

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

TESINA FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN EDIFICACIÓN 2009-2010

Autor: FRANCISCO ORTS BORRÁS

Director académico: FERNANDO FARGUETA CERDÁ



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



Escuela Técnica Superior
de Ingeniería de Edificación

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

ÍNDICE

0. ORIGEN DEL PROYECTO

1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2. ALCANCE DEL PROYECTO

3. GENERALIDADES DEL HORMIGÓN POSTESADO

3.1. Introducción

3.2. Antecedentes

3.3. Conceptos básicos

3.3.1 Ejemplo comparativo: Armado vs Pretensado

3.3.2 Variedades de hormigón pretensado

3.4. Limitación del hormigón armado e interés por el postesado en losas de edificación.

3.4.1 Losas macizas. Hormigón armado

3.4.2 Interés por la losa postesada

3.5. Situación actual en el mercado

3.6. Ejemplo de aplicación en edificios

4. FUNDAMENTOS DEL SISTEMA POSTESADO EN ELEMENTOS DE EDIFICACIÓN. TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES

4.1 Tipologías estructurales.

4.1.1 Tipología según la disposición de la armadura activa y el sistema de transmisión de cargas.

4.1.2 Tipología según la forma de la losa.

4.2 Elementos del postesado. Características de los materiales.

4.2.1 Armadura activa

4.2.2 Armadura pasiva

4.2.3 Anclajes activos

4.2.4 Anclaje pasivo

4.2.5 Vainas

4.2.6 Otros accesorios

4.2.7 Hormigón

4.2.8 Inyección

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

4.3 Criterios de proyecto. Criterios generales de dimensionamiento.

4.4 Condiciones adicionales de diseño. Protección y fisuración.

4.4.1 Protección frente al fuego: Recubrimientos.

4.4.2 Fisuración

4.5 Productos comerciales

4.5.1 Freyssinet

4.5.2 Diwidag-systems International

4.5.3 Mekano 4 "MK4"

4.5.4 BBR-PTE

4.5.5 CTT Stronghold (VSL, en España)

5. PROCESO CONSTRUCTIVO DE EJECUCIÓN DE LOSAS POSTESADAS EN EDIFICIO DE VIVIENDAS EN VALENCIA

5.1 Descripción del edificio

5.2. Losas postesadas

5.2.1 Aspectos principales del proyecto

5.2.2 Proceso constructivo de ejecución de losas postesadas

5.2.2.1.- Montaje del encofrado

5.2.2.2.- Replanteo de los tendones.

5.2.2.3.- Montaje de la armadura pasiva inferior y refuerzo a punzonamiento

5.2.2.4.- Colocación de las vainas y anclajes activos

5.2.2.5.- Enfilado de tendones y colocación de anclajes activos/pasivos

5.2.2.6.- Montaje de la armadura pasiva superior, colocación tubos de purga

5.2.2.7.- Hormigonado

5.2.2.8.- Tesado

5.2.2.9.- Inyección de la lechada

6. ASPECTOS ECONÓMICOS. CONCLUSIONES**7. BIBLIOGRAFÍA****8. ANEJOS**

8.1 PLANOS

8.1.1. Ejemplo plano distribución armadura activa

8.1.2. Ejemplo plano armadura pasiva inferior

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

8.1.3. Ejemplo plano armadura pasiva superior

8.1.4. Ejemplo plano alzados armadura activa

8.1.5. Ejemplo plano refuerzo a punzonamiento 01

8.1.6. Ejemplo plano refuerzo a punzonamiento 02

8.2 Recepción de ejecución de las losas

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**0. ORIGEN DEL PROYECTO**

Esta tesina está motivada por el interés en acercar la técnica constructiva del postesado en edificación mediante una **recopilación y síntesis de información** que abordan esta modalidad de ejecución de estructuras en hormigón.

Una motivación añadida para la redacción de este trabajo ha sido el haber formado parte de un equipo que ejecutó la obra de un edificio con forjados resueltos con losa postesada. Así, este edificio es objeto de análisis en el apartado correspondiente.

De esta manera con la **combinación de un análisis teórico y la experiencia en un proyecto real** se pretende conseguir una perspectiva amplia al respecto de esta técnica.

1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Se pretende **informar objetivamente de las ventajas de carácter funcional y económico** de elementos constructivos que se ejecuten con hormigón postesado. Valorando el sistema postesado en comparativa con sistemas más convencionales y estudiando su implantación en función de sus tipologías estructurales y cálculos.

Asimismo, mediante un ejemplo real, ofrecer detalles del proceso constructivo que marquen pautas para una correcta ejecución de elementos con esta técnica.

Entendiendo con ello que el **interés formativo** de este proyecto consiste en informar sobre sistemas constructivos novedosos. Y con ello los **beneficios para el alumno** sean los de ampliar conocimientos para una posible utilidad profesional y para la sociedad **fomentar la innovación** en el sector de la construcción.

2. ALCANCE DEL PROYECTO

Mediante **criterios básicos de ingeniería** se intenta desarrollar la evaluación de la técnica del hormigón postesado para edificación.

Por ello **no se pretende un profundo análisis estructural** de los elementos de hormigón postesado, únicamente conocer el sistema mediante un modo sencillo y lo más exacto posible. Si bien, se intenta evaluar minuciosamente todos los condicionantes que pueden ser determinantes para la solución constructiva concreta.

Con **documentos y manuales técnicos, textos normativos y catálogos comerciales** se pretende detallar minuciosamente la solución postesada en elementos de hormigón para edificación.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**3. Generalidades del hormigón postesado.****3.1. Introducción**

Se denomina **hormigón postensado o postesado** a aquel hormigón al que se somete, después del vertido y fraguado, a esfuerzos de compresión por medio de armaduras activas (cables de acero). Podríamos afirmar que el postesado es una **modalidad del hormigón pretensado**, en el que las **armaduras se tensan una vez que el hormigón ha adquirido su resistencia característica**.

