

Fig. 978.

A pie de obra, un operario debe vigilar los puntos siguientes:

- 1) El encofrado, para ver si tiene estabilidad y si las juntas cierran bien.
- 2) La altura que separa la armadura de la superficie del hormigón.
- 3) La distancia entre las armaduras y el encofrado.
- 4) El diámetro de las armaduras.
- 5) La distancia entre las armaduras.
- 6) La distancia mínima entre armaduras, que debe ser cuando menos igual al diámetro máximo del árido.
- 7) La longitud de los recubrimientos de las armaduras (la distancia entre las dos partes del empalme debe ser igual a la distancia mínima entre armaduras ⑥ para permitir la transmisión de los esfuerzos).

24.1. EL HORMIGÓN PRETENSADO

En una pieza cualquiera en estado de flexión, se produce un efecto de compresión sobre ciertas fibras en tanto que otras se tensan.

En el hormigón armado la tracción queda absorbida por las armaduras.

El principio en que se basa el pretensado puede definirse sencillamente como sigue:

Imagínese una pieza recta, comprimida por dos fuerzas exteriores; la presión ejercida sobre los extremos comprime cada sección de la pieza a ella sometida.

Si dicha pieza se halla entonces sometida a una flexión, ciertas fibras se comprimirán y otras se tensarán; este nuevo esfuerzo se combinará con el esfuerzo existente de compresión.

Resultará que ciertas fibras quedarán "supercomprimidas" mientras que otras quedarán aliviadas del esfuerzo primitivamente aplicado.

No existiendo ya esfuerzos de tracción en la obra, si ésta es de hormigón, no será necesario colocar en ella ninguna armadura siempre que se mantenga la fuerza de compresión.

La aplicación de la citada compresión con anterioridad a la aplicación de las cargas ha suscitado la denominación de hormigón "pretensado" o "precomprimido".

Prácticamente, en el hormigón pretensado, el esfuerzo de compresión se ejerce por medio de un elemento (cable, tensor o armadura) situado dentro de la pieza

La compresión de la pieza puede obtenerse por dos métodos distintos:

- a) previa puesta en tensión de una armadura;
- b) puesta en tensión de un cable alojado en una vaina reservada dentro del hormigón.

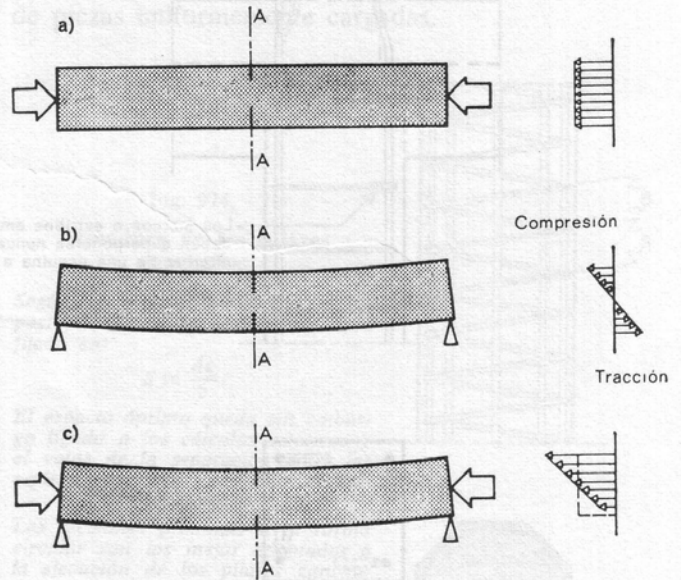


Fig. 979.

a) Si ejerce un esfuerzo de compresión en las extremidades de una pieza, una sección cualquiera AA de dicha pieza sólo recibe esfuerzos de compresión.

b) Cuando una pieza se flexa, parte de su sección recta AA queda comprimida y la parte restante tensada.

c) Si se combinan los efectos provocados por la compresión (primitivamente aplicada) con los efectos debidos a la flexión, se comprueba que los esfuerzos de compresión se suman, mientras que la tracción de las fibras precomprimidas conduce a una reducción de los esfuerzos. El hormigón pretensado es el resultado de la aplicación de este principio. El hormigón que soporta fácilmente los esfuerzos de compresión podrá, pues, sin necesidad de armadura, resistir a la flexión en tanto que se manifiesten las fuerzas exteriores de compresión. Para engendrar la citada compresión puede comprimirse el hormigón por medio de gatos o crics apoyados sobre los estribos de los extremos o bien disponer de un cable que, una vez tensado, tratará de recuperar su forma primitiva y, por eso mismo, comprimirá el hormigón.

