

CUBIERTA DE UN ALMACÉN EN EL MUELLE DE TRASATLÁNTICOS, DEL PUERTO DE VIGO

Por JOSÉ ELIGIO PRIETO MORESI, Ingeniero de Caminos.

Se describen en el presente trabajo, con todo detalle, el estudio y la ejecución de una cubierta con armaduras de hormigón armado premoldeadas, para cumplir las prescripciones de restricción del empleo del hierro en las construcciones.

El pasado mes de abril visitaron el puerto de Vigo, en viaje de prácticas, los alumnos de la promoción de quinto curso de nuestra Escuela, acompañados del Director, D. Manuel Aguilar, Conde de Casa Rul. y de D. Joaquín Serrano Tormo.

Durante su estancia recorrieron los muelles y diversas instalaciones, construídas y en construcción, entre las cuales visitaron la obra titulada oficialmente "Almacén en el muelle de trasatlánticos y pavimentación aneja", donde se está ejecutando un tipo de cubierta que mereció la atención del Sr. Director de la Escuela, el cual tuvo la amabilidad de pedirme, para publicar en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, una nota ilustrada, con fotografías, que diesen idea de las diversas fases de la construcción y montaje de la estructura.

Antes de describir la obra y su construcción y montaje, conviene relatar brevemente sus antecedentes administrativos.

Se redactó el primitivo proyecto en 30 de diciembre de 1939, estudiándose la construcción de un almacén de una sola planta, de 72×45 m., con tres crujeas cubiertas con una estructura metálica, compuesta de cerchas de 15 m. de luz, carreras trianguladas y pilares metálicos, con chapa acanalada de fibrocemento como material de cubierta y con muros de cerramiento de perpiaño (sillería basta del país).

Devuelto el proyecto para que se introdujesen en él ciertas modificaciones, y enviado nuevamente con una Memoria adicional de fecha 20 de abril de 1940, fué aprobado con prescripciones por O. M. de 18 de mayo de 1940, por su presupuesto de contrata, que ascendía a 545 735,98 pesetas.

Celebrada la subasta de las obras, quedó por dos veces desierta, a pesar de llevar su presupuesto el aumento del 17,5 por 100 (Decreto de 30 de julio de 1940), con lo que resultaba un presupuesto modificado de contrata de 641 239,78 pesetas.

Vista la imposibilidad de ejecutar las obras por administración, se redactó, con fecha 30 de enero de 1941, un segundo proyecto modificado, en el que se justificaban nuevos precios, que se aprobó por O. M. de 28 de abril de 1941, por su presupuesto de contrata de 796 199,15 pesetas, lo que suponía un aumento del

24,16 por 100 sobre el que sirvió de base a la subasta anterior.

Celebrada la primera subasta, quedó ésta nuevamente desierta, adjudicándose en la segunda al mejor postor, "Elosua y Compañía, Ltda.", por la cantidad de 792 218,16 pesetas, con fecha 25 de noviembre de 1941.

A poco de comenzarse las obras hubo de redactarse, con fecha 23 de marzo de 1942, un proyecto reformado, en vista de las grandes dificultades que se presentaban para lograr perfiles laminados, que en cantidad de 118 toneladas se precisaban para la construcción de la estructura de cubierta, y también por lo aun más difícil que resultaba conseguir los 3 400 metros cuadrados de chapa acanalada de fibrocemento para el material de cubierta. Además, se tuvo muy en cuenta lo dispuesto en el Decreto de 11 de marzo de 1941 sobre restricciones en el uso del hierro en la edificación, que en el artículo 1.º y para obras del Estado, recomienda que en las cubiertas de luces mayores de 6 m. *se procure la sustitución de armaduras metálicas por otras de hormigón armado, en especial aquellas que en conjunto o por sus elementos puedan moldearse en taller, con máxima utilización de los moldes o encofrados.*

Decidida la adopción de una estructura de hormigón armado para sustituir a la metálica del proyecto aprobado y subastado, era conveniente lograr una solución económica que no precisase adicional en su presupuesto, y además tenía que huirse de cualquier solución externamente hiperestática que fuese sensible a los asentamientos que eran de temer en un relleno de muelle con una altura media de 18 m., pues el muelle de trasatlánticos de Vigo tiene, en su atraque exterior, de 551 m. de longitud, un calado en B. M. V. E. de 12 m., para una carrera de marea de 4 m. y una altura de su superficie sobre la P. M. V. E. de 2 m.

