

830 - 4

ayer y hoy

del hormigón pretensado

ALFREDO PÁEZ, ingeniero de caminos

Había dado fin al ciclo de conferencias desarrolladas en Buenos Aires. De regreso para España, hice escala en el Brasil. En el aeropuerto me esperaban unos ingenieros, que querían consultarme sobre cierto contratiempo sufrido en una obra. Al día siguiente, después de visitarla, reanudé el viaje.

La travesía del Atlántico es larga, y da tiempo para pensar con calma. Tal vez, más de un caso difícil se haya resuelto en esas horas de forzada inactividad.

Mientras volaba, recordaba el problema que, la víspera, me habían planteado. Durante el hormigonado de la visera pretensada de unas tribunas, el mortero segregado había inundado varios de los tubos de alojamiento de las armaduras. Los gatos habían alcanzado altas presiones, con peligro de romper los alambres, sin que éstos se hubieran movido. La armadura quedaba sin tensión en el interior de la pieza.

¡Cosas que pasan en las mejores familias!

Días después de mi llegada a España, giraba una visita de inspección a una obra. Pedí los datos de la maniobra de pretensado. Me mostraron el estadillo de cargas, y allí, junto a las presiones manométricas representativas del esfuerzo efectuado, leí los alargamientos experimentados por el alambre, bajo la acción del esfuerzo de tracción ejercido por los gatos.

Con pequeñas diferencias, los alargamientos registrados oscilaban alrededor de los 0,20 m; pero, marcados con una cruz roja, se leían algunos que apenas llegaban a 5 centímetros.

El mortero había penetrado en aquellos tubos. Las precauciones adoptadas, aire a presión mientras se hormigonaba y agua inyectada durante el curado, habían sido insuficientes.

Me acordé de las tribunas brasileñas que días antes había visitado. A uno y otro lado del Atlántico, los tubos crean las mismas complicaciones.

¡Qué lata dan los tubos!

Analicé las causas. Eran distintas. En las tribunas, el mortero había penetrado entre los puntos de soldadura de la sutura longitudinal del tubo. Aquí, aleccionados con precedentes, se habían empleado conductos de probada estanquidad. El fallo se produjo en las juntas, especialmente en la pieza que divide el conducto de nueve alambres en tres de tres hilos.

Es inadmisibles que el pretensado de una obra quede a merced de la dudosa impermeabilidad de los tubos y sus empalmes.

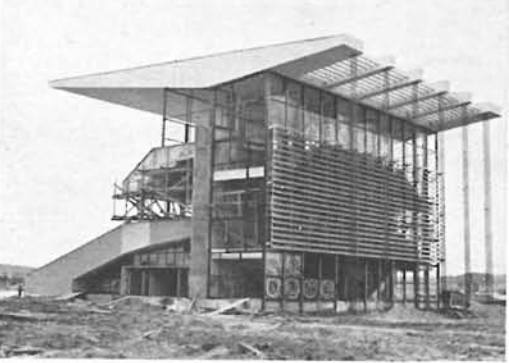
Es cierto que puede lograrse la estanquidad requerida utilizando conductos relativamente rígidos unidos con manguitos de plástico. Pero la solución es cara. El coste de la armadura queda fuertemente gravado con este impuesto. Cuando no se pueden eliminar los tubos, es lógico que se tienda a la reducción del espesor de su pared.

Entonces, hay que guardar todo género de precauciones.

Unas veces se deterioran los tubos al doblarlos durante su colocación. Otras, se aplastan y agrietan al volcar el hormigón. A veces, los soldadores que arman los cercos y disponen las barras longitudinales los perforan cuando manejan el arco para soldar las barras de acero ordinario.

Es práctica muy extendida hacer pasar agua por los tubos. Al principio, durante el hormigonado, sin presión. Después, durante el curado, hasta cuatro atmósferas, si existe algún entorpecimiento.

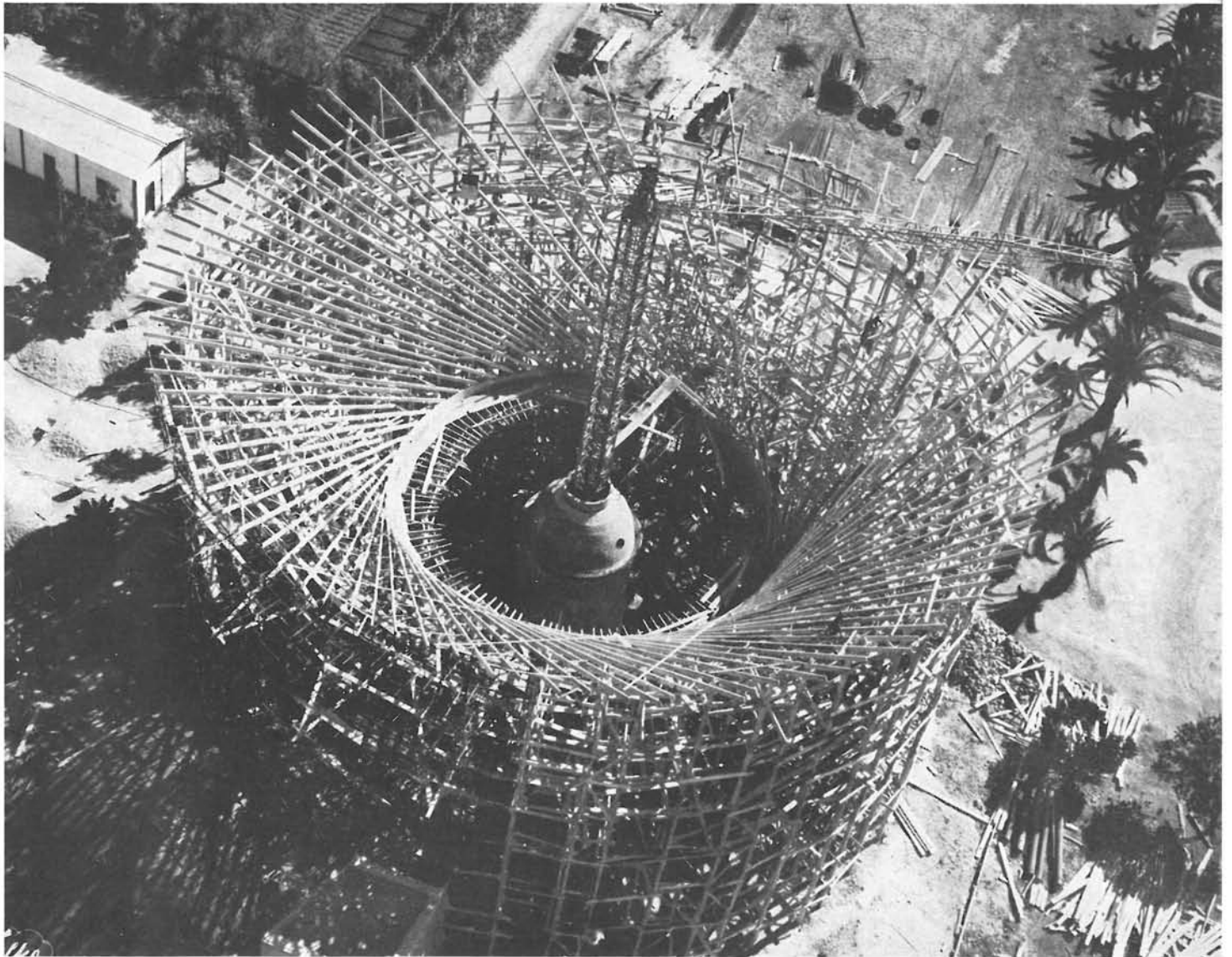
Este sistema tiene sus ventajas e inconvenientes. Es cierto que el agua que circula por los tubos, arrastra rápidamente cualquier vestigio de mortero segregado que pueda haberse introducido durante el hormigonado. Si el mortero está aún fresco, el arrastre se hace sin dificultad. No obstante, siempre cabe la posibilidad de que, lo mismo que el mortero puede entrar, el agua puede salir. Donde se produce una fuga, el hormigón se deslíe. Queda lavado y la ausencia de cemento crea una zona débil. ¿Por qué no inyectar aire comprimido? El aire expulsa la papilla fresca que pueda infiltrarse al hormigonar, sin que las fugas de aire perturben



Visera pretensada, en Brasil.