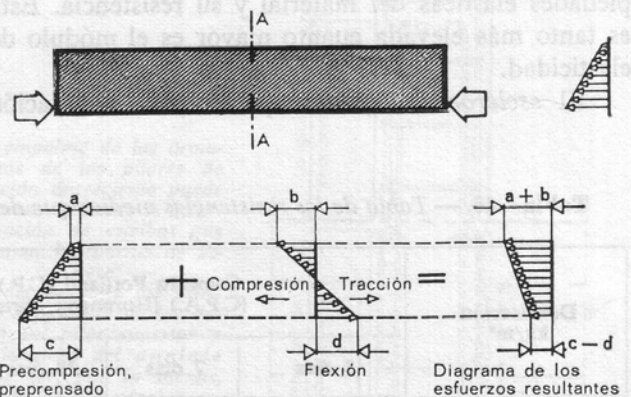


Fig. 980.

Si el esfuerzo de precompresión está descentrado sobre la pieza, resulta que las tensiones de compresión no quedan ya repartidas por igual en la superficie AA. Este efecto es favorable porque, al combinar este esfuerzo con el diagrama de flexión, se tiende a igualar las sollicitaciones por compresión

24.2. TENSADO PREVIO DE UNA ARMADURA

Este método se emplea en obras de escasas dimensiones realizadas en el taller.

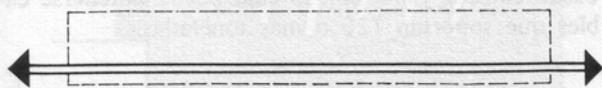


Fig. 981.

Puesta en tensión de la armadura

Por medio de gatos o crics se crea una fuerte tensión en el acero, lo cual provoca su alargamiento. Según el resultado que se quiera obtener, se emplean aceros de adherencia normal o de adherencia elevada.

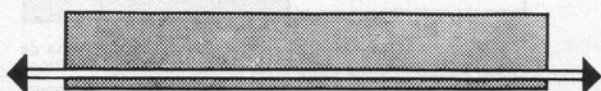


Fig. 982.

Hormigonado del elemento

Mientras las armaduras se mantienen tirantes, se las cubre y envuelve con una masa de hormigón de buena calidad, con lo cual se da la forma que debe tener el elemento.



Fig. 983.

Supresión de los esfuerzos de tracción ejercidos primitivamente sobre la armadura

La supresión de la tracción, cuando el hormigón ha alcanzado su resistencia normal a la compresión, deja al acero la posibilidad de recuperar su longitud inicial. A este movimiento relativo se opone el hormigón adherido a la armadura. Ésta, al encogerse, arrastra al hormigón y por lo tanto lo comprime.

En este sistema, la sucesión de las operaciones es la siguiente:

1. Puesta en tensión de una armadura.
2. Hormigonado de la obra, según las características deseadas y procurando que las armaduras queden bien recubiertas.
3. Fraguado y endurecimiento del hormigón con obtención de la adherencia suficiente (para activar la operación se practica a veces un tratamiento del hormigón por el vapor a 85 ó 90° C).
4. Supresión de los crics que ejercen el esfuerzo de tracción de la armadura.

Por adherencia, las armaduras, que tienden a recuperar su longitud primitiva comprimen fuertemente el hormigón.

Numerosos sistemas de pisos prefabricados utilizan este medio para realizar las nervaduras portantes.

24.3. TENSADO DE UN CABLE ALOJADO EN UNA VAINA RESERVADA DENTRO DEL HORMIGÓN

Este método, de uso en obras de gran longitud y de importante sección, ha sido objeto de gran número de patentes.

En principio, la sucesión de las operaciones es la siguiente:

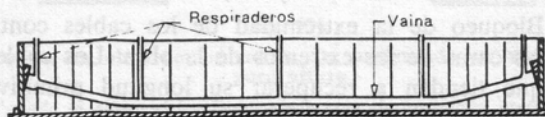


Fig. 984.

Primera fase de la ejecución

Puesta en obra de la vaina para los cables en el encofrado de la obra. Esas vainas se colocan sobre estribos o marcos que las mantienen en su posición exacta (véase figuras 952 a 954). Una armadura tradicional asegura la homogeneidad del perfil.

Hormigonado de la obra por medio de un hormigón en el que $\sigma_{res} \cong 450 \text{ kg/cm}^2$



Fig. 985.

