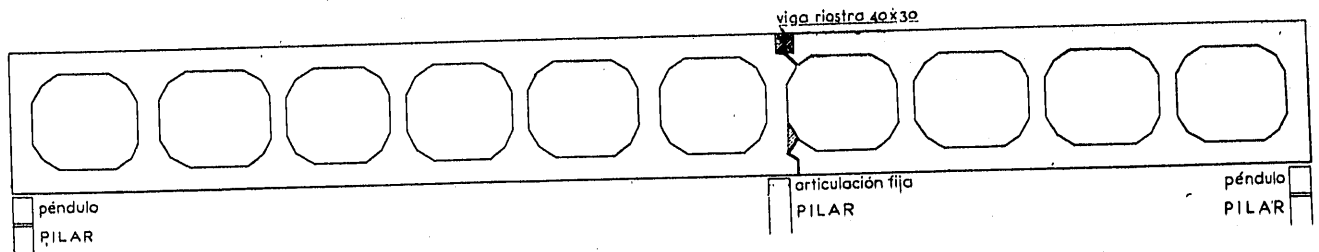


Fig. 16. — Empalme de las vigas de 15 y 10 metros.

Los apoyos de las dos extremidades de la viga se realizan sobre rediente del pilar de la nave de 40 m., en articulación fija y sobre un pilar especial embebido en el muro de cierre con articulación móvil. En ambos casos, la viga descansa desde el primer momento en placas de plomo y queda luego encajada entre dos tabiquillos de hormigón que se ejecutan después y reciben, además, las extremidades de una barra horizontal de 14 que atraviesa la viga. En el apoyo de articulación fija las aletas de hormigón quedan solidarias del pilar, para lo cual se han dejado previamente los hierros salientes necesarios. En el apoyo de articulación móvil, las aletas prolongan un péndulo de hormigón armado que se ha ejecutado sobre el pilar, con las mismas dimensiones que él.

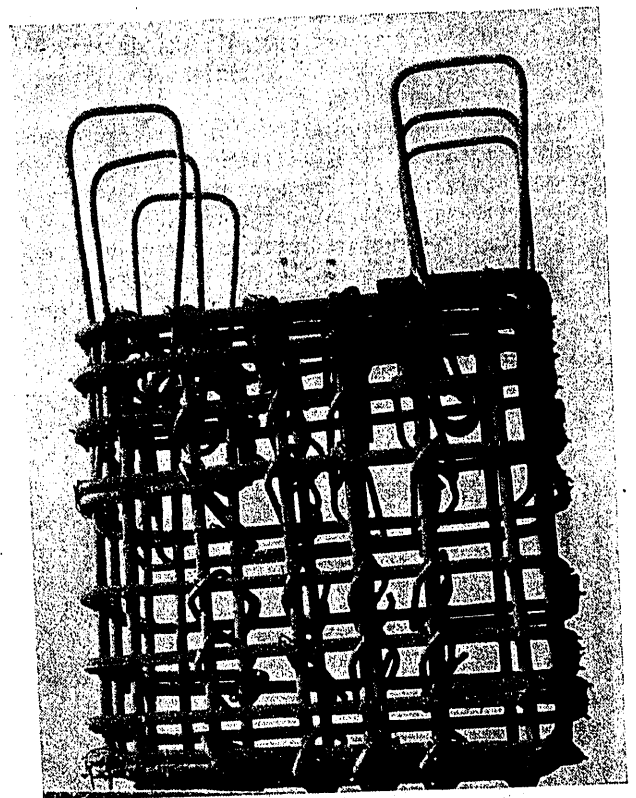
En la zona ampliada a 25 m. de anchura conservamos las mismas vigas de 15 m., que se apoyan con articulación fija sobre pilares exentos de 40 X 30, empalmándoles vigas de 10 m. con cuatro recuadros, según se indica en la figura. La única variación introducida en aquellas vigas era añadir los dos retallos correspondientes a los acartelamientos verticales externos del último montante y unos hierros para empalmar mediante soldadura con los que también se dejaron salientes en la de 10 m. Esta carece de uno de los montantes extremos y de los acartelamientos horizontales en las extremidades de los cordones correspondientes. Estos acartelamientos se hormigonaban después de hacer la soldadura de las barras de empalme.

CONSTRUCCIÓN.

El proceso constructivo puede seguirse en las fotografías.

Para el manejo de las vigas, que pesaban unas seis

toneladas, se utilizó una pluma metálica, que ya nos había servido en la ejecución de otra cubierta en diente de sierra, organizada de modo distinto (cerchas



Armadura de un péndulo para soporte de articulación móvil de las vigas-lucernario. Las horquillas superiores corresponden a las aletas, que se hormigonan después de colocar la viga.