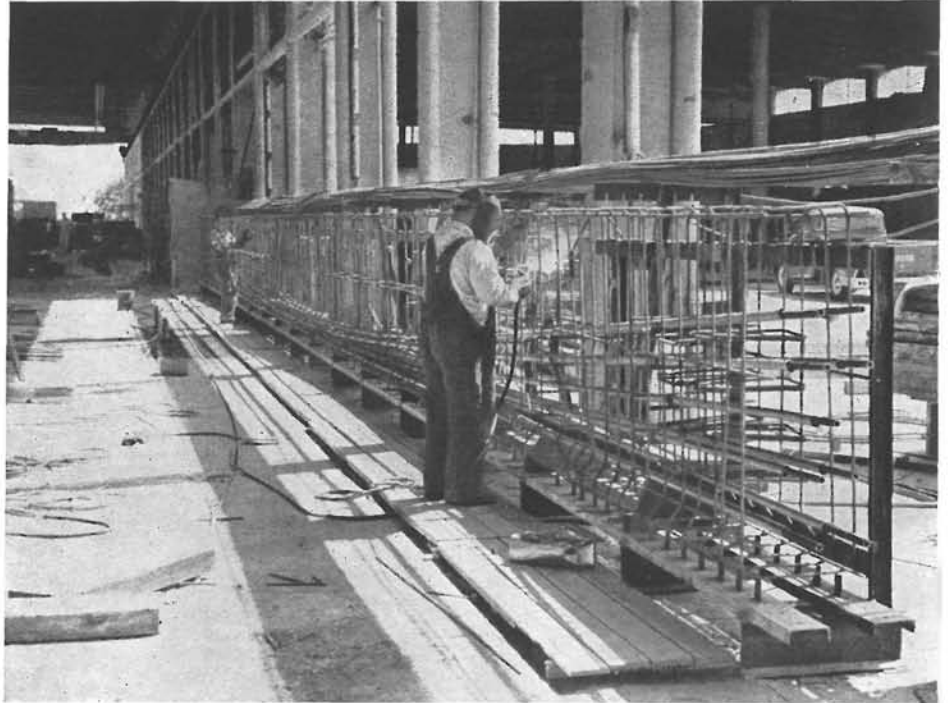
Puente de M.^a Cristina, de San Sebastián (1904).

Depósito elevado, de Fedala (Marruecos).

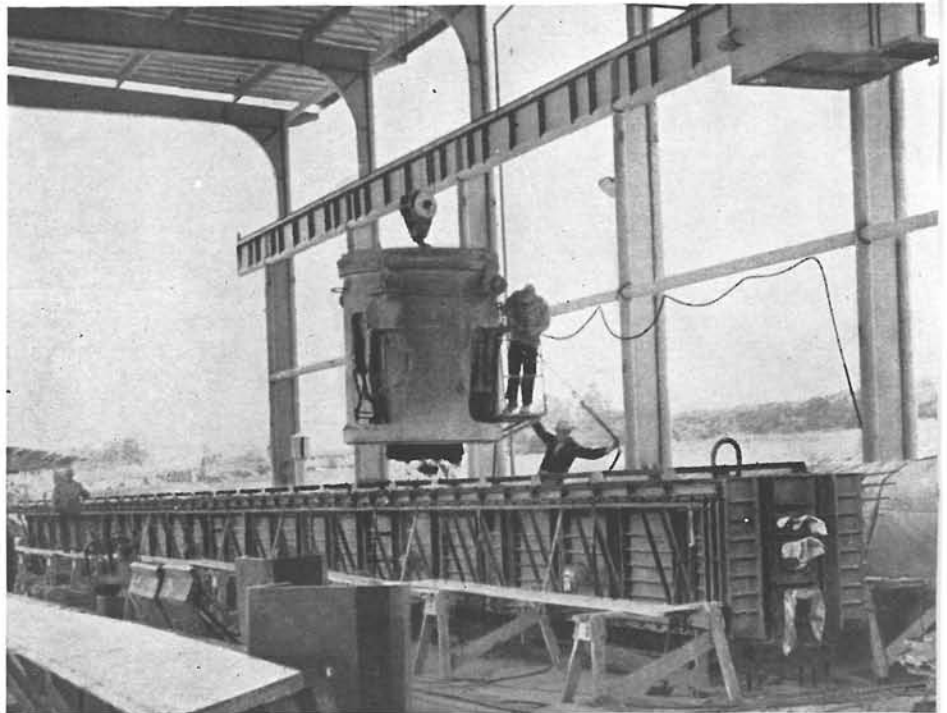


Armado, en taller, de una pieza prefabricada.

El puente de los Nibelungos, en Warms, en plena fase de ejecución (luz del tramo central: 114 m).



Hormigonado de una pieza en un taller de prefabricación.



la relación agua-cemento. El ronco silbido del aire al salir, permite conocer la existencia de una obstrucción obstinada. Sólo entonces, cuando se observa que los alambres no pueden moverse con la mano, es cuando parece indicado recurrir a procedimientos más enérgicos para remediar males mayores. Todo debe estar preparado para inyectar agua a presión, con todos sus inconvenientes.

En estas condiciones, el hormigonado de una pieza pretensada no puede abandonarse a la rutina de la obra.

Urge, pues, buscar una solución más sencilla

Cuando una nueva técnica inicia su desarrollo, tiene que resolver problemas y vencer las dificultades que se oponen a su evolución. En su avance invade, en primer lugar, los campos que le son más propicios, y después extiende su influjo a otros dominios, gracias al mejor conocimiento de sus propiedades.

Es entonces cuando, al empeñar la lucha en escenarios alejados de sus bases de partida, quedan al descubierto sus puntos débiles, los problemas no bien resueltos.

Para prosperar tiene que perfeccionar sus métodos, como un estratega refuerza sus flancos. De otro modo, el avance que un día pareció arrollador, languidece, para, finalmente, sucumbir frente al empuje de una nueva orientación.



El hormigón armado nace, como técnica, muy a fines del siglo XIX. Sus primeras soluciones parecen pesadas estructuras metálicas. Su decoración es afiligranada. Era la época grandilocuente del 1900. Los barrocos capiteles de fundición estaban en boga. No podía pedirse una brusca transformación simultánea de técnica y de arte.

La humana debilidad de "aparentar riqueza" constituía el patrón por el que se dejaban influir los gustos de aquellos años tan representativos. Tímido y avergonzado frente a un ambiente que le era hostil, el hormigón se refugió bajo la máscara de un chapado de piedra. Aún era pronto para salir al exterior y desafiar, atrevido, la repulsa de una crítica no educada para sentir la severa belleza de sus toscos paramentos. Tuvo que esperar.

Pero, pronto inició su evolución

Las estructuras de hormigón dejaron de ser un conjunto de piezas independientes. Los encofrados, dóciles, se amoldaban a las necesidades peculiares del proyecto, y al extenderse fusionaron unas piezas a otras, lográndose una marcada unidad funcional. En progresivo e incontenible avance, la técnica del hormigón fué separándose cada vez más de su punto de partida.

Al cabo de medio siglo ya había adquirido un estilo propio y bien definido. Con su empuje conquistó baluartes que parecían inaccesibles. Dominando las tres dimensiones, sus paramentos se desarrollaron con audacia, envolviendo juegos de volúmenes con alto valor estético en brusco contraste con las soluciones metálicas.

Viriles y arrogantes en su sobria elegancia, las bóvedas de Orly y las tribunas de La Zarzuela representan el pináculo de un estilo conseguido e inconfundible.

Frente a ellas, en el vértice opuesto, a medio siglo de distancia, se alza la compleja maraña de la Torre Eiffel. Lo que un día pareció impresionante monumento, hoy, en su indiscutible grandeza, semeja el frío esqueleto de un penitente que, solo y desarropado, vive en perpetua vigilia las noches brujas de París.