Segunda fase (El hormigonado)

Debe hacerse cuidadosamente para obtener un hormigón excelente.

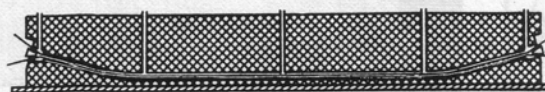


Fig. 986.

Tercera fase

Colocación de los cables o de los alambres en el interior de las vainas (los aceros empleados alargamientos poco importantes y una resistencia a la tracción que puede llegar a ser de 16 t por cm^2).

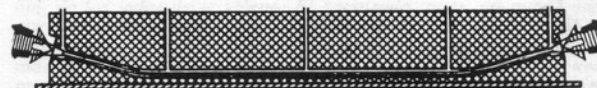


Fig. 987.

Cuarta fase

Después del desencofrado de las caras laterales viene el tensado de los cables. Esta operación se hace mediante crics o gatos que se apoyan en las caras de la obra (estirado y bloqueo). En las obras de pequeñas dimensiones la tracción sólo se efectúa por uno de los extremos; el otro está anclado.



Fig. 988.

Quinta fase

Inyección de una lechada de cemento. Éstas, de alta resistencia y de una fluidez suficiente para recubrir cada uno de los hilos sin provocar retracción sensible, tienen una composición con un factor cemento: agua:

$$\frac{C}{E} \cong 2,5.$$

Esta inyección asegura la protección de los aceros contra la oxidación y una trabazón perfecta entre los diferentes alambres tensores.

1. Realización del encofrado y colocación de las vainas adaptadas a la forma de las trayectorias de los cables interiores de la obra. (La puesta en obra de una armadura corriente está destinada a homogeneizar el conjunto.)
2. Hormigonado de la obra.
3. Después del fraguado y del endurecimiento, introducción de los cables en las vainas y aplicación de las tracciones prefijadas, en dos o tres fases.
4. Bloqueo de la extremidad de los cables contra las caras de los extremos de la obra. Los cables, que tienden a recuperar su longitud primitiva, comprimen entonces la pieza.

Los principales sistemas que siguen este método son:

El sistema Freyssinet, en el cual los cables están formados por alambres de acero de 5 a 7 mm de diámetro, dispuestos en número de 8 a 18 en la vaina reservada. La tracción se practica en cada extremo por medio de gatos hidráulicos que se apoyan sobre las caras de la pieza de hormigón. Un sistema de cilindros zunchados, por un juego de embudos y conos, transmite las compresiones al hormigón. (Este sistema emplea también cables de cordones torcidos.)

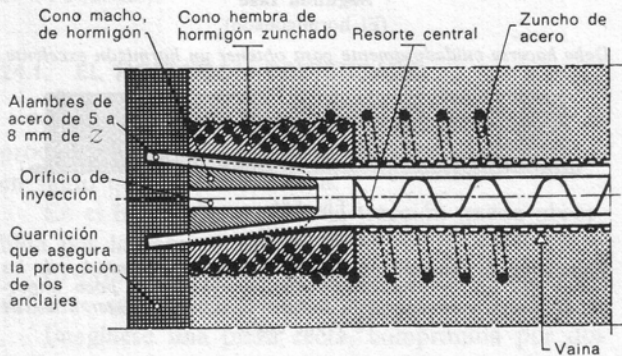


Fig. 989.

Anclaje móvil o fijo de sistema "Freyssinet"

En este sistema, el cable lleva 8, 10, 12 ó 18 alambres de acero cuyo diámetro es de 5, 7 u 8 mm. Dispuestos dentro de una vaina, estos alambres se mantienen junto a las paredes por medio de un resorte que va en la parte central.

Los anclajes están constituidos por un cono hembra de hormigón fuertemente zunchado y por un cono macho, también de hormigón, que lleva un orificio o conducto de inyección en su centro. Un gato hidráulico permite bloquear los hilos que componen el cable sujetándolos mediante la interpenetración de los conos.

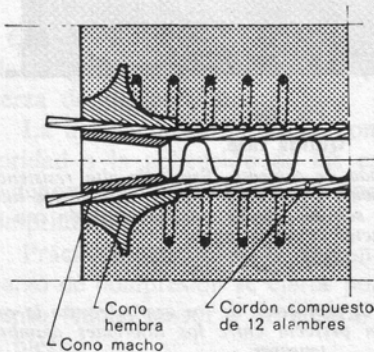


Fig. 990.

