
ANALES

DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Sucesor

De la:

«SOCIEDAD DE INGENIERIA»
Fundada el 31 de Mayo de 1888

Y del:

«INSTITUTO DE INGENIEROS»
Fundado el 28 de Octubre de 1888

Con Personalidad Jurídica desde el 28 de Diciembre de 1900

Adherido a la USAI y a la CONFERENCIA MUNDIAL DE LA ENERGIA

AÑO LXI

SEPTIEMBRE - OCTUBRE DE 1948

N.ºs 9 - 10

Comisión Editora: Raúl Sáez S. (Pdte.), Carlos Ponce de León, Arturo Quintana y Carlos Concha

Ing. Luis Lamarca S.

El hormigón precomprimido o con armaduras pretensas

El progreso del hormigón armado ordinario está limitado por la resistencia a la tracción del hormigón, de tal modo que es imposible emplear ventajosamente en estas obras, aceros de alta resistencia. Tampoco es conveniente en piezas flexionadas, utilizar totalmente la resistencia a la compresión de los hormigones de alta calidad que actualmente pueden elaborarse, pues esto equivale a hacer vigas de tan poco espesor que la cantidad de acero requerida resulta prohibitiva económicamente.

El hormigón precomprimido, basado en un principio tan antiguo y conocido como el que se aplica en el zunchado de los toneles o en la colocación de llantas a las ruedas de carreta, ha venido a resolver este tropiezo, ya que la precompresión obtenida al colocar las armaduras en tensión antes de que actúen las cargas, elimina toda fatiga de tracción en el hormigón y lo hace trabajar como si fuera un material homogéneo.

Ya en 1888, Doering expuso y patentó el principio, pero la mala calidad del hormigón empleado acarreó el fracaso del procedimiento.

En 1907, el Ingeniero alemán Koenen tomó la idea de Doebling y construyó algunas vigas colocando las armaduras en tensión antes de vaciar el hormigón. Los aceros eran del tipo corriente con límite elástico de 2.900 Kgs/cm². y la tensión previa que les dió fué de 600 Kgs/cm². Los primeros resultados demostraron que la fatiga del acero que producía

el agrietamiento del hormigón había aumentado de una cantidad igual a la tensión previa, y esto era un primer resultado satisfactorio; pero después de un tiempo en que las vigas fueron descargadas y vueltas a cargar repetidas veces, los efectos del tratamiento parecían haber desaparecido. Sucedió que la contracción del fraguado y el escurrimiento plástico del hormigón, habían anulado la tensión previa.

El propio Koenen, en su patente registrada en 1912, escribía que debido a la anulación de la tensión previa con motivo de la contracción, era conveniente buscar otros medios para mejorar el hormigón.

En 1927, el Ingeniero francés Freyssinet obtuvo por primera vez éxito con este procedimiento, al darse cuenta de que era absolutamente necesario emplear materiales de alta calidad y dar al acero tensiones previas, vecinas de su límite de elasticidad, y aún superiores a él, durante un corto tiempo, con lo que se consigue elevar dicho límite.

Aparentemente, el Sr. Freyssinet no hizo más que repetir las experiencias de Koenen con mejores materiales, y este fué el argumento que en un principio le opusieron cuando quiso patentar su invento en Alemania. Sin embargo, el verdadero mérito del Sr. Freyssinet está en haberse aproximado al límite elástico con la tensión de los aceros, y en haber concebido, no solamente un hormigón armado mejorado, en el que se conserva el principio del par resistente formado por el acero extendido y el hormigón comprimido, sino un hormigón simple que trabaja como cualquier material homogéneo; el papel del acero es solamente someter al hormigón a una compresión previa por lo menos igual a la tracción que deberá soportar; enseguida, al aplicarse las cargas, éstas no modifican la tensión del acero, salvo en la pequeña cantidad que corresponde a un alargamiento igual al de la descompresión del hormigón, o sea 2 a 3 % de aumento, pues no se llega nunca más allá de la descompresión total.

Cuando con la tensión previa se trata sólo de obtener un mejoramiento del hormigón armado por aumento de la fatiga de trabajo en el metal; aún con los aceros modernos de alta resistencia, las economías de acero que resultan no son suficientes y ellas redundan en un incremento proporcional de la abertura de las grietas y de las flechas de las vigas, después de agotada la resistencia a tracción del hormigón.

El hormigón precomprimido no es en absoluto un hormigón armado mejorado. Como dice el Sr. Freyssinet, no tiene con el hormigón armado ninguna frontera común. Sus magníficas cualidades no se deben a una tensión previa cualquiera de las armaduras, sino a un grado determinado de precompresión, tal, que hace entrar y mantiene a todas las fatigas posibles dentro del campo de la elasticidad.

A fin de que la pérdida de tensión de los aceros, debido a los escurrimientos plásticos y contracciones, sean una proporción mínima de la tensión previa, es conveniente usar aceros de alto límite elástico. Este material se obtiene partiendo de los aceros ordinarios al carbono, modificados por agregado de algunas milésimas de manganeso y otros elementos (límite elástico: 50 Kgs/mm²., ruptura: 100 Kgs/mm².) y en

seguida sometiéndolos a una combinación de tratamientos térmicos y trafiladura o a laminadura en frío, con lo que obtienen límites de elasticidad aparentes del orden de 100 a 120 Kgs/mm². para los aceros de 5 mm. de diámetro y de 100 a 190 para los de 2 mm. de diámetro, y fatigas de ruptura de 130 a 160 Kgs/mm². para los primeros y de 200 a 240 para los segundos.

El precio actual en Francia de estos aceros especiales, calculado al cambio de exportación, es de más o menos 17 centavos de dólar para el de fabricación nacional, y de 33 centavos para el de procedencia belga, contra 10 centavos que vale el acero redondo corriente. Como la industria siderúrgica francesa está desarrollando extraordinariamente la producción de acero de este tipo, dentro de pocos meses podríamos disponer de él en Chile a un precio que como se ve es semejante al de nuestro acero corriente.