Impetuoso, el hormigón desarrolla sus audaces soluciones. Las luces se fuerzan; las dimensiones se aquilatan; las cuantías de acero se aumentan, y el proceso constructivo se complica.

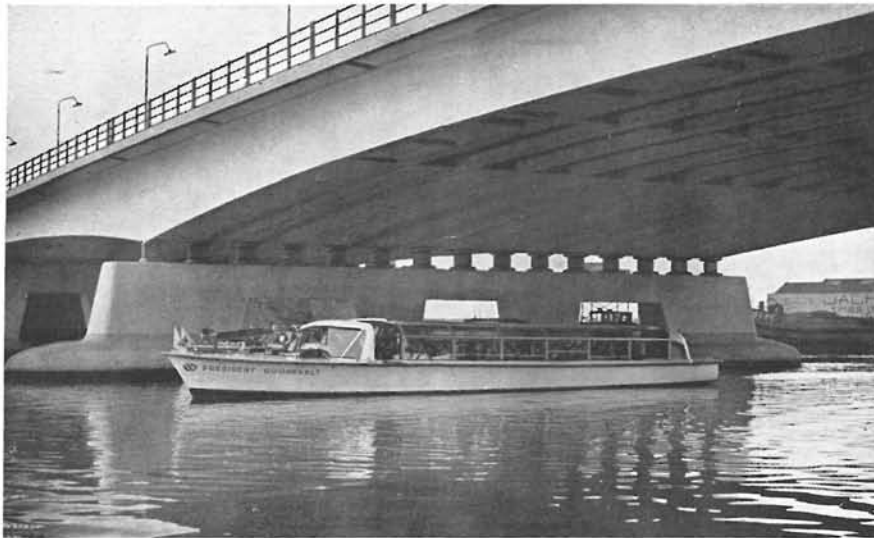
El hormigón pretensado intenta mantener las posiciones ocupadas. Con su ardor juvenil, aporta nuevas soluciones a los problemas constructivos. Los puentes alemanes de Coblenza y Ulm, con su original ejecución en voladizo, constituyen un índice representativo de atrevimiento y dominio de la técnica. El hiperboloide de Fedala refleja la sinceridad de un estilo que supo identificar una propiedad geométrica con una necesidad constructiva. Los cables del pretensado se disponen según las generatrices; la fricción de las armaduras con el hormigón desaparece, así como las pérdidas por rozamiento durante la maniobra de aplicación de los gatos. La pared del depósito acentúa su curvatura a medida que aumenta la presión hidrostática del agua contenida.

Pero, los encofrados son cada vez más costosos.

Las soluciones metálicas presionan constantemente y logran importantes conquistas en el terreno de las cubiertas. El hormigón lucha con denuedo para mantener sus posiciones. Al fin tiene que replegarse porque sus láminas se ven traicionadas por el encofrado, cuyo coste es demasiado elevado.

Aleccionado con este momentáneo fracaso, el hormigón inicia una prudente retirada. Reorganiza sus fuerzas; aprende la técnica de la prefabricación, y prescindiendo de la madera, causa momentánea de su derrota, despliega una enérgica ofensiva, invadiendo terrenos que no había podido ocupar y consolidando posiciones amenazadas.

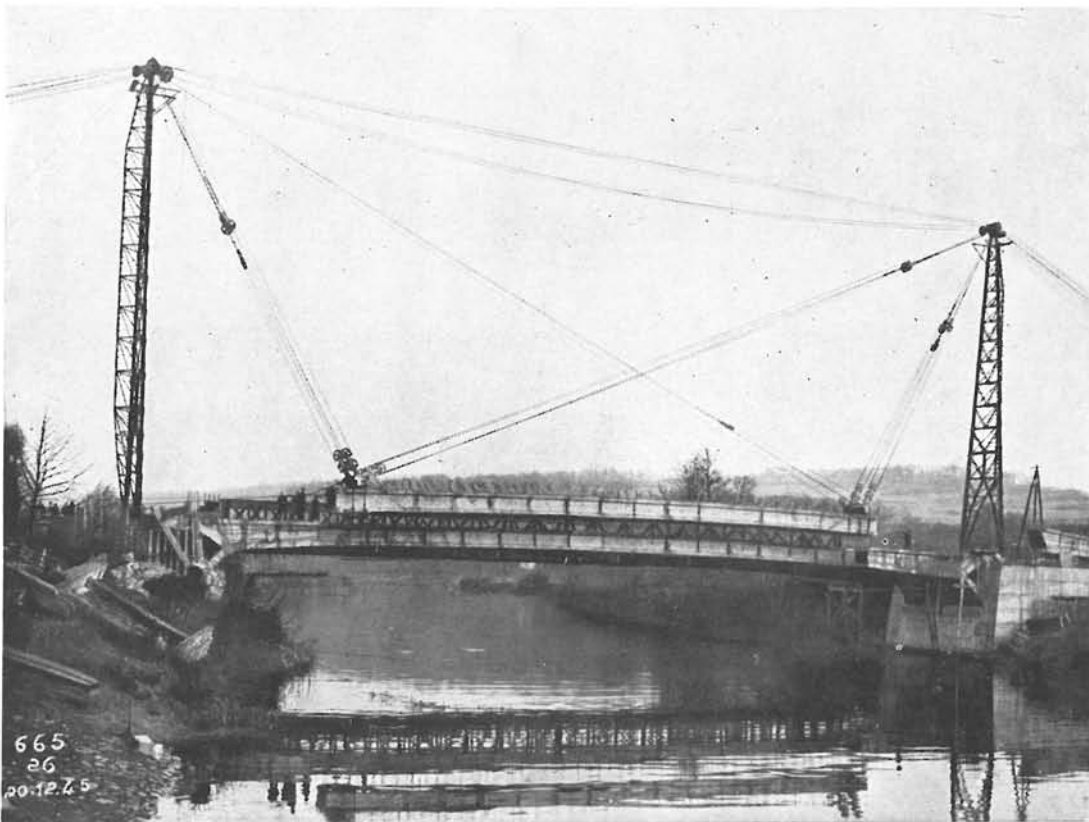
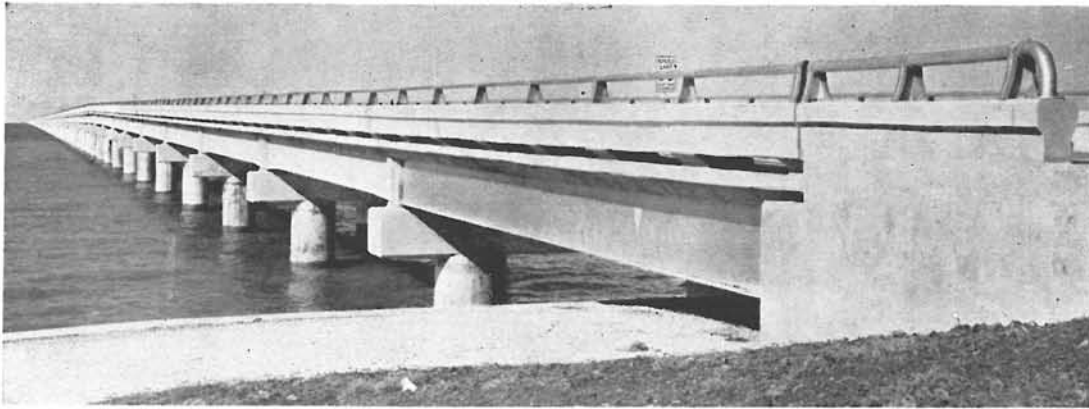
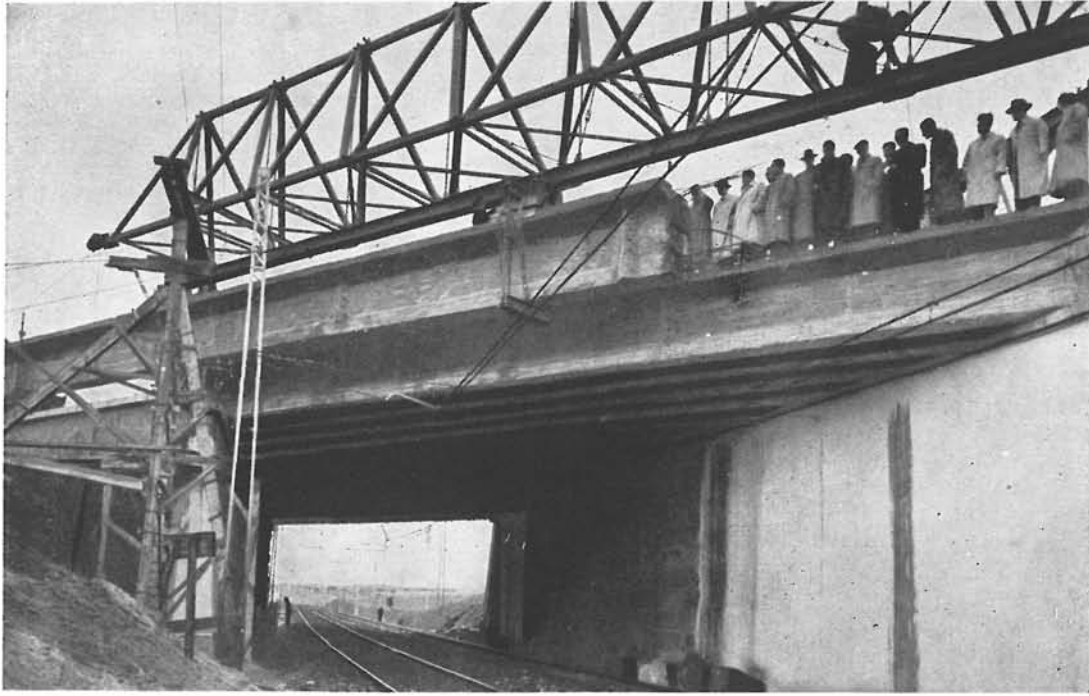
Para conseguir este triunfo, rompe la unidad funcional de la estructura, cuando parecía que con ella había logrado la plenitud de expresión. Deshaciendo el camino desde un principio andado, huye de la intemperie para refugiarse en los talleres. Allí, al calor de la prefabricación, incuba sus piezas entre moldes que mantienen un ambiente artificial.