Anclaje de los cables de cordones

El sistema BBRV en el cual los cables se sirven a pie de obra cortados a su longitud exacta y dentro de vainas de fleje de acero. Los extremos de los cables llevan unos manguitos en cuyo interior los ramales de cable están forjados en frío. El diámetro de los alambres empleados varía de 5 a 8 mm y su número oscila entre 8 y 44, con lo cual puede obtenerse cables que soportan 120 o más toneladas.

Fig. 991.
Anclaje de los cables de un solo alambre

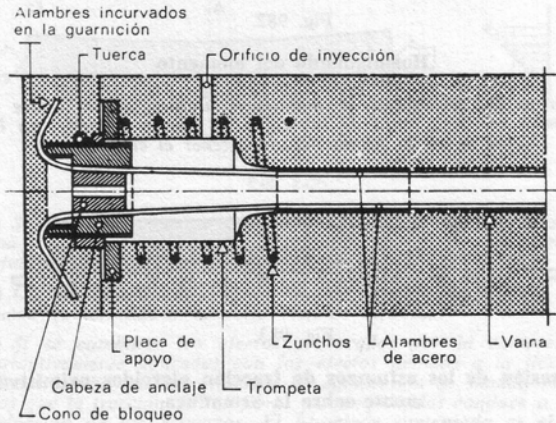
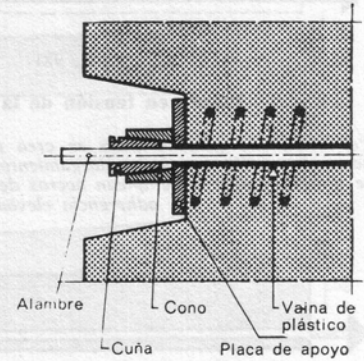


Fig. 992.

Anclaje móvil del tipo V.S.L.

El sistema V.S.L. comprende cables en que la tracción soportada varía de 30 a 170 Tm. El primer tensado, del 30 al 40% del valor final, se completa al cabo de 3 a 7 días.

Hormigones para el pretensado

Es muy importante que los hormigones empleados en la operación del pretensado tengan poca retracción y sean escasamente sensibles a la fluencia.

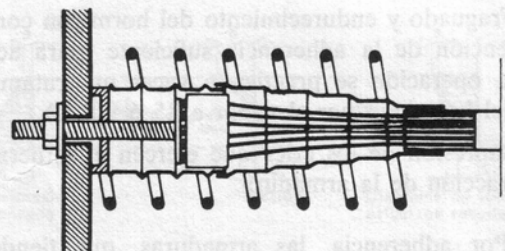


Fig. 993.

Primera fase de la ejecución

Fijación provisional del cable al encofrado por medio de un perno.

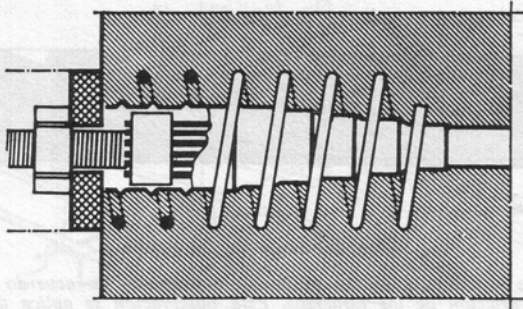


Fig. 994.

Segunda fase de la ejecución

Sustitución del perno de fijación por un eje roscado para la puesta en tensión del cable por medio de un gato hidráulico. Una placa de apoyo bajo este aparato ejerce una compresión del hormigón en tanto el cable está en tensión.

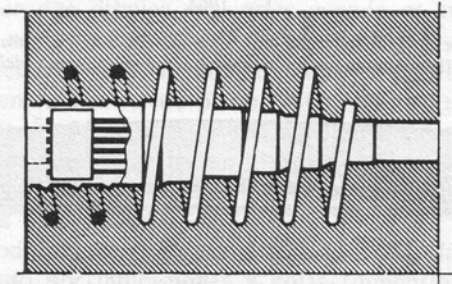


Fig. 995.

Tercera fase de la ejecución

Por el eje hueco empleado para el tensado se procede a la inyección de lechada de cemento que fija definitivamente la cabeza de anclaje en la trompeta consolidada por los zunchos exteriores. Para los cables de fuerte tracción, el empernado se hace sobre la cabeza de anclaje de los cables. Se suprime la tuerca de tensado provisional y la barra roscada.