Por su lado los hormigones deben ser de calidad óptima a fin de reducir a un minimum el peso muerto y las contracciones, y mejorar en lo posible la adherencia y la resistencia a las sollicitaciones especiales de este tipo de obras. Su elaboración es por lo tanto muy delicada y exige un estudio cuidadoso de la granulometría de los agregados y de la relación agua/cemento de la mezcla que no debe exceder de 0,4 en peso. Las dosificaciones de cemento usuales, son de 350 y 400 Kgs/m³. y la vibración es imprescindible. En esta forma se obtienen resistencias a la ruptura, al momento de la puesta en compresión previa, muy superiores al minimum aceptable para estos trabajos, que es de 400 Kgs/cm².

Esta cualidad fundamental del hormigón precomprimido, de permitir el aprovechamiento al maximum de las propiedades resistentes de los aceros y hormigones modernos con la consiguiente economía de materiales, no es la única ventaja que él tenga sobre el hormigón armado corriente.

La precompresión aplicada en la forma que hemos visto, hace que el hormigón adquiera propiedades mecánicas extraordinarias, aún superiores a las de un hormigón que tuviera igual resistencia a la tracción que a la compresión. En efecto:

1.º—En una viga o losa precomprimida, el peso propio no necesita para ser soportado ni acero ni hormigón suplementarios, siempre que él sea una fracción no mayor del 70 % de la carga variable. Esto se debe a que las cargas muertas actúan generalmente en forma simultánea con la puesta en tensión previa, y entonces un simple desplazamiento hacia abajo de la armadura en la sección basta para crear un momento resistente que compense el efecto de dichas cargas muertas. Por consiguiente, a igualdad de fatiga máxima de comprensión, una losa o viga de sección rectangular precomprimida, puede resistir el doble que otra losa o viga fabricada con un material isorresistente a la tracción y a la compresión, y tres o cuatro veces más que una losa o viga de hormigón armado corriente de la misma calidad y altura.

2.º—El hormigón precomprimido resiste indefinidamente a los esfuerzos alternados, con la sola condición que las fatigas de comprensión del hormigón estén dentro de los límites aceptables. En el hormigón armado corriente, uno de los más graves inconvenientes es que la fatiga límite del acero para la cual empieza el hormigón a agrietarse, disminuye considerablemente con las cargas variables.

En el precomprimido no existe este inconveniente, pues la fatiga del acero es prácticamente invariable y no hay fatigas de tracción en el hormigón; de donde se desprende que es un material especialmente apto para construcciones antisísmicas o para emplearlo en elementos sometidos a fuertes esfuerzos dinámicos como los durmientes de ferrocarril.

3.º—Las flechas de las obras de hormigón precomprimido son pequeñísimas en comparación con aquellas de los sistemas corrientes, debido a la menor deformación de las fibras extendidas por descompresión del hormigón.

4.º—Desde el punto de vista de la resistencia a los esfuerzos de corte, en piezas sometidas a flexión simple, el hormigón precomprimido puede resistir diez veces más que el hormigón armado corriente a igualdad de sección. En efecto: mientras en este último la fatiga principal de tracción tiene el mismo valor que la fatiga máxima de cizalle, en el precomprimido, debido a que la compresión permanente se compone con la fatiga de cizalle, la fatiga principal de tracción es despreciable. Aún se puede llegar a suprimir toda tracción empleando armaduras tendidas previamente en varias direcciones; la fatiga límite de resistencia al cizalle es, en este caso, igual al límite de compresión del hormigón.

5.º—El coeficiente de seguridad que se adopta para el acero en el hormigón armado corriente, toma en consideración el fenómeno de fatiga del metal que se produce con los esfuerzos alternados y que reduce enormemente su resistencia estática. Como el acero del hormigón precomprimido trabaja a tensión casi constante no existe esta limitación, y no hay inconveniente para aumentar su tasa de trabajo al 75 u 80 % del límite de elasticidad, obteniéndose por este sólo motivo una economía de metal con respecto al hormigón armado, que puede exceder de 30 %, a igualdad de seguridad.

6.º—Mientras que en el hormigón armado corriente la sección resistente de los aceros substituye en un momento dado a aquella del hormigón en tracción que desaparece, en las construcciones precomprimidas, la resistencia propia del hormigón a la tracción, incrementada por el endurecimiento bajo compresión permanente, y hecha efectiva por la ausencia de grietas, se suma íntegramente a la resistencia del acero, aumentando así la seguridad de las obras o permitiendo en ciertos casos contar con un pequeño trabajo del hormigón a tracción.

7.o—Al momento de la puesta en precompresión es cuando el acero y el hormigón de las obras de este tipo sufren las mayores solicitaciones, debido a la necesidad de dar una sobretensión que compense el relajamiento posterior. Esto es una garantía de buena calidad que no posee ningún otro sistema de construcción.

Otro factor de seguridad de estas construcciones, es que después de producida la descompresión del hormigón y agotada su resistencia a la tracción, las piezas sobrecargadas acusan deformaciones considerables que advierten la proximidad de las deformaciones permanentes, sin por eso sufrir una alteración definitiva. A este respecto es concluyente la prueba que se hace de los tubos precomprimidos para altas presiones. Cuando la presión llega hasta agrietar el hormigón, el líquido se escurre por las grietas, pero vuelven a quedar perfectamente estancos en cuanto la presión baja a su valor normal.

8.o—Normalmente a la dirección en que se ejerce la precompresión, puede una pieza cualquiera dividirse en elementos prefabricados que una vez montados en sitio y con sus juntas simplemente unidas con mortero, forman un conjunto monolítico. Esta división de la construcción en elementos de dimensiones limitadas puede en ciertos casos ser muy favorable y permite además elaborar el hormigón en condiciones tales que se obtienen resistencias muy elevadas.

9.o—La impermeabilidad a los líquidos y a los gases, obtenida difícilmente con el hormigón corriente, es fácil de realizar con el hormigón precomprimido que trabaja sólo a la compresión.