Estación marítima de El Havre. Colocación de piezas prefabricadas.

Puente del Amstel (Amsterdam).

Puente de Joazeiro (Brasil).



Puente de El Plantio (España).

Puente de Pontchartrain (Estados Unidos).

Puente de Luzancy, sobre el Marne (Francia).

665
26
20-12-75

Piezas, raquílicas como flores de estufa

Sus perfiles imitan los del acero y tesa las armaduras para unir unas piezas con otras.

La Estación Marítima de Le Havre, fué su primer triunfo.

El puente del Amstel es una prueba irrefutable de la perfección alcanzada en pocos años de impetuoso avance. Sus paramentos limpios, la armoniosa disposición de sus líneas y la elegancia de su trazado, son el más claro exponente de las posibilidades de una orientación que al principio parecía fracasada. El puente es una joya de la ingeniería y un triunfo en la pureza arquitectónica de sus líneas.

Confieso que, desde un punto de vista estético, siento cierta debilidad hacia los puentes pretensados prefabricados. A mí me gustan. Sus líneas, bien acusadas, parecen estar en tensión como los músculos del Discóbolo.

Podría intentar la justificación de este parecer, pero prefiero no hacerlo. "El gato escaldado, del agua fría huye." Sé que ahora escribo para los técnicos de habla española; pero, no obstante, creo que lo mejor es no insistir.

Fué durante el desarrollo de una de las conferencias que pronuncié en Brasil. Abordaba el tema de los puentes pretensados, cuando se me ocurrió la peregrina idea de esgrimir el argumento de que, la belleza de los puentes radica en el vigor de sus elementos bien definidos. Viril ha de ser una estructura, que, como un Hércules, soporte el peso de una locomotora, resista las inclemencias del tiempo y afronte la furia violenta de un temporal.

Tal vez, si hubiera parado aquí, no habría pasado nada. Pero cometí el error de amartillar mi posición. Identifiqué el carácter varonil del puente con su género gramatical y afirmé, rotundo, que por eso el puente era masculino.

Me di cuenta de que mis últimas palabras no habían convencido. Demasiado tarde. De las primeras filas se levantó un profesor de la Escuela de Ingeniería, quien, con fina ironía, me opuso:

—Perdón, profesor; en portugués *a ponte* es femenino.

La carcajada fué general. La situación, difícil, pero divertida. El tono amistoso de la objeción, expuesta con una sonrisa traviesa y zumbona, facilitaba la respuesta.

Porque, realmente, los puentes pretensados de Galeão y de Joazeiro no son nada femeninos. El primero, con su trazado en curva, parece salir a las puertas de Río de Janeiro para recibir al viajero que llega en avión y avisarle que la ciudad, cuyas puertas abre, es tan moderna como su técnica, nítida como sus tramos y extensa como su desarrollo.

El puente de Joazeiro impresiona por su extraordinaria longitud. Probablemente, sólo le supera el recientemente terminado puente de Pontchartrain.

Como en nuestro puente de El Plantío, el sistema de ejecución consiste en colocar las vigas prefabricadas, mediante la ayuda de unas vigas trianguladas metálicas, a modo de puente-grúa.

Pero la técnica de la prefabricación no se ha detenido en estas realizaciones modelos de organización. Incómoda por las dificultades en el transporte de sus piezas, ha dado un paso más. No sólo fracciona la estructura, sino que también subdivide las piezas.

Los puentes del Marne, proyectados por Freyssinet, han sido, como la Estación Marítima del Havre, unas realizaciones que se adelantaron más de quince años a la evolución normal de la técnica. Revolucionarias por su concepción, han necesitado el transcurso del tiempo para ser asimiladas.

Como pacíficos proyectiles con espoleta retardada, su incruenta explosión ha conmovido la técnica de la prefabricación. Reduciendo el tamaño de las dovelas a los límites impuestos por las condiciones locales, amoldando los pesos a las disponibilidades de transporte, diferentes países inician, ahora, un simultáneo movimiento hacia esa prefabricación fraccionada de los puentes.

Nueva Zelanda y España adoptan unas dimensiones para las dovelas, del orden del metro y de unos 400 a 700 kg de peso. Países antípodas, marchan al unísono. Italia sigue la misma orientación, pero entre las vigas prefabricadas apoya el encofrado del tablero. Inglaterra lanza unas vigas ligeras que luego completa. Checoslovaquia inicia la prefabricación ambulante.

La prefabricación tiene sus ventajas y sus inconvenientes, sus economías y sus gravámenes.

Cada país intenta soslayar las partidas que más pesan en el presupuesto. En España, los conductos para las armaduras son caros. Con frecuencia superan el tercio del coste del acero. El puente de Almarail, con sus armaduras por fuera, es el grito de rebeldía contra la imposición de ese tributo.

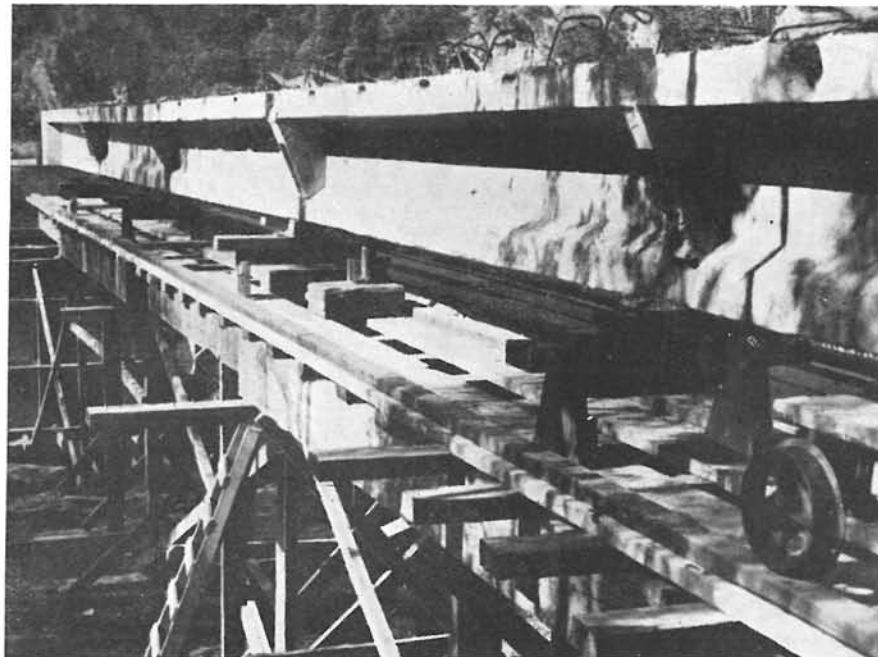
Es práctica frecuente en prefabricación reducir la longitud de cada pieza, de cada dovela, a los 1,40 m. Con esta dimensión, basta colocar una barra en la posición que debe ocupar el conducto para que, al extraerla cuando comienza el endurecimiento del hormigón, quede el hueco por donde después pasarán las armaduras de pretensado. Una longitud mayor, haría más difícil la maniobra.