La persecución de dichas cualidades conduce asimismo a la mejora de las resistencias mecánicas. Los principales factores que hay que tener en cuenta para obtener las cualidades finales exigidas pueden resumirse en los siguientes puntos:

- reducción de la cantidad de agua de amasado;
- empleo de áridos limpios, cuya curva granulométrica, bien estudiada, no debe contener en principio polvo alguno cuyo tamaño sea inferior a 0,1 mm;
- adopción de una dosificación y de un cemento de tal calidad que tiendan a limitar la retracción y la fluencia;
- control de la homogeneidad de la mezcla, de la forma de ponerla en obra y de su asentado, factores todos ellos que influyen en la constancia de las resistencias.

Los aceros empleados en la confección de los cables son aceros estirados en frío que ofrecen resistencias a la rotura de 14 a 16 t/cm². Las tracciones de utilización son del orden de 9 a 12 t/cm². La pérdida de tensión consecutiva a la relajación de los aceros viene a ser del 10 % de la tensión inicial.

Los esfuerzos de tracción son engendrados por crics hidráulicos.

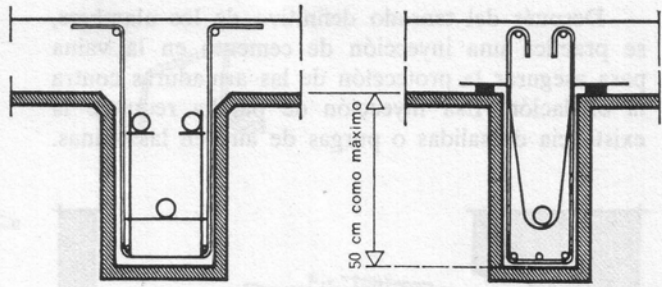


Fig. 996.

Puesta en obra de los cables del pretensado en vigas de poca altura

Cuando la altura del saliente de la viga de hormigón pretensado es a lo más de 50 cm, la puesta en obra de los cables de pretensado puede hacerse desde la plataforma del encofrado. Esta colocación no se hace hasta después de terminada la construcción del encofrado.

La posición de los cables en la obra se fija por medio de marcos o estribos de acero soldado sobre los que se disponen unos alojamientos.

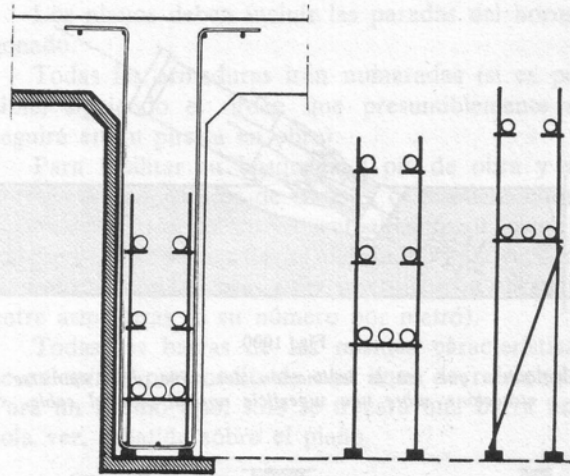


Fig. 997.

Puesta en obra de los cables del pretensado en las vigas de gran altura

Cuando la altura de la viga es superior a 50 cm, conviene tener presente que la puesta en obra de los cables debe hacerse por uno de los lados de la jácena. El encofrado, pues, no puede darse por terminado antes de la introducción de los cables (o de sus vainas). Los soportes de acero permiten que los cables se acomoden a la forma resultante de los cálculos. Cada cable debe, pues, ser dibujado, acotado y, luego, preparado y soldado. Unos calzos de hormigón evitarán el contacto del marco con el encofrado.

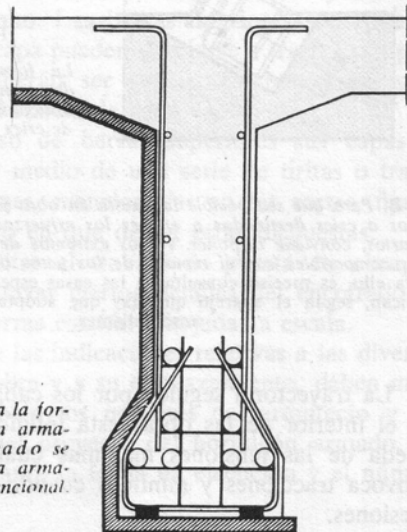


Fig. 998.

Cualquiera que sea la forma de la viga, la armadura de pretensado se completa con una armadura de tipo convencional.