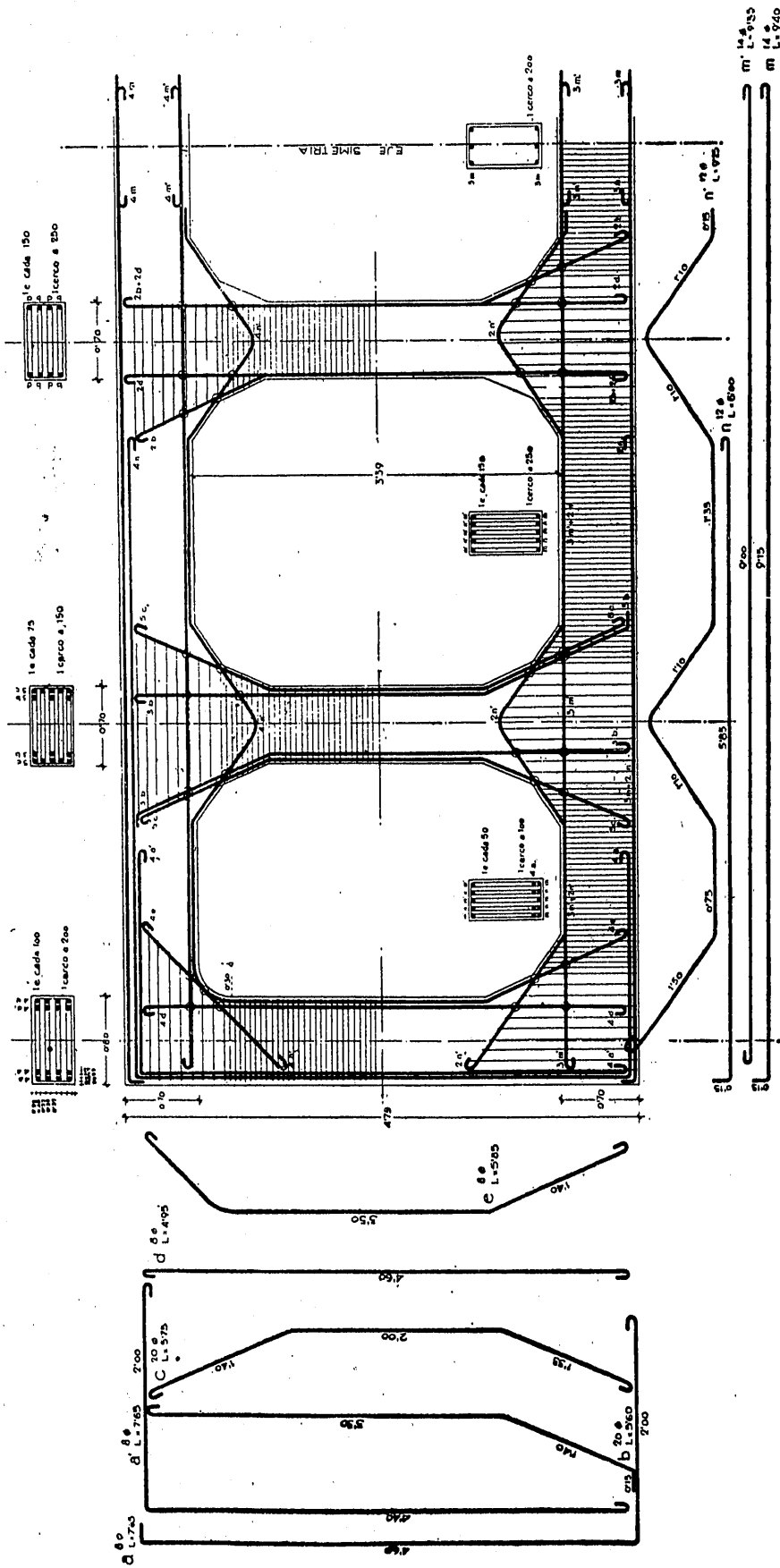
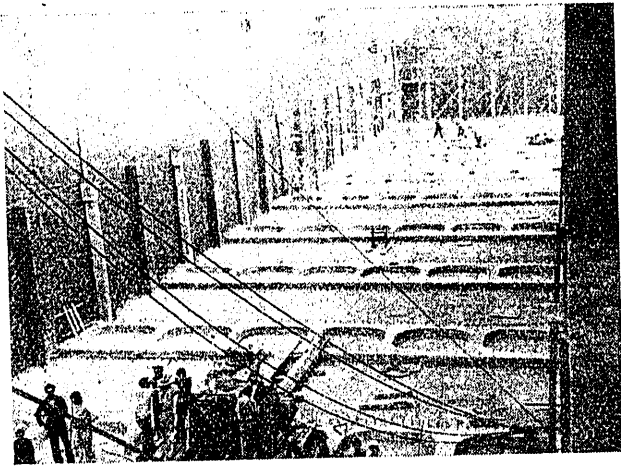


Fig. 17.—Detalles de la viga Vierendel de la torre de mando.