El peso de las piezas que resultan de este fraccionamiento no pasa de 700 kg. La carga y descarga en camiones no exige la presencia de una maquinaria especial. Los moldes repiten dovelas y dovelas.

Las piezas presentan un amplio desarrollo de cabezas. Con sus alas a tope, el hormigonado de la carpeta del tablero se realiza sin necesidad de colocar encofrados entre las vigas.

Puente ferroviario sobre la carretera de Gilroyd (Inglaterra).

Transporte y colocación de piezas prefabricadas para la construcción de puentes en Nueva Zelanda.



Si esta capa final de hormigón "in situ" es muy delgada, cada viga longitudinal tiene que resistir, por sí sola, la posible acción de una serie de ruedas actuando en toda su longitud. Se economiza armadura si las cargas se reparten entre varias vigas. Para que este reparto sea posible, se precisa que el tablero sea suficientemente resistente y rígido. Si el espesor se aumenta en la proporción necesaria, su peso muerto es considerable. Si se reduce, no resiste la acción de los esfuerzos cortantes que aparecen entre la viga situada bajo la carga y las adyacentes.

Para resolver esta situación de compromiso, se recurre al pretensado transversal del tablero, último baluarte de los tubos. La compresión ejercida aumenta, en la medida necesaria, la capacidad de resistencia del hormigón del tablero a los esfuerzos cortantes en juego.

Para eliminar los conductos de alojamiento de las armaduras de pretensado transversal, es decir, para lograr la economía que se deriva con la supresión de este material auxiliar y gravoso, la técnica española sitúa unos tableros transversales que, como las barras de los moldes, se extraen cuando el hormigón comienza su endurecimiento. En su lugar, quedan unas ranuras en cuyo fondo se colocan las armaduras de acero especial. Sólo en algunos bordes quedan unas cortas entubaciones, testigos de la derrota.

Después, cuando se ha efectuado la maniobra del pretensado, se rellenan con hormigón fino las ranuras, y se coloca el firme.

Como consecuencia del proceso de ejecución seguido, las armaduras del tablero tienen que adoptar un trazado rectilíneo, cuando la ley transversal de esfuerzos de flexión en el reparto de cargas es ondulante. Arqueando las alas, curvando el intradós del tablero, se consigue armonizar la distribución de momentos con la posición de las armaduras. Esta circunstancia define el trazado aparentemente caprichoso de las alas de las vigas prefabricadas.

La técnica italiana participa también de este movimiento subversivo contra los tubos. La solución es, no obstante, completamente distinta. Sitúa un encofrado entre las vigas longitudinales y construye el tablero en hormigón armado. La totalidad del esfuerzo cortante entre vigas se absorbe con cercos y barras levantadas. La cuantía de armaduras transversales es varias veces superior a la requerida para suplementar la capacidad de resistencia al corte, del hormigón, mediante la costura del pretensado.

Teóricamente, al menos, la solución española parece más económica, ya que aprovecha una resistencia que los italianos parecen despreciar. En el fondo, todo es un problema de precios. No hay que olvidar que los pretensados transversales no son tan económicos como los longitudinales, por razón de su menor longitud. El número de anclajes y maniobras de gatos por unidad de superficie, aumenta.

La técnica norteamericana, también se solidariza con la europea frente al enemigo común: el coste de los tubos. Dotada de unos medios mecánicos más potentes, prefiere transportar las vigas enteras y liberar la obra de la labor, un poco de artesanía, del rejuntado de las dovelas.

Alineados en las playas de prefabricación, los moldes reciben el hormigón procedente de una instalación centralizada que dosifica automáticamente las proporciones.

Vibrado el hormigón, su proceso de endurecimiento se acelera mediante un curado por vapor. Las piezas se transportan a su sitio, bien en camiones o bien por ferrocarril, utilizando plataformas especiales.

Pero tal vez el punto más interesante sea el sistema de pretensar las armaduras. Antes de volcar el hormigón, se sitúan las armaduras dentro de los moldes. Estos moldes son algo más rígidos que los habituales. Las armaduras están desnudas, sin los tubos que las envuelven.

Una vez situadas en la posición conveniente, se anclan sus extremos al encofrado. Introduciendo después, verticalmente, un vástago, se consigue, ejerciendo la presión necesaria, hacer descender la armadura a su trazado definitivo, tirando de ella desde abajo, o empujándola desde arriba. Como la armadura está firmemente sujeta en sus extremos, la deformación impuesta tensa los alambres.

Cuando se vuelca el hormigón, la armadura está a la tensión requerida. Pasado el plazo necesario para que el hormigón alcance la resistencia prevista, se sueltan las amarras de los encofrados, y la armadura, ya liberada, transmite por adherencia al hormigón la carga prevista.

Buena jugada

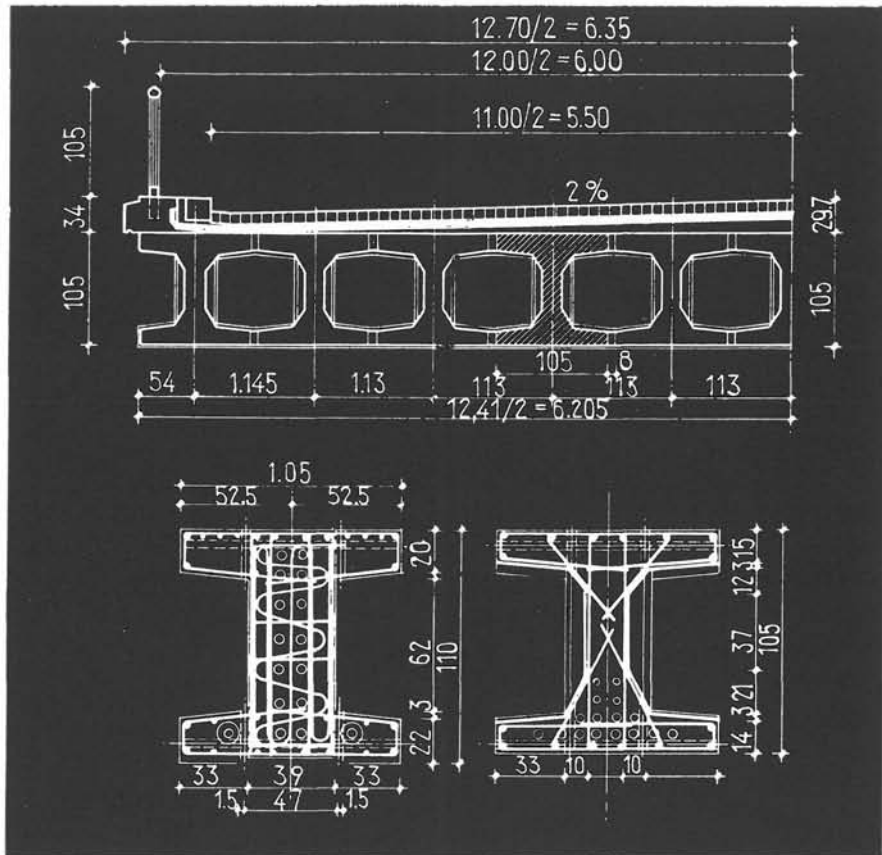
En un solo golpe se han eliminado los tubos y los gastos por utilización de patentes para tesar los alambres.