Elegimos, por tanto, una solución a base de cerchas trianguladas de hormigón armado, premoldeadas, a distancias de 4 m. entre armaduras, con correas también de hormigón armado, moldeadas "in situ", y cabios y listones de madera de pino del país, para soportar la teja plana, que fué el material de cubierta adoptado en sustitución de las cha-

pas acanaladas de fibrocemento.

Otro problema que se presentaba era la elección de un tipo adecuado de estructura para las carreras, sobre las que habían de apoyarse los dos extremos de las cerchas de la nave central, y los interiores de las de las laterales. La distancia entre los pilares de estas carreras era de 8 m., por razones de circulación interior, no pudiendo adoptarse como estructura ni el pórtico múltiple ni la viga continua, por las razones apuntadas de asientos accidentales de magnitud imprevisible, y la sencilla solución de tramos apoyados resultaba pesada y con el inconveniente de una difícil sujeción a la cabeza de los pilares a los efectos de esfuerzos laterales, eligiéndose, por eliminación, unas jácenas articuladas, tipo "Gerber" o "Cantilever", adoptadas tan frecuentemente en los puentes de tramo recto de hormigón armado.

La cubierta se calculó para una hipótesis de viento que ejerciese una presión de 200 Kg./m.² sobre una superficie normal a su dirección, evaluándose la presión soportada por la vertiente de barlovento por la fórmula de Lössl $w_n = w \text{ sen } \alpha$, resultando, aproximadamente, 90 Kg./m.² de componente normal.

Las correas de hormigón armado se construyen como vigas continuas, dejando solamente una junta central de contracción. Como estos elementos tienen que servir, además, de arriostramiento para sujetar transversalmente las cerchas, y resultaría complicado

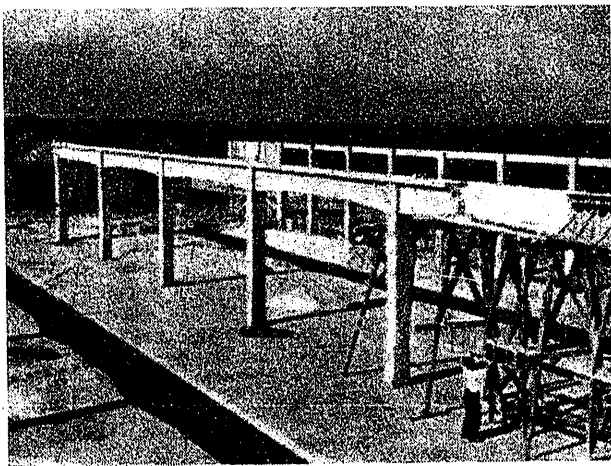


Fig. 1. — Jácena "Gerber", y al fondo, columnas y viga de arriostramiento de una fachada.

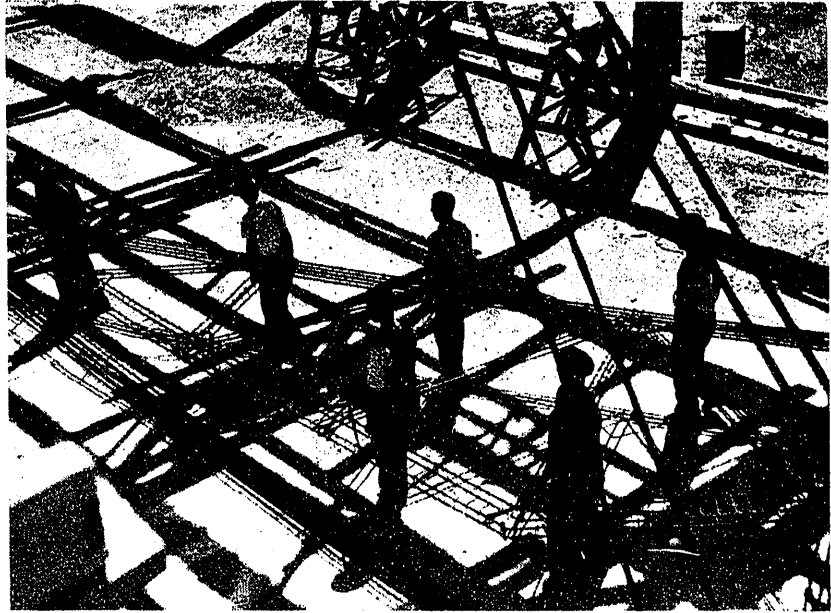


Fig. 2. — Transporte de la armadura de una cercha.