En resumen: el mejor aprovechamiento de las cualidades resistentes de los materiales básicos, permite obtener en las obras de hormigón precomprimido, con respecto a sus similares de hormigón armado corriente, una enorme economía de acero que normalmente oscila entre el 70 y el 80 %, pudiendo alcanzar en casos especiales hasta el 90 %, y una economía de hormigón del orden del 20 %, con el consiguiente aligeramiento de las estructuras. Por otra parte, las propiedades especiales que confiere la precompresión y en particular la precompresión triaxial, abren a este material un vasto campo de aplicación.

El método más usado para comunicar al hormigón la compresión previa, es por medio del estiramiento de las armaduras y su anclaje en el hormigón, que se hace de dos maneras:

La primera consiste en tender las armaduras antes de concretar, apoyándose en órganos exteriores o en los mismos moldes metálicos; vaciar enseguida el hormigón, acelerar la fragua por medio del calor y una vez endurecido suficientemente, transferir el apoyo exterior de las armaduras al hormigón, el cual mantiene la tensión por simple adherencia, con la correspondiente pérdida por encogimiento instantáneo y diferido del hormigón bajo carga, por contracción de fraguado y por escurrimiento plástico del acero. Para las armaduras se usan alambres de 2 a 3 mm. de

diámetro, que tienen un límite de elasticidad elevado, retorcidos en grupos de 2 ó 3 a fin de aumentar su adherencia. La tensión inicial que se les da, es entre 100 y 120 Kgs/mm².

Este procedimiento tiene el inconveniente de exigir órganos de tensión demasiado potentes cuando se trata de piezas importantes, y hormigones de muy alta calidad a fin de disminuir las pérdidas de tensión. Conviene especialmente para piezas de pequeñas dimensiones hechas en fábrica, tales como: durmientes de ferrocarril, postes, vigas, tubos y elementos de habitación prefabricados.

El segundo método, que se impone en la construcción de obras de cierta importancia, consiste en vaciar y dejar endurecer el hormigón y enseguida tender las armaduras cuya adherencia se ha evitado, apoyándose en el hormigón ya endurecido, por medio de gatas hidráulicas especiales. Un dispositivo de cuña en forma de cono, inventado en 1939 por el Sr. Freyssinet, y accionado por las mismas gatas hidráulicas procura un anclaje definitivo de las armaduras en sus extremos.

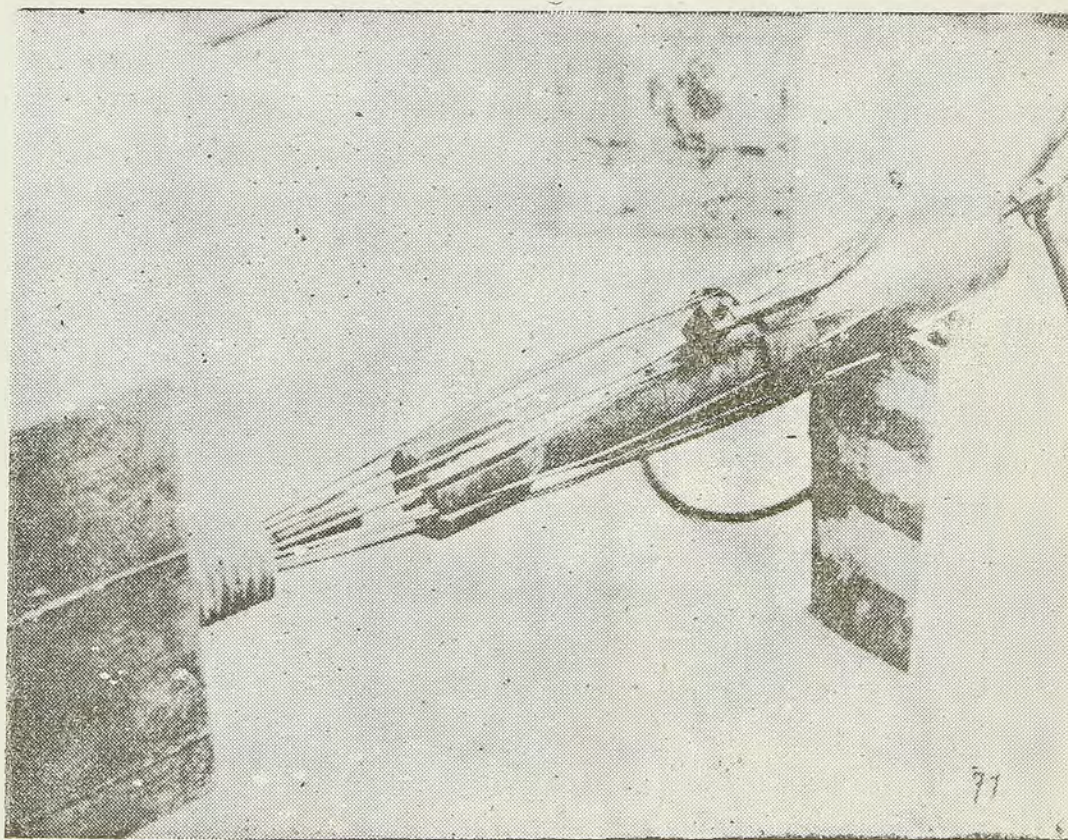


FIG. 1.—Gata que estira los 10 fierros del cable antes de colocarse en su posición definitiva. Se ve el cono de anclaje hembra y al interior de los fierros el cono de anclaje macho.

En este procedimiento se usan aceros de más o menos 5 mm. de diámetro, reunidos en grupos generalmente de a 10, que la gata estira simultáneamente. La adherencia se evita, ya sea envolviendo el cable formado por las 10 barras en papel alquitranado, o bien colocando los cables a posteriori en huecos dejados ex-profeso en el hormigón. La tensión se controla con el manómetro de las gatas y con el alargamiento de los aceros.