La pieza sale, se transporta y se coloca en la obra como si fuese una jácena metálica. Hace unos años, nadie hubiera dicho que era de hormigón, tal es la lisura de sus paramentos y su extraordinaria esbeltez, un tanto obligada por las condiciones del transporte.

Los encofrados desaparecen. Sobre las vigas prefabricadas se hormigona el tablero.

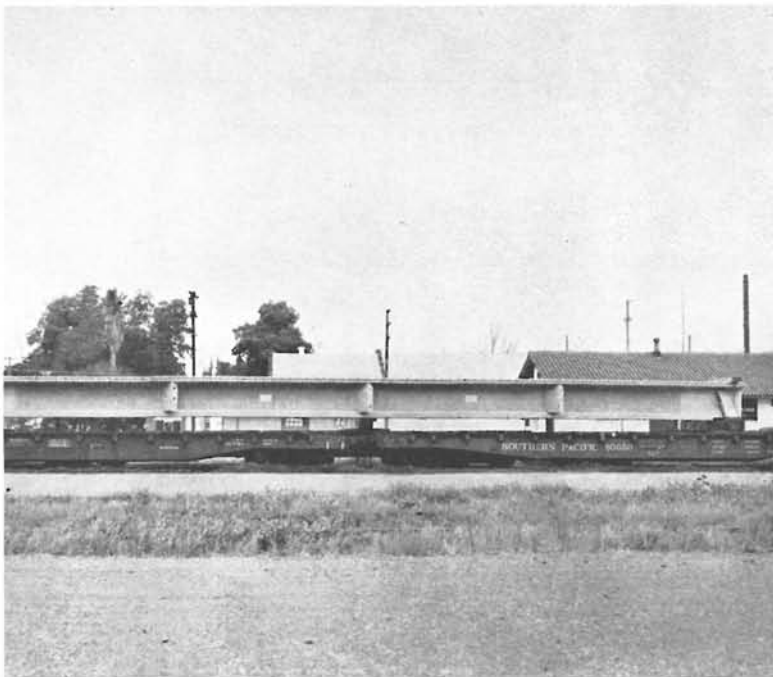


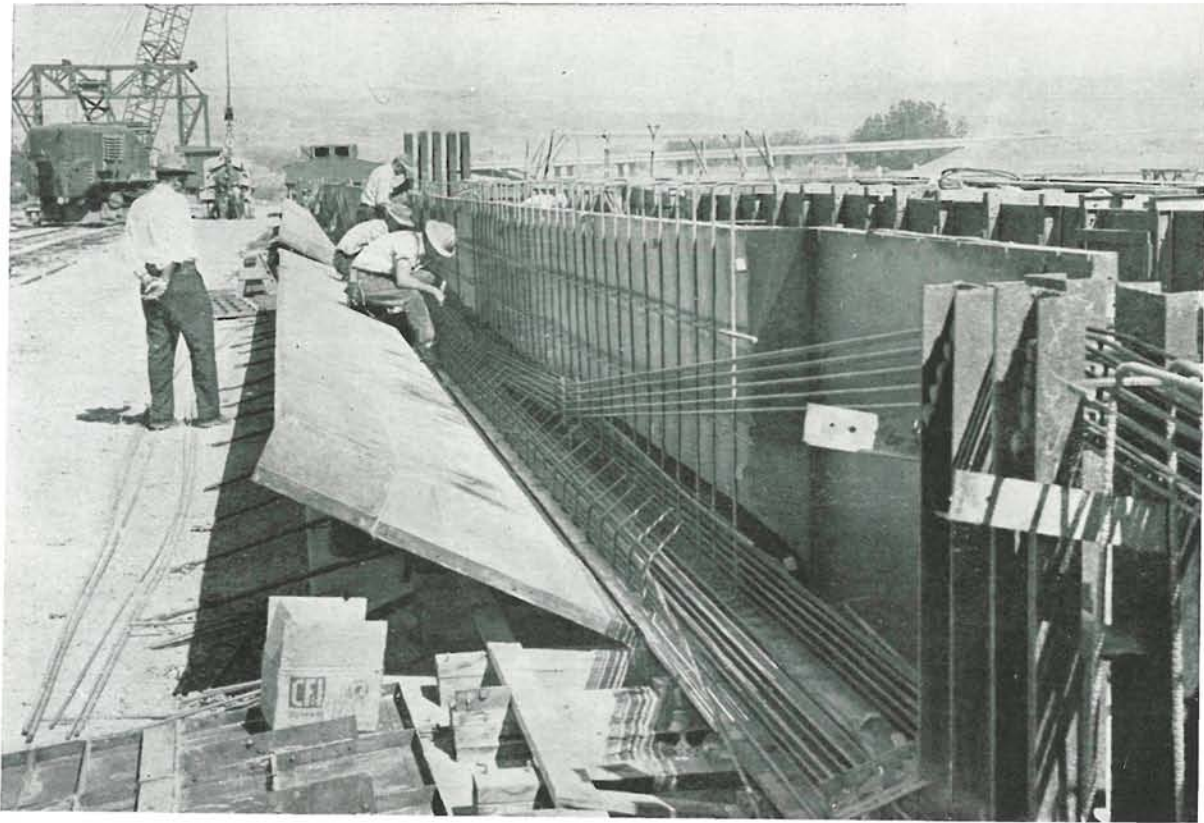
Un puente no es una casa. Es cierto que algún gitano puede oponer ciertos reparos a esta afirmación; pero hecha la salvedad, puede sostenerse que este principio no es más que una descarada incursión por los terrenos de Pero Grullo.



Solución checoslovaca de puentes prefabricados.

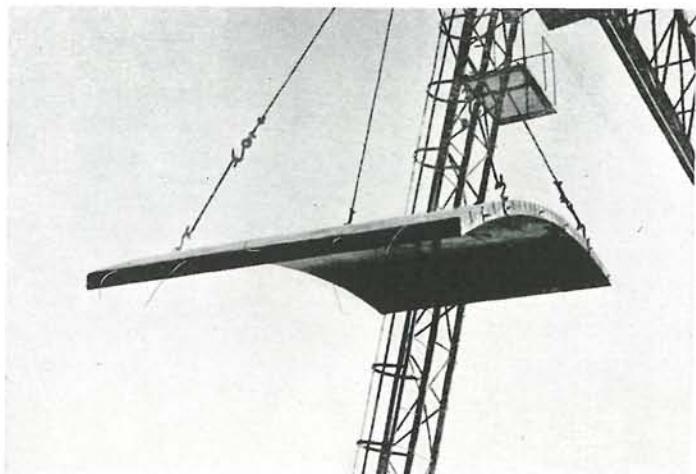
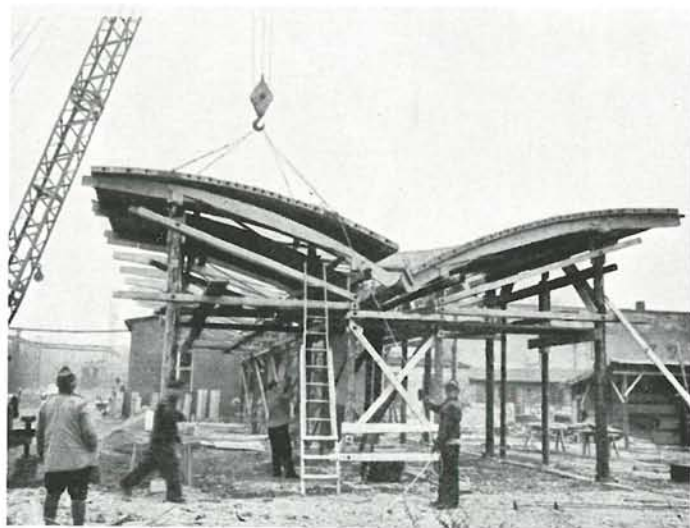
Pieza y área de prefabricación norteamericana.





Encofrado y armaduras de vigas para puentes prefabricados norteamericanos.