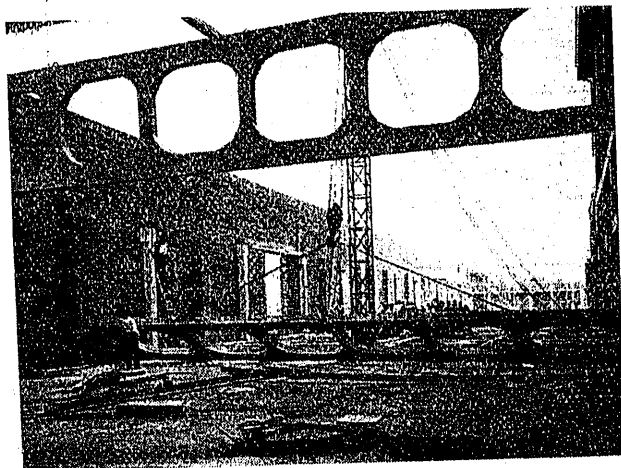
Vigas-lucernario de una de las alas del taller, en la situación de moldeo y listas para su elevación. En primer término, el cabrestante utilizado en esta operación. A la izquierda, adosados al muro, los pilares de sustentación con sus péndulos.

triangulares sobre pórticos). La viga se ponía vertical, suspendiendo el cordón superior de tres nudos intermedios y se izaba colgada sólo de los dos laterales. Al dejarla en su posición definitiva, se arriostraba provisionalmente a la inmediata con piezas de madera.

Se han establecido dos juntas transversales en cada nave, para lo cual ha sido suficiente suprimir las vigas de arriostramiento entre dos lucernarios contiguos.

CÁLCULO.

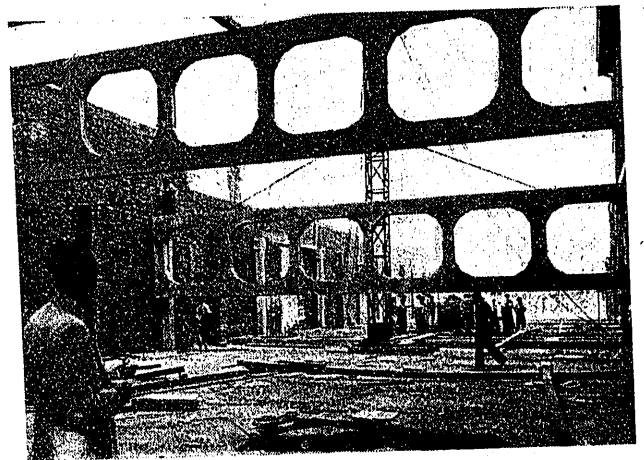
En el cálculo de las vigas Vierendel hemos utilizado el método de Cross, considerando en primer lu-



Primera fase de la maniobra de elevación de las vigas. Rebatimiento de la viga hasta llevarla al plano vertical de elevación. El cordón superior se soporta en tres puntos, para evitar flexiones peligrosas en plano transversal.

gar las simplificaciones debidas a la doble simetría, que nos permiten reducir la estructura a la cuarta parte, resultando un pórtico de tres vanos con posibilidad de asiento en los tres nudos intermedios. Para determinar las características de dinteles y montantes, tenemos en cuenta los acartelamientos eficaces. En una primera etapa analizamos la flexión directa, ya que las cargas se transmiten a lo largo de los cordones. Después tenemos en cuenta la desnivelación de nudos, que acudiendo al procedimiento indirecto exige tres distribuciones y la resolución de un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas. En las figuras aparecen las distribuciones de momentos flectores que nos han servido para proyectar las armaduras.

En las vigas Vierendel continuas, seguimos método análogo, determinando previamente la distribución de momentos flectores debidos a la continuidad, lo cual nos proporciona los momentos de empotramiento.



Segunda fase de la maniobra de elevación de una viga. Izado de la misma, suspendida únicamente de dos nudos. La viga asciende guiada por las caras de los planos de apoyo.