Gracias a la plasticidad de los órganos de anclaje que son de hormigón fuertemente zunchado, se obtiene una perfecta igualdad de fatiga en los aceros tendidos simultáneamente. El proceso se termina con una inyección de mezcla a presión, introducida por un agujero del cono de anclaje, a fin de proteger las armaduras y producir una adherencia de seguridad.

Este segundo método de tensión y anclaje de las armaduras, tiene la ventaja de eliminar aquella parte de las pérdidas de tensión debidas a la deformación instantánea del hormigón bajo compresión y a la fracción de la contracción de fraguado adquirida antes de efectuar la precompresión. Además permite dar una cierta curvatura a los cables, siguiendo generalmente una parábola, de manera de producir momentos negativos de precompresión diferentes en las distintas secciones de una pieza, de acuerdo con las sollicitaciones que en ellas se producirán al aplicarse las cargas. Los cables parabólicos, por otra parte, al igual que aquellos que presentan una parte oblicua, participan directamente en la resistencia al esfuerzo de corte.

El cálculo del hormigón precomprimido, es el de un sistema homogéneo y elástico, sometido a compresión excéntrica, en el que el momento flector de las cargas exteriores variables se traduce en una variación de la excentricidad. La determinación de las secciones no ofrece por consiguiente ninguna dificultad. Deberá comprobarse que todas las fatigas quedan dentro de los límites aceptables, tanto en el momento de aplicarse la precompresión como posteriormente al entrar en juego las cargas. En una viga, por ejemplo, se tratará de obtener, al aplicarse la precompresión, una fatiga 0 en la fibra superior, y la máxima fatiga de compresión aceptable en la fibra inferior de la sección más sollicitada; y que al actuar las cargas las fatigas de ambas fibras se inviertan. Gran importancia tiene la determinación más exacta posible de las pérdidas de tensión por los motivos ya expuestos. Ellas son corrientemente del orden de 1.600 Kgs/cm². para las vigas con armaduras tendidas antes de concretar y de más o menos 1.000 Kgs/cm². en las vigas de cables estirados posteriormente, lo que representa un 10 a 15 % de la tensión inicial. En las piezas con armaduras adherentes puede tomarse en cuenta la sección del acero para el cálculo del momento de inercia, no así en el otro tipo de precompresión en que sólo interviene la sección de hormigón.

Mientras en las construcciones ordinarias, la distribución de fatigas es continua, salvo variaciones bruscas de sección; en las construcciones precomprimidas debe estudiarse acuciosamente la acción local de los anclajes y de las curvas de las armaduras. Un principiante deberá consagrar mucho más tiempo al estudio de estos detalles que a la determinación de las secciones.

No entro a analizar mayormente el desarrollo del cálculo, a fin de no dar una extensión excesiva a esta exposición general; por lo tanto, terminará con una breve reseña de algunas de las múltiples aplicaciones que ha tenido en Francia últimamente el hormigón precomprimido.

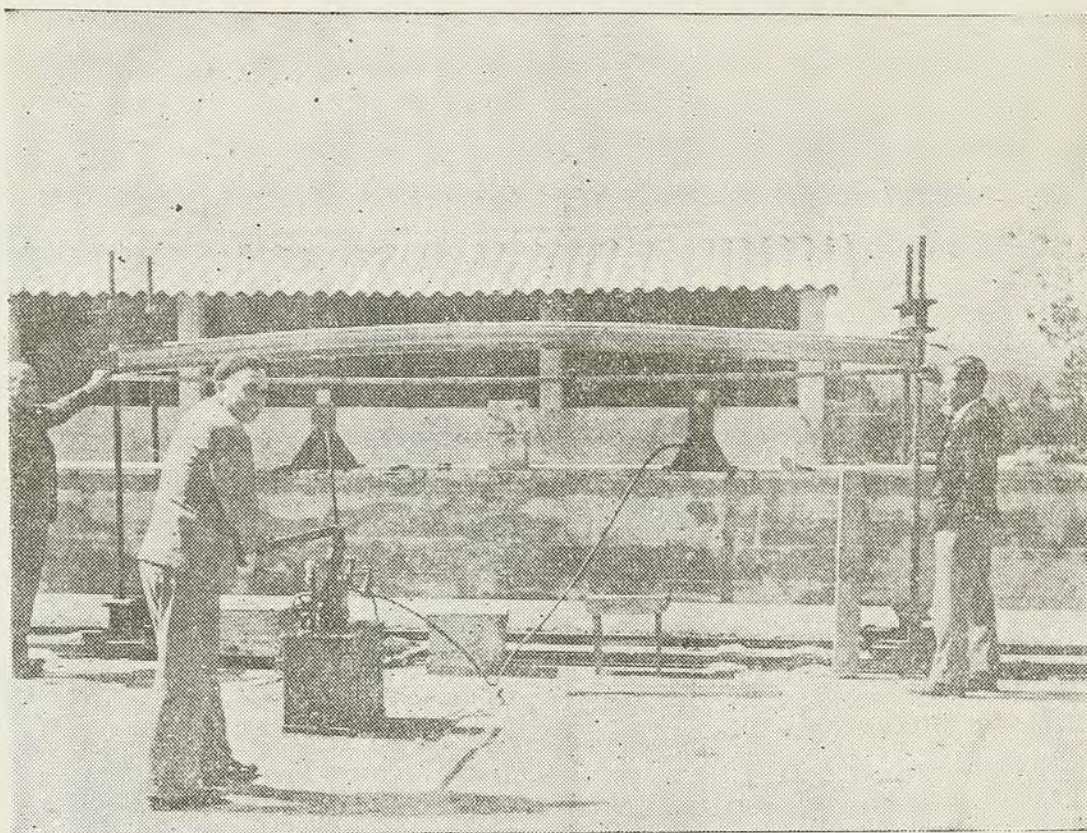


FIG. 2.—Ensayo de un elemento de losa para piso.

1).—Vigas, viguetas y durmientes prefabricados, con armaduras adherentes.