Marquesinas prefabricadas para los ferrocarriles alemanes.



Por rara paradoja, la técnica del hormigón pretensado, sin negar abiertamente la afirmación establecida, concede que, en verdad, existe un cierto parentesco entre el tablero de un puente y los forjados de un edificio, así como entre los largueros de aquél y las vigas o cerchas de una cubierta.

Por lo menos—añade—, la técnica y los procedimientos constructivos de un caso, son aplicables al otro.

Realmente, el número de cubiertas prefabricadas y construidas en la forma descrita para los puentes, supera, con mucho, al de estos últimos. Unas veces, las vigas prefabricadas, enterizas, se colocan sobre los muros de fachada y se llevan a su posición mediante una grúa. Otras, las vigas de cubierta, fraccionadas en dovelas, se rejuntan y solidarizan con el esfuerzo de pretensado en lo alto del muro, en un extremo de la nave, y luego se trasladan horizontalmente para situarlas en su definitiva posición.

En general, tanto en puentes como en edificios los elementos pretensados prefabricados son rectilíneos o planos. El puente del Amstel, con su airoso arco rebajado, es una excepción. Las nuevas marquesinas de los ferrocarriles alemanes, es otra. Ambas representan el amplio horizonte de posibilidades abierto a la prefabricación pretensada.

Hasta hace poco era muy escasa la información que se poseía sobre el desarrollo de la técnica del pretensado al otro lado del telón de acero.

Pero, últimamente, parece confirmarse el propósito de recorrer, siquiera parcialmente, esa cortina de misterio que oculta los progresos realizados en aquellos países.

La información, forzosamente incompleta, parece indicar que es en el dominio de los elementos prefabricados donde los avances han sido mayores.

La técnica rumana ha ensayado, al parecer con éxito, la construcción de cerchas trianguladas compuestas por elementos prefabricados pretensados. El aspecto de estas cerchas, sumamente ligeras, no presenta sensibles diferencias con las metálicas.

La unión de unos elementos con otros, se realiza mediante el pretensado longitudinal de los pares y el secundario de montantes y diagonales. El sistema empleado para tesar las armaduras es el soviético, basado en el anclaje de los alambres en un bote o mazalota que se rellena con un mortero de alta resistencia.

El punto débil de estas cerchas son los nudos o juntas de unos elementos con otros. En los ensayos efectuados se acusó, de un modo claro, la insuficiencia resistente de los enlaces.

Las soluciones polacas son las más parecidas a las occidentales. Son muy frecuentes las vigas de cubierta para naves de 15 a 25 m de anchura con las armaduras rectas y el trasdós, bien parabólico o bien a dos aguas. La sección de estas vigas es la de una doble T con alas muy poco desarrolladas.

La característica fundamental de la técnica checoslovaca es la alta resistencia de los hormigones frecuentemente empleados en la ejecución de los elementos prefabricados pretensados. Empleando dosificaciones de 450 a 500 kg de supercemento, con relaciones agua-cemento variables entre 0,27 y 0,33, cuando se emplean vibradores de superficie, y comprendidas entre 0,38 y 0,40 cuando la vibración es interna, se consiguen hormigones que, frecuentemente, alcanzan los 1.000 kg/cm² de resistencia en probeta cúbica a los veintiocho días.

Pero tal vez lo más sorprendente, es el sistema soviético para ejecución de traviesas, vigas y forjados prefabricados.

El sistema empleado es el que podría llamarse de hilo continuo. El sistema Preload, para depósitos cilíndricos, es de este tipo. Un carretón gira alrededor del depósito, dejando, a la tensión requerida, el hilo que lo zuncha.

En el sistema soviético el elemento móvil es, generalmente, la pieza. Montado el molde de la traviesa o el forjado sobre una mesa giratoria, el alambre se arrolla entre unos pernos que sobresalen. Una vez situada la armadura, se procede al hormigonado. Cuando se alcanza la resistencia requerida, se sueltan los pernos de sus fijaciones en el encofrado.

El aislamiento de estos países impide asegurar si corresponde a la técnica soviética la primacía de este procedimiento o no es más que una copia, perfeccionada, de un sistema americano para ejecución de viguetas en mesa giratoria de eje vertical.

Lo que parece original, es un segundo sistema, probablemente más extendido que el anterior, consistente en devanar el hilo tenso entre unos pernos salientes colocados sobre una mesa o tablero. Del mismo modo que una encajera maneja sus bolillos, trenzando sus hilos entre los alfileres clavados en la almohadilla, una máquina, portadora de los rollos de alambre, teje la armadura entre los pernos salientes atornillados en la mesa.