utilizar una disposición análoga a la adoptada en las carreras para prevenir posibles desnivelaciones de apoyos, nos limitamos a calcularlos con amplitud y armarlos uniforme y simétricamente.

La escuadría de las correas resulta de 24 X 12 centímetros, y su armadura de 2 ϕ 12 en cada cara, con cercos de ϕ 5 a 12 cm. de separación uniforme.

Las cerchas son trianguladas, de montantes comprimidos y diagonales estiradas; la luz de cálculo es igual a 13,20 m.; los nudos están a distancias de 1,65 m. en proyección horizontal, con pares rectos con pendiente de 1/2 y tirante poligonal con 30 cm. de flecha en el centro.

Las escuadrías se fijaron con amplitud para lograr recubrimientos que impidiesen la oxidación en un ambiente salitroso.

Las armaduras transversales se constituyen en todas las piezas con cercos de ϕ 5 a 10 cm. de separación uniforme, reforzándose cuidadosamente todos los anclajes con armaduras en V, y especialmente dando amplitud a los enlaces de los pares con el tirante para evitar el arrancamiento de este último, que llega a sufrir, en estos puntos, una tracción de 13 toneladas.

Como orientación, indicaremos que para la estructura de cerchas y correas resulta un volumen de hormigón, por metro cuadrado de superficie cubierta, de 0,035 m.³, y un peso de armadura, igualmente por metro cuadrado de superficie cubierta, de 11,5 Kg. Estos valores, posiblemente, podrán afinarse con un estudio más atrevido, pues en el presente caso hemos proyectado con la prudencia de la primera experiencia en un tipo de estructura.

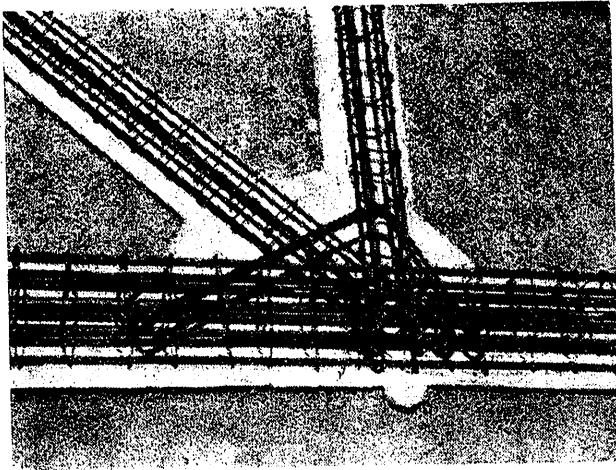


Fig. 3.ª —Detalle del armado de un nudo.

El cálculo de la armadura se hizo, sencillamente, con polígonos de Cremona: uno, para las cargas permanentes, y otro, para una hipótesis de presión de viento en un faldón, suponiendo en los dos apoyos rozamiento y reacciones paralelas a la acción soportada, y por tanto, normales a la vertiente. Se supone, como es usual, que en las piezas comprimidas resiste el conjunto armadura-hormigón, y en las tensadas, solamente la armadura.

Como se ve, se ha prescindido de la determinación de los esfuerzos secundarios, que podrían haberse calculado hallando, con un diagrama de Williot, los desplazamientos de los nudos, y deduciendo de éstos, por un método de aproximaciones sucesivas, los momentos en los extremos de barra. En esto hemos seguido el criterio de Santarella, que fué uno de los creadores de este tipo de estructura, que estima que es suficientemente aproximado tener en cuenta solamente los esfuerzos primarios en armaduras de dimensiones corrientes, siempre que se adopten coeficientes de trabajo prudenciales.