La fábrica de Gennevilliers en los alrededores de París, montada por los alemanes durante la guerra y actualmente explotada por una sociedad francesa, construye en serie vigas para puentes de pequeña luz, viguetas para pisos de habitación y durmientes para líneas férreas.

Las vigas se arman con alambres de acero duro de 2 mm. retorcidos en grupos de a 3 y estirados inicialmente a 126 Kgs/mm². El hormigón, dosificado a razón de 600 kgs. de cemento por m³. se hace trabajar al momento de la precompresión, a las fatigas extremas de $+ 183$ y $- 5,5$ Kgs/cm². Se hacen 3 tipos de vigas, de largos diversos, para resistir momentos flectores de 4, 20 y 40 toneladas-metro respectivamente. El tipo intermedio tiene 64 cm. de altura, pesa 200 Kgs/m. l. y en él se emplean 10,5 Kgs. de acero por m. l. Una viga de hormigón armado de sección rectangular, de igual resistencia, calculada con fatigas de 50 y 1.200 Kgs/cm²., tendría un 50 % más de altura, pesaría 3.1/2 veces más y emplearía casi el doble de acero. A igualdad de altura y con sección T, ella tendría una cantidad de acero 3.1/2 veces mayor.

Las viguetas se concretan de a 2, separadas por un relleno de hormigón liviano ahuecado aislador de sonidos, de manera de formar un elemento de losa para piso, de 15 cm. de espesor y 40 cm. de ancho, calculado para soportar una sobrecarga de 300 Kgs/m². con luces hasta de 5 m. En cada m². entran 27 Kgs. de cemento y 2,2 Kgs. de acero de pro-

cedencia norteamericana. El valor en fábrica, de este piso es de 1.270 francos el m²., lo que equivale a más o menos 250 pesos chilenos.

Los durmientes de ferrocarril, para trocha de 1,50 m. pesan alrededor de 200 Kgs. y contienen cerca de 9 Kgs. de acero.

Otras fábricas hacen elementos de losa para edificios industriales, de 15 cm. de espesor por 33 cm. de ancho con dos amplios huecos cilíndricos en el interior. El m². de piso así constituido, pesa 220 Kgs. contiene 2,7 Kgs. de acero y soporta un momento de flexión de 3.200 m. Kgs. con coeficiente de seguridad 2,8.

Se puede formar una idea de lo que costaría en Chile montar una fábrica de este tipo, sabiendo que en Portugal se construyó una, bajo la

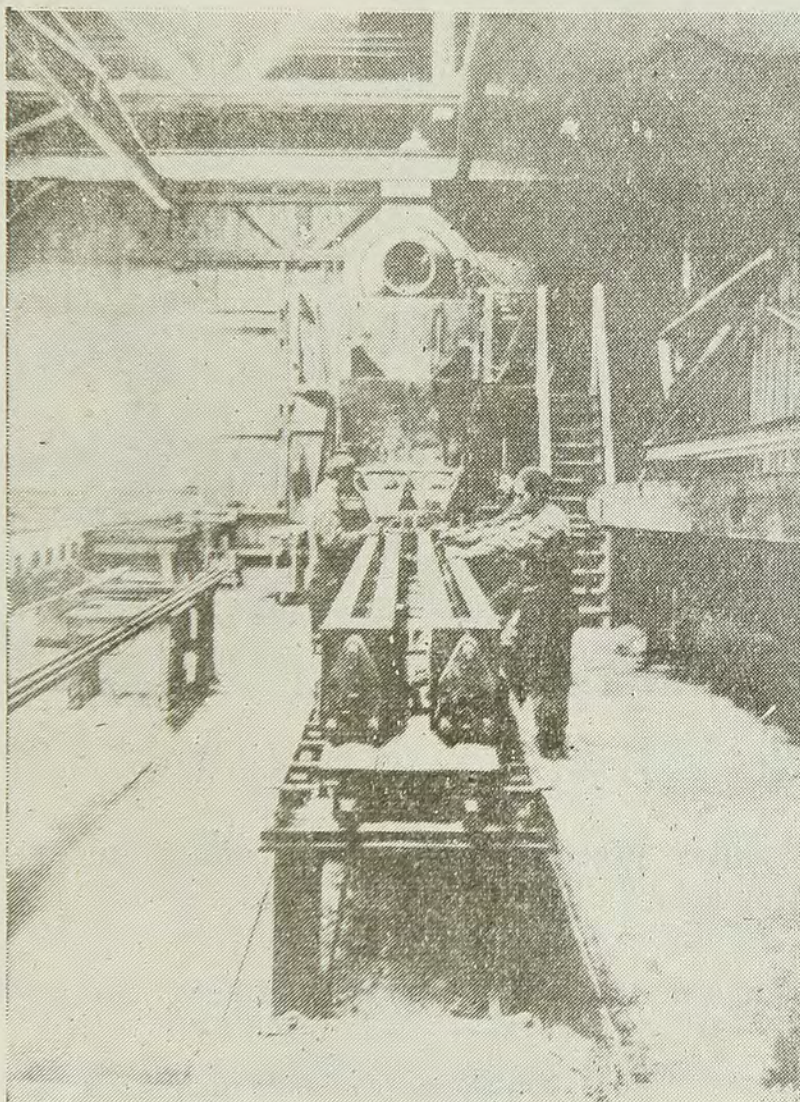


FIG. 3.—Fábrica de viguetas en Orleans. Concretadura de 2 vigas en sus moldes con las armaduras pretendidas.

dirección de técnicos franceses, sólo para la fabricación de elementos de losa para piso y sin la instalación de circulación de vapor para acelerar la fragua, cuyo costo ascendió al equivalente de ocho millones de pesos chilenos.

En la ciudad de Orleans que sufrió bastante destrucción durante la guerra, pude visitar una moderna fábrica de viguetas para distintos usos de la reconstrucción. Ellas soportan un momento útil de 1.100 m. Kg.

con las siguientes características: 25 cm. de altura, 34 Kgs. de hormigón por m. l. y 800 gramos de acero. Los alambres son de sección romboidal, cuyos extremos se retuercen para aumentar la adherencia. Los moldes se cierran a fin de aplicar además de la vibración un esfuerzo de compresión en todo el largo. El fraguado se hace en un ambiente de vapor saturado a 80° en el cual los moldes permanecen 2 horas, adquiriendo el hormigón al cabo de ese tiempo, una consistencia equivalente a la obtenida en 28 días al aire libre. Dosificación: 450 k/m³.