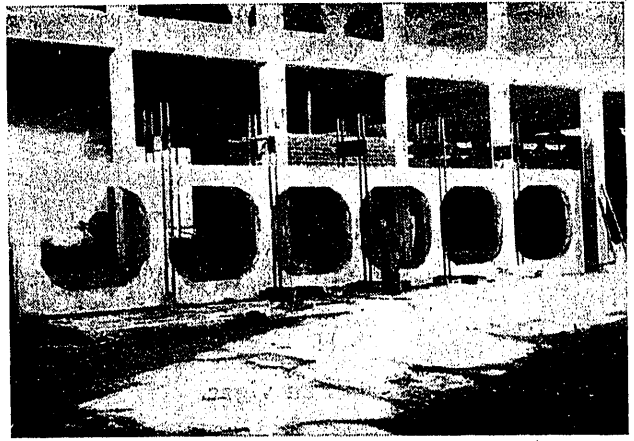
Además de las vigas Vierendel proyectadas y construídas para el taller de montaje, proyectamos y construimos otras dos grandes vigas para la torre de mando del mismo aeródromo de Torrejón. Cumplían la misión de soportar los dos pisos de dicho edificio en un vano que existe en el cuerpo central al cortarlo para dejar paso directo de vehículos al campo de aterrizaje. También venía impuesta la solución por la necesidad de calar las dos fachadas con ventanas rectangulares que impedian establecer triangulación de recuadros. Utilizamos, como en el cuerpo de oficinas, la altura entre pisos para disponer los cordones como vigas de los forjados y recuadrar con montantes entre los huecos de fachada. Conseguimos así una viga de cinco recuadros con altura total de 4,79 y luz teórica de 16,50 m. La distancia entre las dos vigas paralelas es de 8,75 m.

Después de ejecutadas estas vigas, cambió el programa del edificio, lo cual exigió la construcción de un piso más. Como las vigas ya construídas no soportaban este gran aumento de carga, se decidió colocar apoyos intermedios en los nudos inmediatos a los extremos, que no estorbaban la circulación, ya que caían precisamente en el borde de los andenes laterales. Esto nos permitió realizar un ensayo de la viga con un aumento del 25 por 100 sobre la sobrecarga de cálculo. Comprobamos el agrietamiento de los montantes inmediatos a los apoyos en las zonas de tracciones de ambos acartelamientos. También se produjeron algunas grietas en el alma de los mismos.

Con objeto de experimentar sobre este tipo de estructura, al ejecutar las vigas de 15 m. de los lucernarios se construyó una más, especialmente dispuesta para ensayos hasta rotura. Se organizó una instalación de carga con cinco gatos de 50 Tn. sobre los nudos superiores, disponiendo un sistema de medición muy completo. Este constaba de auscultadores en el interior de los cordones para medir esfuerzos longitudinales en todos los recuadros, puntos de medición para elongómetro de 33 cm. en la superficie del hormigón y en las barras de la armadura para medición de tensiones en las cabezas de tracción y de compresión, plataformas para clinómetros en todos los nudos inferiores y flexímetros en los mismos nudos. Las experiencias comenzaron desde el período de retracción del hormigón, pero la falta de personal idóneo y una serie continuada de factores adversos, han hecho estéril nuestro esfuerzo, mantenido durante cuatro años, para organizar una investigación sistemática. Volvimos a comprobar la poca resistencia al agrietamiento, pues las primeras grietas se produjeron para las condiciones de trabajo normal de la viga.



Final de la maniobra de elevación de una viga.



Viga Vierendel construída especialmente para ensayos hasta rotura.

JUICIO CRÍTICO DE LA ESTRUCTURA.

La experiencia obtenida en la construcción y ensayos excepcionales que pudimos realizar en todas las vigas que hemos descrito, nos llevan a conclusiones completamente diferentes de las que hemos expuesto para el arco atirantado de tres articulaciones. La observación de la ley de distribución de los momentos flectores nos hace ver la inadecuación de la estructura a la transmisión de cargas por flexión en vanos importantes en los que se dispone de gran altura. La doble incurvación de los momentos flectores en cada una de las barras, montantes o cordones, indican el mal aprovechamiento del material.

Las grandes tensiones de tracción que se desarrollan en las zonas de acartelamientos y la gran importancia de las armaduras necesarias para absorberlos, da lugar a acciones secundarias entre la armadura y el hormigón, así como empujes al vacío en los cambios de dirección, que son causas de iniciación de agrietamiento. Sólo en las vigas de lucernario con hormigón de alta calidad consolidado por vibración, nos hemos librado de agrietamientos para las cargas normales.

En las grandes luces con libertad de competencia para todas las soluciones (caso, por ejemplo, de puentes), las vigas trianguladas y las de alma llena, especialmente desde que se tiene el pretensado, eliminan, sin excepción, la viga Vierendel. En el caso de estructuras de edificios, puede ocurrir que la distribución de huecos obligue a esta solución, que deberá evitarse siempre que las condiciones de distribución permitan utilizar retícula triangular (véase, por ejemplo, la solución adoptada en unas vigas de la estructura del Instituto Nacional de Previsión) (1).

(1) C. Fernández Casado: *Estructuras de edificios*, ejemplo 8.º, pág. 251.