

# HORMIGON PRECOMPRIMIDO

511

Por el Ingo. *Luis Guillermo Correa F.*

Los primeros experimentos de importancia en métodos de pre-esforzar el concreto empezaron en Francia y Alemania durante las dos últimas décadas del siglo diez y nueve principalmente en lo relacionado con vigas.

Los siguientes ingenieros fueron los primeros investigadores en este campo: P. H. Jackson en los E. U. (1886), C. E. W. Doehring en Alemania (1888), J. G. F. Lund en Noruega (1907), Koenen en Alemania (1907), C. R. Steiner en los E. U. (1908).

Por muchos años, sin embargo, los resultados fueron altamente insatisfactorios, ya que el tensionamiento en el acero se perdía por el encogimiento y el flujo plástico en el concreto. El desenvolvimiento moderno del hormigón precomprimido, se debe en gran parte a E. Freyssinet de Francia (1928), quien empezó a usar acero de gran resistencia a la tensión (resistencia última hasta de 250.000 lbs/pulg<sup>2</sup>), lo mismo que concreto de gran resistencia a la compresión (hasta 14.000 lbs/pulg<sup>2</sup>). Con estos nuevos materiales fue posible usar altos valores en el tensionamiento del acero, de tal manera que el encogimiento y el flujo plástico eliminan únicamente un pequeño porcentaje de el pre-esforzamiento total.

Ewald Hoyer de Alemania (1939) fue el primero que hizo uso práctico de los anclajes terminales en vigas. En 1940, el profesor Magnel de Bélgica desarrolló su sistema.

Pero no fue hasta fines de la Segunda Guerra Mundial, que el hormigón precomprimido empezó a adquirir la tremenda importancia que hoy día tiene en el mundo entero. En el libro del profesor T. Y. Lin se pueden obtener datos estadísticos que nos muestran el enorme valor de este material de construcción. Por ejemplo, una encuesta hecha en Alemania, mostró que de 500 puentes de hormigón construídos durante los años de 1949 a 1953, 350 fueron en hormigón precomprimido y únicamente 150 en concreto reforzado.

En los E. U., aunque su desarrollo práctico fue posterior al europeo, ya que las primeras obras de importancia en pre-esforzamiento lineal empezaron en el año de 1951, ha alcanzado un impresionante desarrollo en estos últimos años, tanto en el volumen de construcción como en la técnica usada. Vemos así cómo en el año de 1953, en el solo estado de Pensylvania fueron construídos 75 puentes en hormigón precomprimido.

En la América Latina, su desarrollo ha sido también de importancia, principalmente en Cuba, Venezuela, Argentina y Brasil.

El acto de pre-esforzar puede describirse como la introducción de esfuerzos opuestos en sentido a aquellos que el miembro estructural soportará

durante su uso. El medio más común de introducir esas fuerzas, consiste en tensionar el acero, el que a su vez comprimirá el concreto al tratar de volver a su posición original.

Hay dos tipos básicos de pre-esforzamiento: pre-tensionamiento y post-tensionamiento. Los prefijos "pre" y "post" indican el tiempo al cual se tensiona el acero con relación al vaciado de concreto. Pretensionamiento indica que el acero es tensionado entre dos puntos fijos y luego el concreto es vaciado. Cuando se obtiene la resistencia deseada en el concreto entonces, el alambre o cable de acero se corta y el esfuerzo en el acero se soporta por adherencia entre el concreto y el acero. Este tipo de pre-esforzamiento es particularmente ventajoso en producciones en línea, tales como vigas, dinteles, viguetas, postes, traviesas, etc.

Post-tensionamiento, por otra parte, indica que el tensionamiento se hace después de que el concreto ha sido vaciado y ha alcanzado la resistencia requerida. El acero se tensa utilizando el miembro de concreto como reacción y soporte para el equipo tensor. Para vaciar el concreto debe destruirse la adherencia entre éste y el acero lo que se realiza por dos medios diferentes: a) el acero se coloca en las formaletas con una capa de grasa, ó b) se pone en un ducto formado en el miembro de concreto (estos ductos pueden ser mangueras o tubos de metal que permanecen en el concreto). Cuando se engrasa el acero se pierde totalmente la adherencia; si se utiliza el 2º método, el ducto se puede llenar con una lechada de cal después del pre-esforzamiento, lo que evita la corrosión y provee adherencia la cual aumenta la resistencia. Pruebas experimentales han demostrado que la resistencia de un miembro en el cual existe adherencia entre el acero y el concreto es mayor que la de un miembro similar sin adherencia.