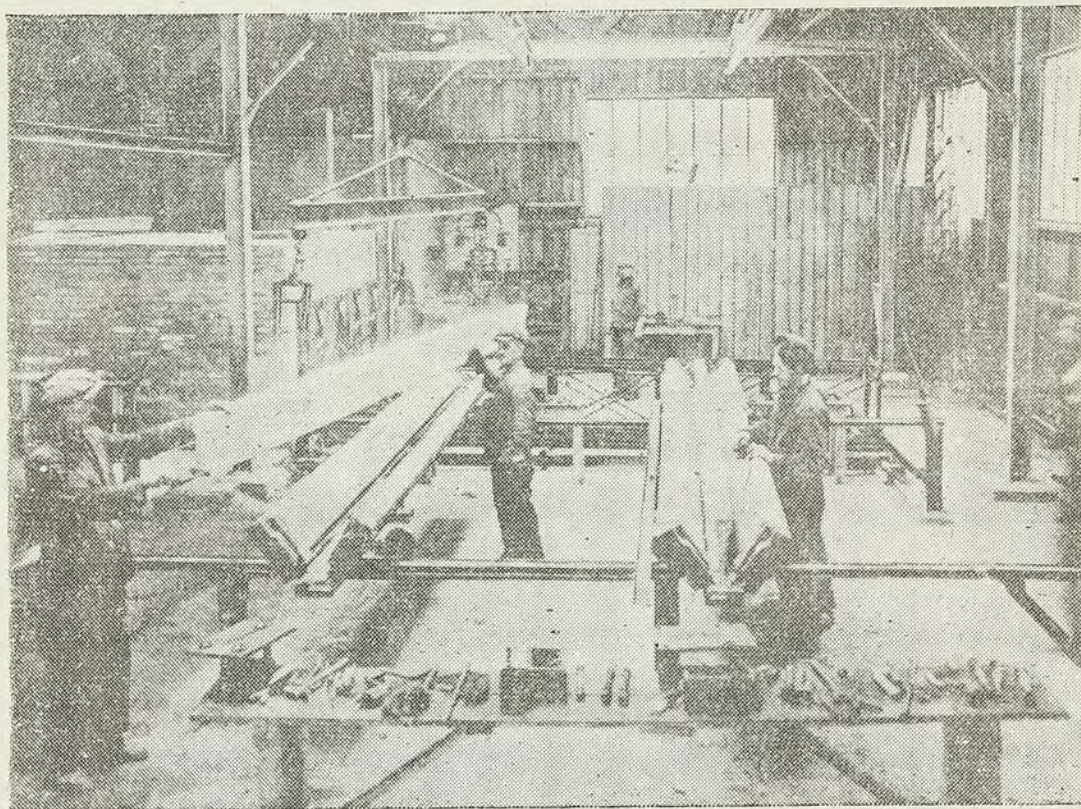


FIG. 4.—Fábrica de Orleans. Desmoldaje de las viguetas.

2).—Puentes precomprimidos por cables tendidos después del fraguado.

Esta es una de las aplicaciones más interesantes del hormigón precomprimido.

Los puentes de luces pequeñas, es decir hasta 25 m., están constituidos por una losa de espesor sensiblemente igual a $1/30$ de la luz. En hormigón armado corriente, esta relación es de $1/10$ a $1/20$. Las armaduras consisten, según la luz y la importancia de los esfuerzos, en una, dos o tres capas de cables rectos y parabólicos, formados cada uno, de 10 ó 12 barras de acero duro de 5 mm. Se da también una precompresión transversal por medio de armaduras rectas semejantes, pero más espaciadas.

Un proyecto de puente-tipo de hormigón armado corriente de 14 m. de luz, elaborado en Francia en 1940 para reemplazar los destruidos por la guerra, consultaba un tablero de 1.06 m. de espesor, un cubo de

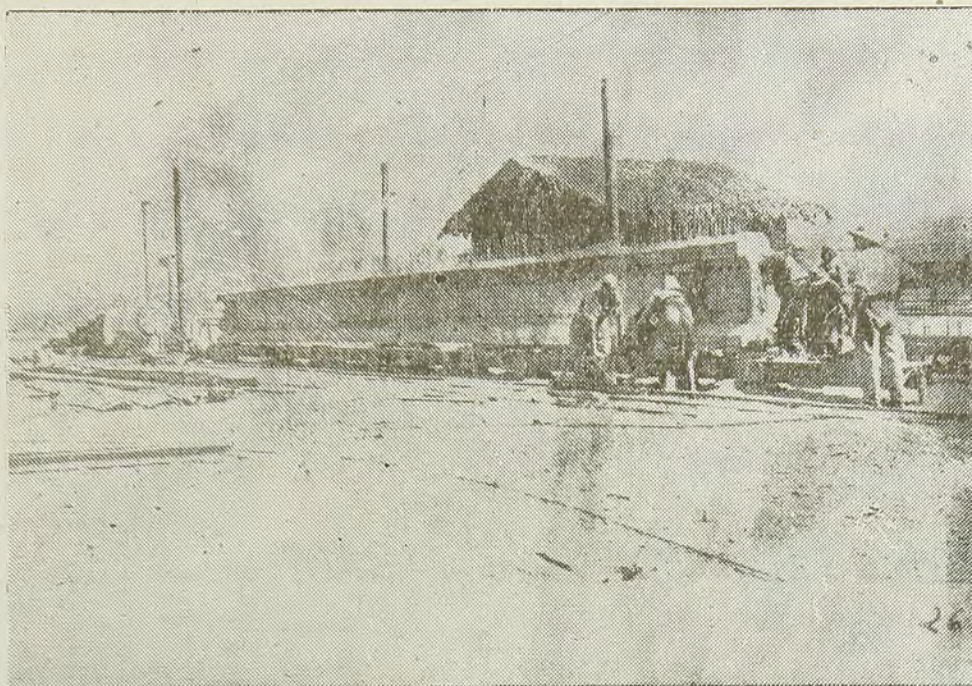


FIG. 5.—Una viga de cables sin adherencia, con estribos en tensión.

hormigón de 64 m³. y 15 toneladas de acero. Un puente-losa de hormigón precomprimido de igual luz, tendría un espesor de tablero de 0,48 m. (menos de la mitad), un cubo de hormigón de 55 m³. (15 % de economía), y 4,5 toneladas de acero (70 % de economía).