Por otra parte, las escuadrías de las piezas vienen casi forzadas, como puede comprobarse en cuanto se realiza algún tanteo. El ancho debe relacionarse con la luz de las cerchas, y un centímetro de ancho por metro de luz, parece una relación aproximada aceptable para que éstas tengan estabilidad transversal, sin necesidad de más arriostramiento que las correas, para que queden perfectamente recubiertas las armaduras, teniendo en cuenta que en los nudos hay muchos cruces, y para que no den lugar a perturbaciones los desplomes de las armaduras próximas a las juntas, producidos por los cambios de longitud termohigrométricos de las correas. No debe afinarse excesivamente el ancho de las cerchas, pues cuanto menor sea éste, más delicadas y expuestas a averías serán las maniobras de montaje, y el incremento de un centímetro

en el ancho de una armadura de estas dimensiones sólo cuesta del orden de 20 pesetas, pues no varían ni los gastos de taller ni los de montaje, como no se rebasen pesos manejables. Los cantos de los montantes y diagonales vienen fijados casi exclusivamente por consideraciones de facilidad de moldeo, de tamaño máximo de árido y de recubrimiento, y los cantos de los pares tienen que ser, aproximadamente, iguales a los cantos de las correas para que puedan enlazarse del modo que más adelante se explicará.

El armado que realmente hay que determinar, por consideraciones analíticas, es el del tirante, pues el de los montantes y diagonales se fija en $4 \phi 12$, no bajando de este calibre para que el conjunto de la armadura de la cercha tenga rigidez propia para su manejo.

Hechas las comprobaciones a base de los esfuerzos primarios calculados con los diagramas de Cremona, resultan los siguientes coeficientes de trabajo:

	Kg./cm. ²
Pares: Compresión unitaria en el hormigón.....	32
Diagonales: Idem íd. íd.	16
Tirante: Tracción unitaria en el acero.....	846
Pendolón: Idem íd. íd.	810
Montantes: Idem íd. íd.	490

Analizando cualquier ejemplo análogo de cálculo detallado con esfuerzos secundarios, se llega a las siguientes conclusiones:

En los pares aparecen los máximos esfuerzos secundarios que pueden dar lugar a tensiones adicionales del orden de 100 por 100 de las primarias; por tanto, no será prudente sobrepasar compresiones unitarias de 30 ó 35 Kg./cm.² para hormigones de calidad. En los montantes y diagonales, las tensiones adicionales no pasan del 40 por 100 de las primarias, a pesar de lo cual no será preciso llegar a los coeficien-

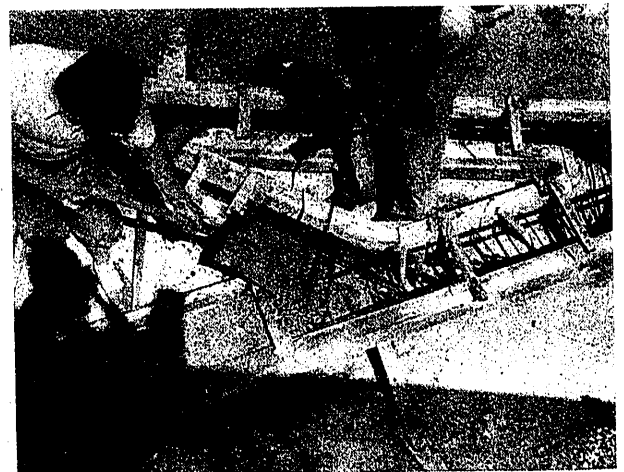


Fig. 4.ª —Detalle del hormigonado.

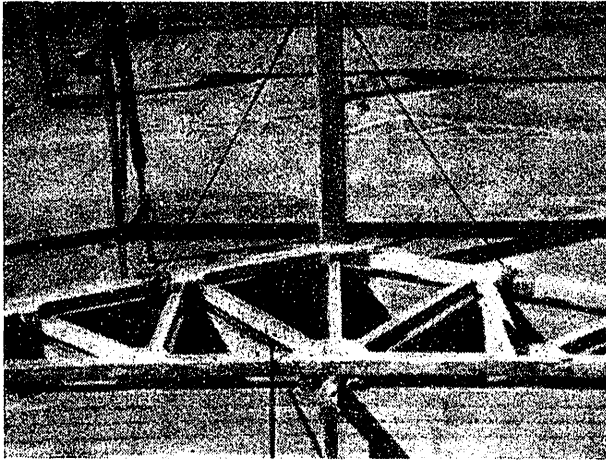


Fig. 5.ª — Separación de una cercha de la pila de moldeo.

tes de trabajo de los pares, por ser relativamente pequeños los esfuerzos soportados por estas piezas.