Los materiales que se usan en hormigón precomprimido son acero y concreto como para el hormigón reforzado. El acero se utiliza en forma de alambre, cable o barras. Los alambres y cables tienen generalmente una resistencia última mayor de las 240.000 lbs/pulg<sup>2</sup>, y se tensionan hasta unas 170.000 lbs/pulg<sup>2</sup>. La composición química de los alambres es aproximadamente la siguiente: carbón 0.60 - 0.85%; manganeso 0.70 - 1.00%; fósforo 0.050% como máximo; sulfuro hasta 0.055%.

Las barras tienen generalmente una resistencia última hasta unas 150.000 lbs/pulg<sup>2</sup> y composición química aproximada de: carbón 0.6%; silicón 2.0-2.5%; manganeso 0.7-1.0%; fósforo 0.2% y sulfuro 0.2%.

En los sistemas de post-tensionamiento, se han desarrollado y patentado varios dispositivos especiales usados como anclajes terminales, los cuales mantienen el acero en tensión. Dos ideas fundamentales se han seguido en el diseño de los anclajes terminales: 1) *medios mecánicos* de soporte, tales como tuercas que se enroscan en barras sistema usado por la Lee-McCall (inglesa) o la Roebling (E. U.). También se usan cabezotes sostenidos por platinas, tales como el sistema B. B. R. V. (suizo) y el doble cabezote usado

por la P. I. (E. U.). 2) *Por fricción*, método usado por la Freyssinet (Francia), Magnel (Bélgica), Preload (E. U.) y Morandi (Italia).

Además de estos dos grupos principales, se han ingeniado otros métodos de pre-compresión, tales como expansión del cemento, por la Lossier (Francia); pre-esforzamiento eléctrico, por la Billner (E. U.), y algunos otros sistemas.

El concreto para pre-esforzamiento tienen una resistencia de 4.000 a 7.500 lbs/pulg<sup>2</sup> a los 28 días. El contenido de agua es bajo y el concreto es generalmente de bajo "slump". El "slump" que se usa no excede por lo común las 4 pulgadas y en muchos casos se usa concreto de "no slump". Inclusive, una nueva designación de slump se está utilizando con frecuencia en los Estados Unidos y es la llamada "2 negativo", la cual significa que el concreto es tan seco que el agua que produzca 2 pulgadas de slump debería agregarse para producir concreto de "no slump". Usando concreto seco o de bajo "slump", se alcanzan resistencias más altas más rápidamente y con un mínimo de encogimiento y flujo plástico; además, se obtiene un módulo de Young más alto, resultando por consiguiente un material de mejores propiedades.

Es natural que para evitar la aparición de vacíos y "hormigueros" en el concreto, se debe tener gran cuidado en el vaciado. Deberá efectuarse vibración tanto interna como sobre la formaleta. Generalmente se usan vibradores de gran velocidad y muy pequeño diámetro, pues lo contrario causaría segregación de los materiales.

Es claro que concretos de altas resistencias requieren mayor cuidado en la clasificación y gradación de los materiales. Además, debido a las secciones muy delgadas que se obtienen en los diseños de hormigón pre-comprimido, el máximo tamaño de los agregados es generalmente de  $\frac{3}{4}$  de pulgada.

Después de esta pequeña introducción en el hormigón pre-comprimido, nos proponemos tratar en próximos artículos asuntos más a fondo, tales como pérdidas en el tensionamiento; diferentes problemas de diseño en vigas simples, continuas, pórticos, losas, etc.; lo mismo que lo relacionado con la economía y demás ventajas de este importante material de construcción, cada vez más usado en el campo de la ingeniería.

## BIBLIOGRAFIA

- Frederick E. Koebel. "Stress losses in Prestressed Concrete".  
Frederick E. Koebel. "Prestressed Concrete".  
Guyon. "Prestressed Concrete".  
T. Y. Lin. "Design of Prestressed Concrete Structures".  
J. M. Crom. "Design of Prestressed Tanks". A. S. C. E. Proceedings, Vol. 76.  
Dr. M. Ritter, P. Lardy. "Le Béton Précontraint".  
M. W. Huggens. "Steel for Prestressed Concrete".  
P. I. "Method".