Los puentes para luces mayores de 25 m. se ejecutan, ya sea concretándolos en sitio, o bien siguiendo uno de estos dos procedimientos:

a).—Prefabricación de las vigas al lado de la obra, ya que las dificultades de transporte no justificarían su ejecución en fábrica. La precompresión se aplica por medio de cables, algunos días después de la concretadura, en la forma que hemos visto. Las instalaciones en este caso son mínimas ya que se reducen a los órganos de puesta en tensión de los aceros y a los vibradores. Los moldes pueden ser de madera, debiendo sólo resistir a la vibración. Este procedimiento está especialmente indicado cuando se trata de franquear una vía que no se puede interrumpir con andamiajes.

b).—Prefabricación de las vigas por elementos de pequeñas dimensiones que puedan ser colocadas sobre mesas vibrantes, en un taller anexo a la Obra. Estos elementos llevan estribos que se colocan en tensión antes de vaciar el hormigón. Terminada su fabricación, se unen de tope los elementos, rellenando sus juntas con mortero rico, y se transforman en vigas rígidas al aplicarse la tensión a las armaduras principales.

En Francia se ha construido un gran número de puentes de hormigón precomprimido. El record de luz, entre las obras terminadas, lo tiene por el momento el puente de Luzancy sobre el Marne, con 55 metros. Es un puente carretero del tipo que los franceses llaman de viga con muletas, o sea un arco sumamente rebajado en su parte central y quebrado en los riñones. Se compone de 3 vigas tubulares de 1,27 m. de altura en

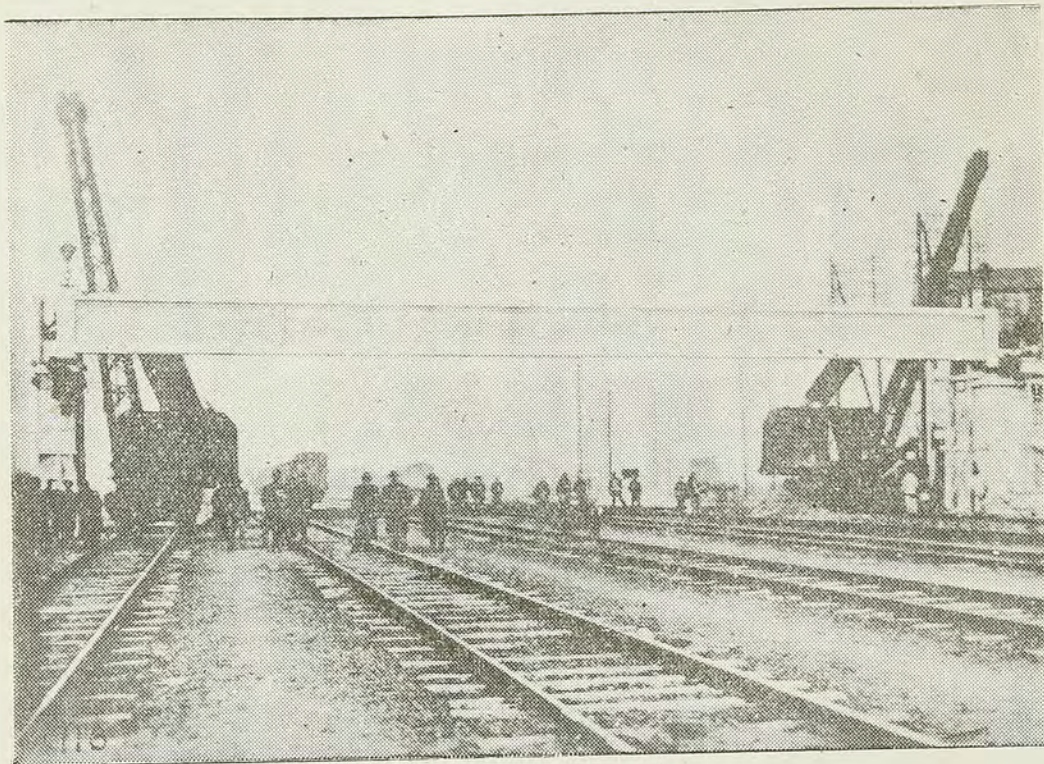


FIG. 6.—Colocación de una viga de cables estirados después de concretada.

la clave y 1,82 en los riñones, constituídas por elementos prefabricados de 5 toneladas c/u., ensamblados sólidamente por medio de la tensión de las armaduras longitudinales que corren por la parte superior e inferior de las vigas y las atraviesan oblicuamente. La prefabricación en taller anexo permitió obtener un hormigón de resistencia superior a 470 kgs/cm². a los 90 días, dosificado a 400 kgs. de cemento por m³. En estas condiciones se adoptó una fatiga de trabajo de 128 kgs/cm²., se ahorró un 90 % de la madera de moldaje y se eliminó todo andamiaje en el río, pues el lanzamiento se hizo por medios mecánicos, dividiendo cada viga en 3 trozos de 90 toneladas de peso máximo. Este nuevo puente de Luzancy necesitó sólo el 70 % del cubo de hormigón del antiguo puente que había en el mismo sitio antes de la guerra, y apenas el 10 % del peso de sus armaduras, a pesar de tener 2 metros más de ancho y de haberse calculado para una sobrecarga 35 % mayor.