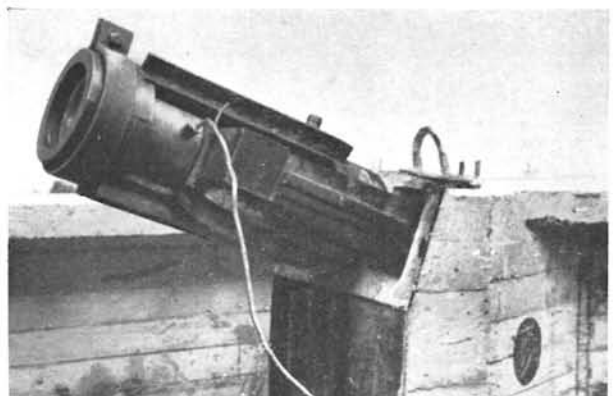
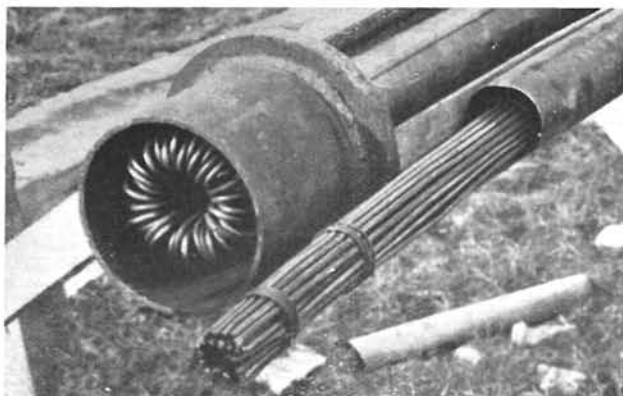
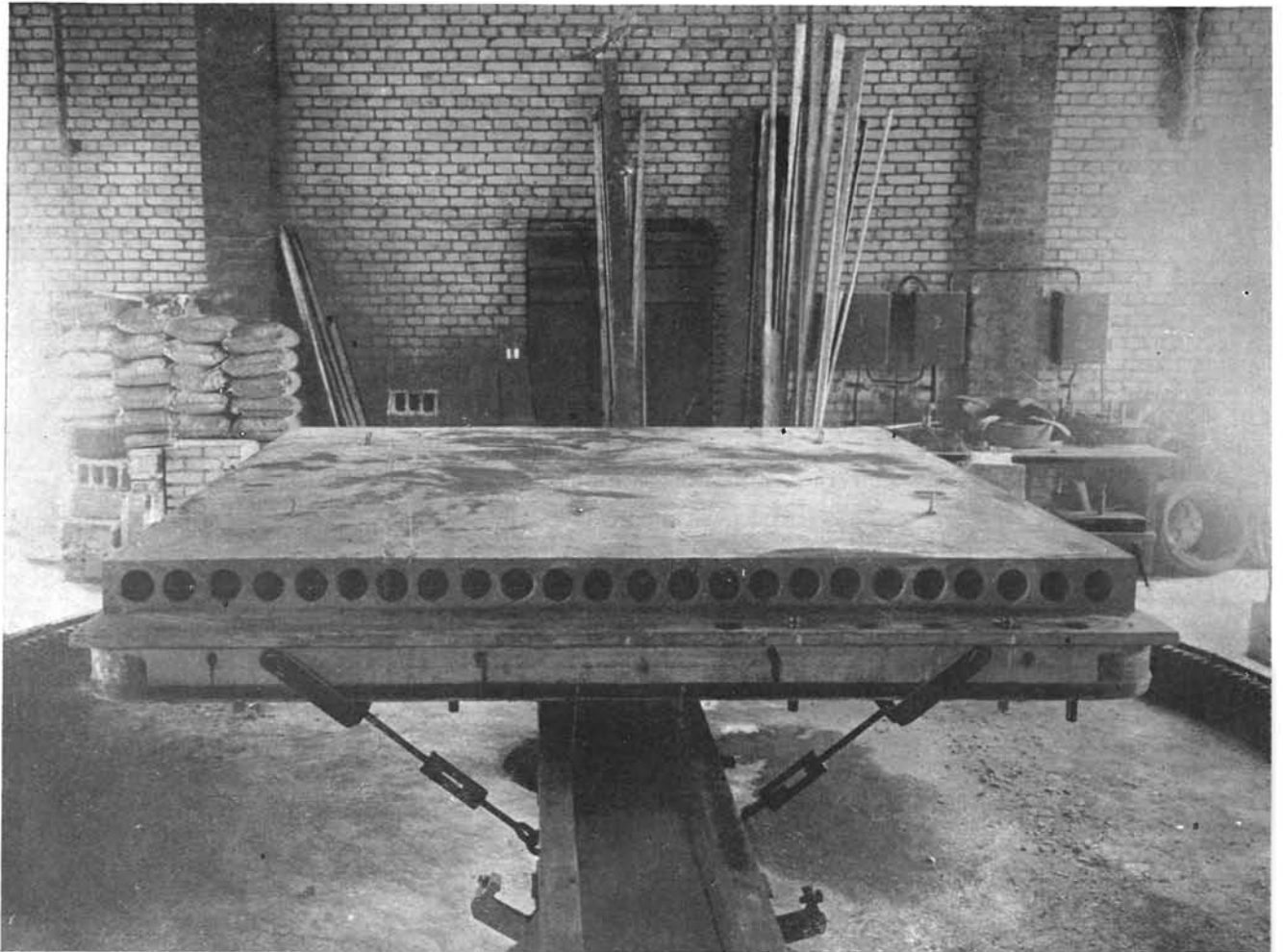
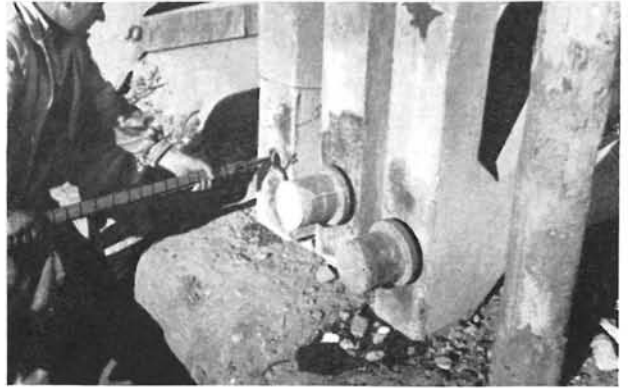
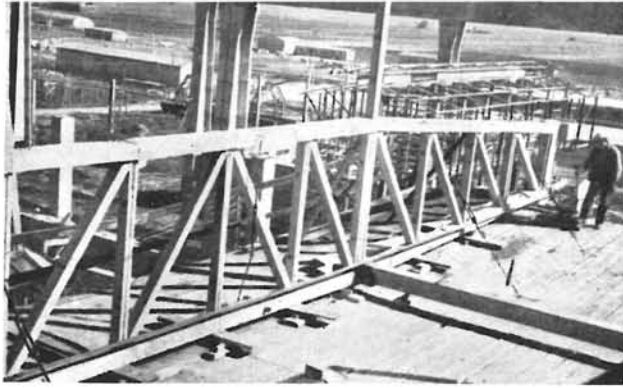
He comentado las ventajas de la prefabricación y la posibilidad de suprimir encofrados, tubos e incluso anclajes y gatos.

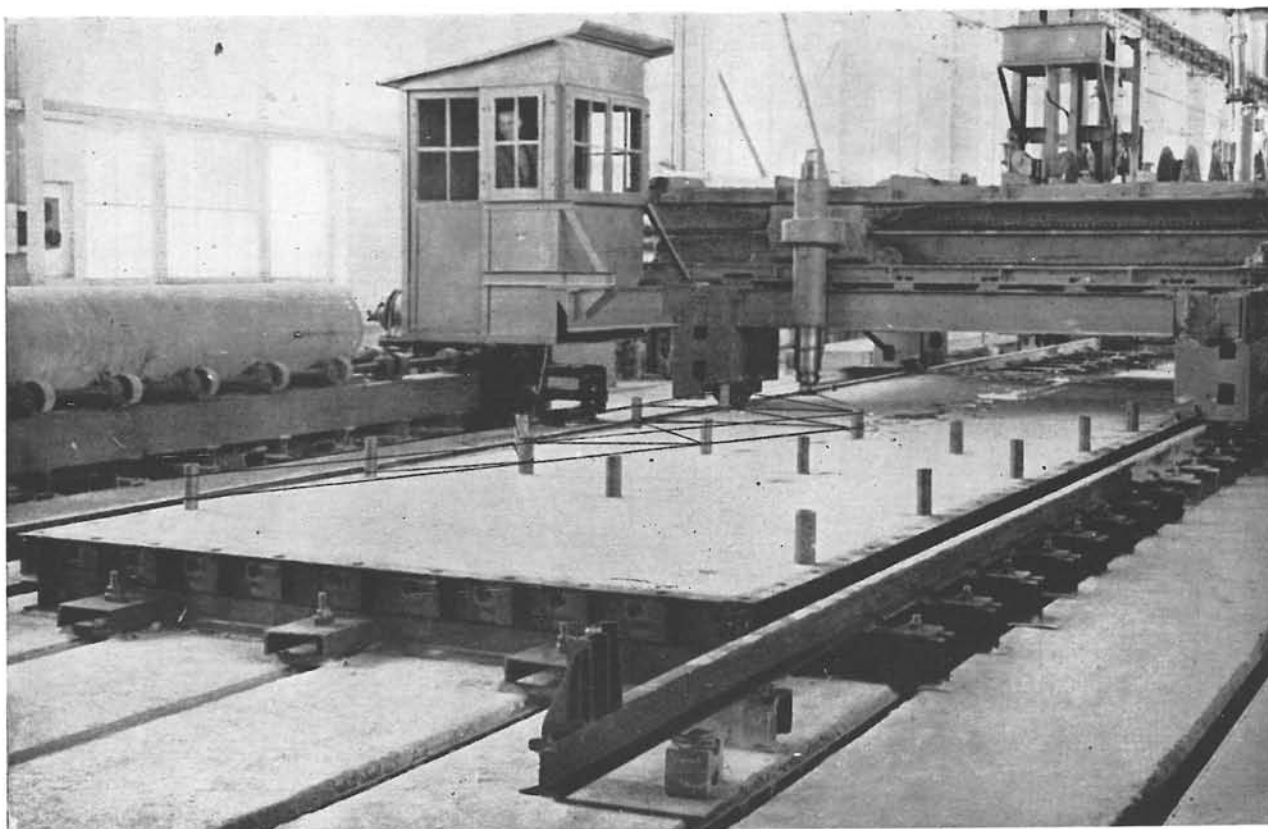
Para completar estas nuevas orientaciones, debería decir algo sobre cerámica pretensada y sobre la utilización de las fibras de vidrio o de cuarzo como sucedáneos de las armaduras. Pero, no me atrevo. Temo las conclusiones que se podrían derivar.

Si a alguien se le ocurre la idea de que lo bueno es sustituir el hormigón y el acero, por la cerámica y el vidrio, se acabó el hormigón pretensado.

Y entonces, ¿qué hago yo?

Cerchas rumanas, compuestas de elementos prefabricados, y detalle del sistema soviético de anclaje empleado en su construcción.
Mesa giratoria soviética para la ejecución de forjados.
Detalle del dispositivo de anclaje y gato soviéticos.





Procedimiento soviético
para situar y poner en tensión la armadura de pretensado
en piezas prefabricadas.

Cercha de hormigón pretensado prefabricada con arreglo al
método al que se refiere la anterior fotografía.