En el tirante, el coeficiente de aumento de tensión en el acero, por efecto de los esfuerzos secundarios, suele ser del orden del 15 por 100, y por tanto, la máxima tensión unitaria no debe pasar de 900 ó 1 000 Kg./cm.², que, por otra parte, son los coeficientes que suelen recomendarse para el cálculo de piezas tendidas sin pretensado del armado.

Resultan recomendables para orientarse en un estudio detallado, las siguientes publicaciones del Ingeniero Prof. Luigi Santarella: *Il Cemento Armato* (volumen II) y el folleto *Gli sforzi secondari nelle travi a traliccio in cemento armato* (Método di calcolo e raffronti sperimentali). En esta última se hacen notar las discordancias que aparecen entre los resultados experimentales y los teóricos, derivados de la variabilidad de los coeficientes de elasticidad del hormigón a la tracción y a la compresión (recomienda tomar como relación entre estos coeficientes el valor 0,4), y también del rozamiento de los apoyos que, en estructuras corrientes, no suelen dotarse de rodillos, lo que da lugar a un estado de tensiones medio entre las hipótesis extremas de apoyos articulados fijo y deslizante, y articulados fijos.

Las jácenas "Gerber" son de nueve tramos de 8 metros de luz. Después de unos tanteos, se situaron las articulaciones a 2,25 m. de los apoyos, para que resultara un peralto de viga algo superior encima de las columnas que en el centro de los tramos. Si las hubiésemos situado a 2 m. de los apoyos (1/4 de la luz), serían iguales los momentos flectores en dichos dos puntos para cargas concentradas en los centros de los vanos, y la sección de la viga, al ser prácticamente uniforme, daría impresión de pesadez. Resulta de aspecto más ligero la jácena con la situación de articulaciones adoptada y con peraltos de 0,85 m. so-

bre los apoyos de las columnas, y de 0,70 m. en el centro de los vanos.

El cálculo de las jácenas, que son isostáticas, no se separa nada de lo normal; solamente deben armarse con especial cuidado los puntos angulosos entrantes de las articulaciones de las vigas, de modo análogo a como se hace en los puentes de tramo recto en que se adopta este tipo de estructura.

Para el cálculo de las columnas interiores, se hace la hipótesis de que el viento actúa sobre el faldón completo de la cercha de barlovento y sobre la mitad superior del faldón de la cercha de sotavento; de este modo se aligera algo la sollicitación transversal de las columnas, aminorando los momentos flectores en sus bases, no necesitando llegar a secciones exageradas que se deducirían de una hipótesis de presión completa en todas las cerchas.

Las operaciones de construcción y montaje pueden seguirse perfectamente con la observación de las fotografías; sin embargo, a continuación se describirán brevemente.

El hormigón para armar, de pilares, vigas de arriostramiento y jácenas, se dosificó a base de 350 kilogramos de cemento Portland por metro cúbico de