Actualmente se construyen 5 puentes sobre el Marne, del mismo tipo del anterior, pero de 76 m. de luz. Para las vigas se adoptó la sección doble T y se eliminó la dobladura brusca de los cables en los extremos, lo que causó dificultades para dar la tensión previa en Luzancy. Tuve ocasión de visitar las instalaciones para la prefabricación de los elementos de las vigas, sitio de tal atracción que hacia él se ha formado una verdadera romería de ingenieros de toda Europa.

Los técnicos franceses del precomprimido, tienen en estudio un puente sobre el Rhin, de luz aún mucho mayor.

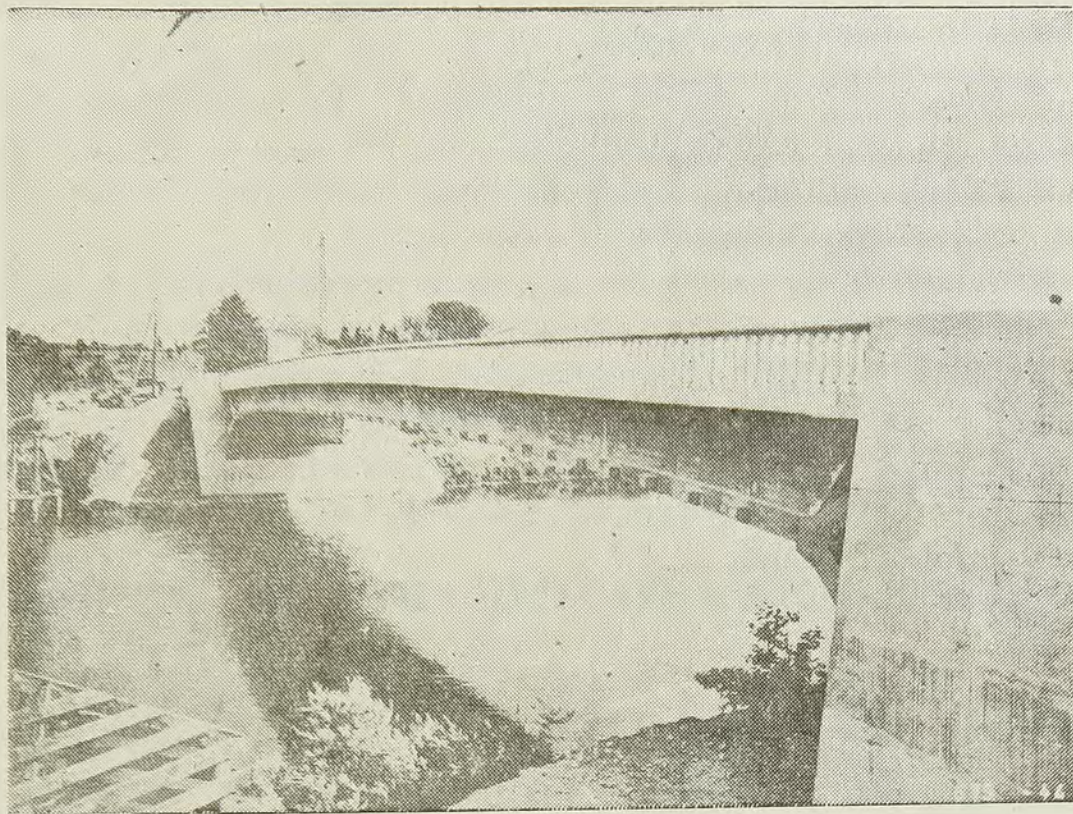


FIG. 7.—Puentes de Luzancy sobre el Marne de 55 m. de luz.

3).—Tubos para altas presiones.

El hecho de que los tubos trabajan a la tracción, hace que en su construcción esté especialmente indicado el empleo del hormigón precomprimido.

La construcción se hace en fábrica, ya sea en dos etapas, partiendo de un tubo primario de hormigón centrifugado y precomprimido longitudinalmente para hacerlo menos frágil, sobre el cual se enrolla la armadura en tensión que se recubre finalmente con una delgada capa de hormigón vibrado, o bien en una sola etapa, por medio de un molde especial que aumenta de diámetro después de vaciado el hormigón con las armaduras en sitio y antes de que se inicie el fraguado. El frotamiento de las armaduras contra la mezcla fresca, oponiéndose al ensanche del molde, produce la tensión previa de éstas. Una variante del primer método, consiste en enrollar la armadura en caliente, adquiriendo su tensión previa por el enfriamiento subsiguiente.

Tubos precomprimidos ensayados a 100 Kgs/cm². de presión se han demostrado perfectamente estancos. Poseen además una enorme elasticidad, con posibilidad de abrirse por un golpe de ariete y volverse a cerrar recuperando su total impermeabilidad. En fin, por su compacidad, son difícilmente atacables por las aguas corrosivas.

Las principales fábricas se encuentran en Argelia y otras se están instalando en Marruecos, para servir las necesidades del agua potable de poblaciones y del regadío, como por ejemplo la que construye los 190 km.

de tubería de aducción de agua potable para Orán, cuyos tubos son de las siguientes características: diámetro interior, 1,10; largo, 7 m.; espesores, de 8 a 12 cm.; presiones, de 3 a 23 atmósferas. El costo de esta moderna fábrica se estima en 1.000.000 de dólares, y los tubos que produce resultan 20 % más baratos que los de fundición y 40 % más baratos que los de acero, a igualdad de capacidad y resistencia.

El campo de aplicación del hormigón precomprimido es ilimitado. No he citado entre las realizaciones efectivas los postes para líneas eléctricas, las pistas de aterrizaje que resultan de la mitad de espesor que las de hormigón armado, las prensas para forjar, las compuertas, etc.; y como éstas, hay mil otras aplicaciones aún no realizadas, para las cuales el hormigón precomprimido dará soluciones de una calidad que sería vano pedir a los sistemas clásicos.

L. L. S.