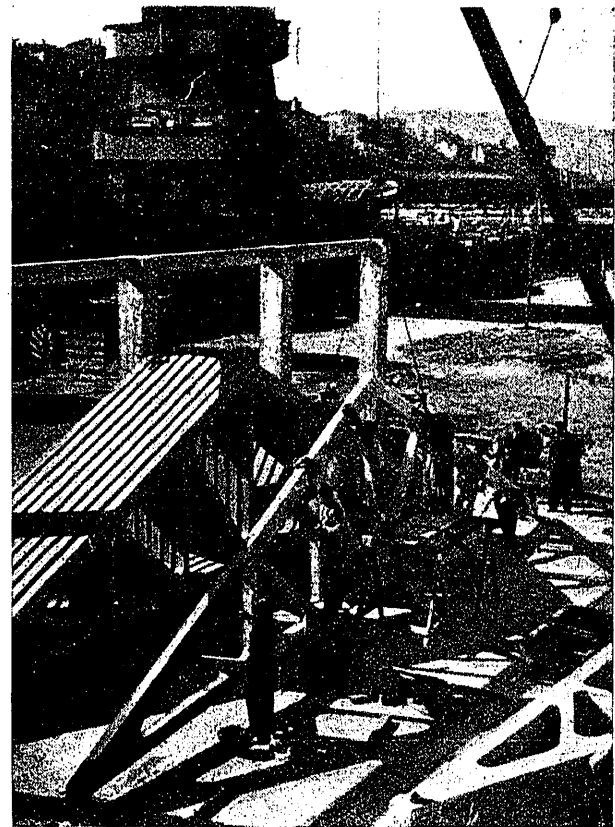


Fig. 6.ª — Limpieza de una cercha.

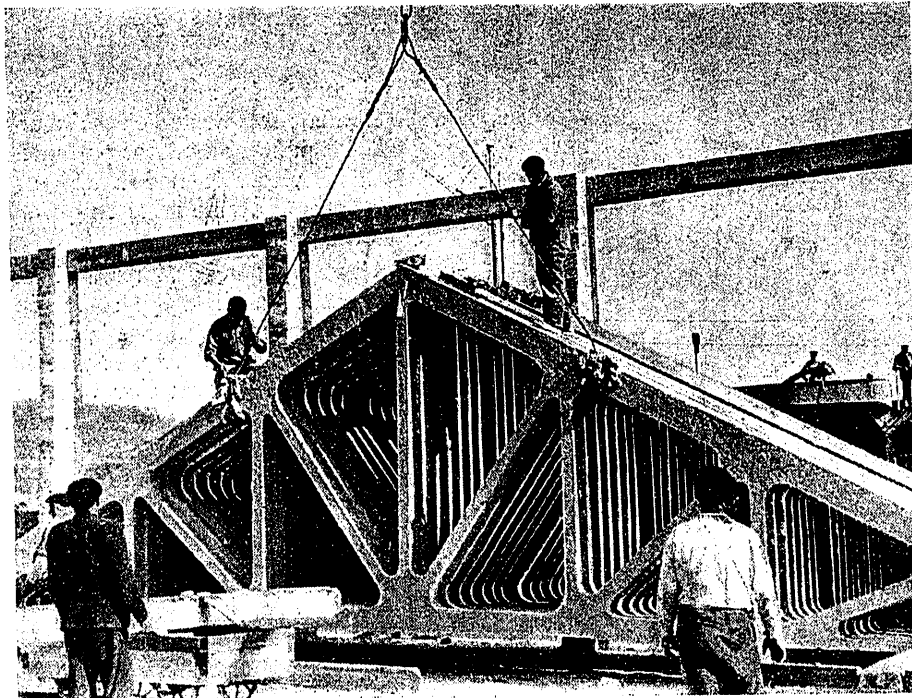


Fig. 7.ª — Preparación de la maniobra de colocar una cercha sobre las mesillas para su transporte.

hormigón, y el de las cerchas y correas, a base de 400 Kg. de cemento Portland por metro cúbico de hormigón. En el laboratorio de la Junta de Obras del Puerto se determinaron las proporciones de mezcla de los áridos (gravilla, arena gruesa y arena fina), para que se cumpliese lo dispuesto respecto a curvas granulométricas por la vigente Instrucción, e igualmente se determinó la cantidad de agua de amasado, controlándose en obra la constancia de la docilidad elegida.

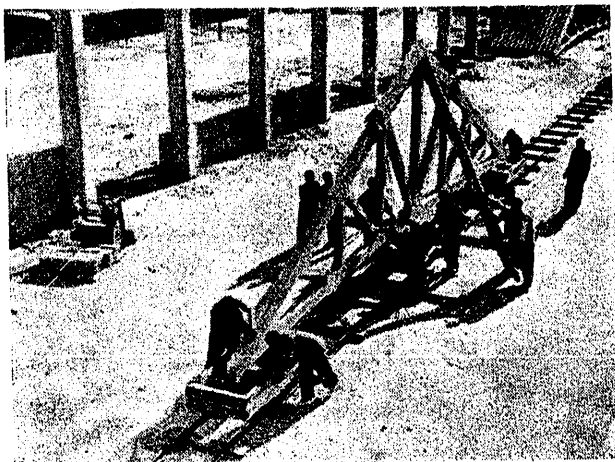


Fig. 8.ª — Transporte de una cercha.

Para el moldeo de las cerchas se prepararon, sobre el hormigón del piso, unas montañas, enlucidas con mortero de cemento; sobre este enlucido se ejecutó un tendido de mortero de yeso y arena fina, colocándose la armadura y el encofrado lateral y procediéndose al hormigonado.

El encofrado, como puede observarse en la figura 4.ª, está compuesto de tabloncillos cepillados, y tiene unos cortes oblicuos para su fácil desarme.

A los cinco días de terminado el hormigonado de una cercha, se puede desencofrar y enlucir su cara superior con mortero de yeso, para, utilizándola como montea, moldear otra cercha sobre ella.

Como cada nave tiene 17 cerchas, se prepararon por nave dos montañas para 8 y 9 cerchas cada una, respectivamente.

Para el curado del hormigón se rellenan los triángulos interiores con arena, regando el conjunto frecuentemente.

Una vez transcurridos dos meses desde el moldeo de la cercha superior de cada pila (se puede reducir este plazo), se procede a separar las cerchas cuidadosamente con cuñas de madera, embragando (fig. 5.ª) y levantando la cercha con una grúa. Esta operación es la más delicada del montaje y debe ser ejecutada

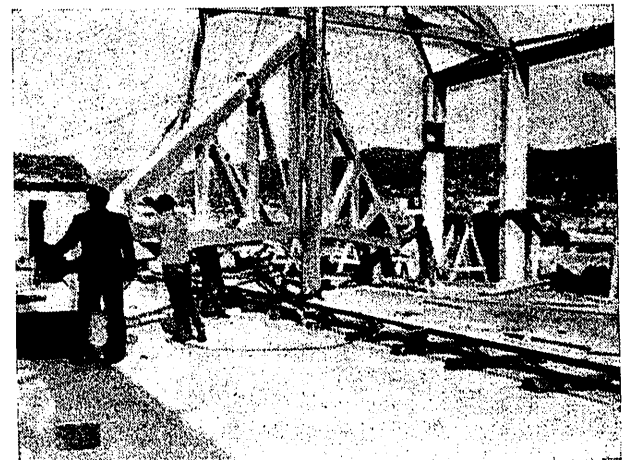


Fig. 9.ª — Principio de la maniobra de izado.

con sumo cuidado, forrando con sacos los puntos de embrague para que no los muerdan los cables, y haciendo que la cercha gire apoyando sus extremos en sacos de arena. En la obra que describimos se empleó una grúa "Derrick" de madera, movida a mano, de 4 toneladas de fuerza ascensional y 12 m. de radio.

Estando la cercha de canto y sostenida por la grúa (fig. 6.^a), se procede a limpiarla, utilizando cepillos de alambre, de los restos adheridos de mortero de yeso y dándole como terminado una lechada de cemento.

A continuación se agrupan las armaduras depositadas de canto, hasta reunir todas las de una nave y proceder a su montaje.

Utilizando la misma grúa, se colocan las armaduras (fig. 7.^a) sobre mesillas para su transporte al lugar de su situación definitiva. El transporte (fig. 8.^a) se verifica con tres mesillas: dos, sobre las que apoyan los extremos de la cercha, y otra, central, que sostiene el apuntalamiento que la mantiene en posición vertical.

La maniobra de izado se ejecuta con un puntal de eucalipto de 15 m. de longitud (fig. 9.^a), sostenido con vientos, del que pende un polipasto de seis ramales, con cable de 12 mm., que pasa por una polea amarrada al pie del puntal y se enrolla en un torno de tiro accionado a mano.

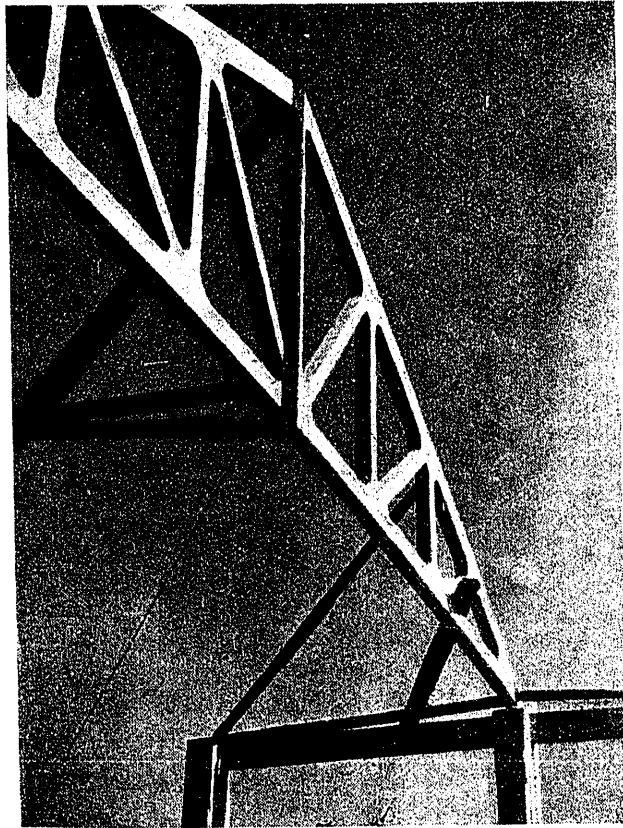


Fig. 10. — La primera cercha de una nave apuntalada, después de su colocación.

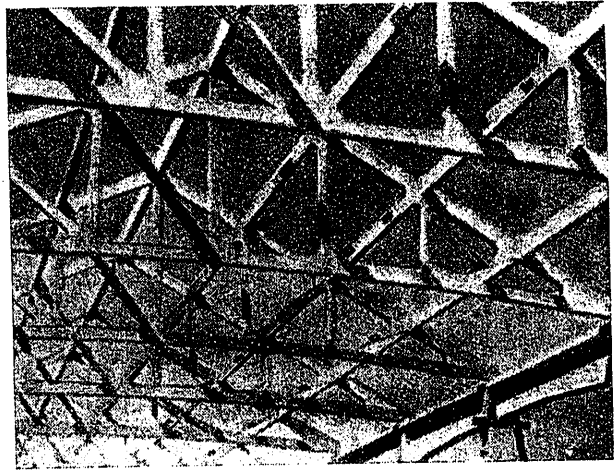


Fig. 11. — Vista de conjunto de la estructura de cerchas y correas de hormigón armado.

Una vez la cercha en su posición definitiva, se arriostra con madera a la vecina, en espera de la construcción de las correas.

Las correas se moldean "in situ", utilizando sencillos encofrados, apoyados en tablones de canto que, a su vez, lo hacen sobre los tirantes en la proximidad de los nudos.

Las correas, como puede observarse en la figura 11, sobresalen ligeramente (4 cm.) por encima de los pares, pasando la armadura superior sobre ellos, y la inferior, por unos trozos de tubo embutidos en los mismos durante su hormigonado, pudiendo observarse los orificios resultantes en las figuras 7.^a y 10.

También pueden lograrse orificios análogos, interponiendo tacos con algo de conicidad y ligeramente engrasados durante el hormigonado (fig. 4.^a), que se retiran una vez endurecida la masa. Colocadas las armaduras de las correas y repicados los encuentros con los pares, se procede al hormigonado, embutiendo tacos de madera de castaño para clavar posteriormente a ellos los cabios de madera, y a éstos, los listones que han de sostener la teja plana.

En resumen: estimamos que este tipo de estructura, compuesto de cerchas premoldeadas de hormigón armado, con correas del mismo material y correas isostáticas tipo "Gerber", es muy adecuado en las actuales circunstancias para la construcción de almacenes y tinglados en los puertos, en ubicaciones donde son de temer asientos; debiendo tenerse en cuenta, en todo momento, al comparar presupuestos, el importante renglón de conservación y pintura de las estructuras metálicas sobre los muelles, a pocos metros del mar. Como ya hemos indicado al principio de esta nota, las obras están ejecutándose, por contrata, por "Elosua y Compañía, S. L.", habiendo organizado con gran pericia las delicadas maniobras de montaje el competente constructor D. Juan Elosua Alberdi, sin que apareciese en ninguna armadura la más ligera grieta.