A partir del momento de su aparición, **la técnica del hormigón pretensado** tuvo una **gran difusión** por todo el mundo, destacándose su aplicación en la ingeniería civil y fundamentalmente, **en la construcción de puentes**.

Una de las consecuencias del desarrollo del hormigón pretensado ha sido la notable **evolución en el diseño de formas de los puentes**, en los que se han aplicado nuevas técnicas constructivas que han aumentado las posibilidades **para salvar vanos de grandes luces**, acortando los tiempos de ejecución y proporcionando una serie de ventajas relativas a la durabilidad, seguridad y economía. En definitiva, podríamos afirmar que la evolución del aspecto de los puentes de hormigón construidos en los últimos decenios ha sido motivada e impulsada por el desarrollo del pretensado.

En la edificación el proceso ha sido diferente, debido sin duda a que la estructura resistente queda integrada y “oculta” en un conjunto constituido por elementos de diversa naturaleza y por tanto, sus formas suelen ser consecuentes con los criterios derivados del diseño global del edificio. En el proyecto de un puente, por el contrario, las formas de la estructura adquieren importancia, hasta tal punto que, cuando se trata de disponer vanos de gran luz, el puente queda identificado con la propia estructura, exenta prácticamente de elementos accesorios.

La aplicación del hormigón pretensado, si bien **no ha influido significativamente en el aspecto exterior de los edificios** construidos en los últimos años, sin embargo ha aportado un **incremento en la disponibilidad de recursos**.

La arquitectura contemporánea se enfrenta a la necesidad de **proyectar espacios diáfanos cada vez más amplios** que permitan una gran flexibilidad tanto de uso como de distribución.

No obstante la consecución de grandes luces está condicionada por la **limitación de canto en los forjados**, el cual tiende a ser muy estricto en edificación.

La introducción de la técnica del postesado en forjados de edificación, hace ya más de tres décadas, abrió una serie de posibilidades constructivas impensables con la técnica del hormigón armado.

Esta técnica, implantada con éxito en Estados Unidos, Australia y parte de Europa, **no ha conseguido despegar en España**, donde la mayor parte de los forjados en edificación se realizan todavía en hormigón armado.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Sin embargo existe en nuestro país una **inquietud hacia esta tecnología** que se observa en el interés mostrado tanto por centros de investigación como por empresas constructoras.

Son muchas las ventajas que ofrece el hormigón pretensado a la hora de diseñar la estructura de un edificio.

El hormigón pretensado ha surgido de la búsqueda consciente de una alternativa que permitiera superar ciertas limitaciones encontradas por la técnica del hormigón armado.

Actualmente el pretensado es una técnica altamente probada que ofrece soluciones fiables, económicas y estéticas en el diseño de estructuras.

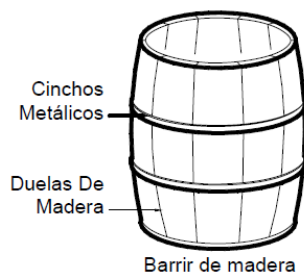
APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

3.2. Antecedentes

La idea básica del pretensado de materiales es antigua y está presente en diferentes ramas tecnológicas. Basta recordar algunos procesos de ejecución tales

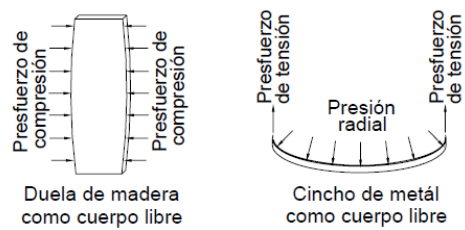


como los buques de los vikingos, que pretensaban sus barcos mediante unos tirantes de madera comprimiendo sus cubiertas y bordas, o cuando se ataban cintas o bandas metálicas alrededor de duelas de madera para formar los barriles, que al apretar los cinchos, estaban sometidos a una fuerza que creaba un esfuerzo de compresión entre las duelas y las habilitaba para resistir la tensión

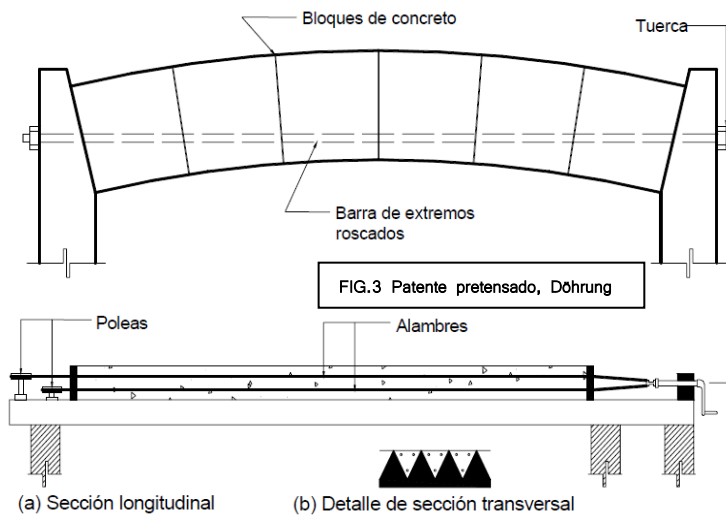


en arco, producida por la presión interna del líquido contenido, así mismo la cámara inflada a presión de una rueda es otro ejemplo de la aplicación del principio de pretensado: someter un material , incapaz de resistir sollicitaciones en un cierto sentido, a esfuerzos iniciales de sentido contrario.

FIG.2 Pre-compresión duelas



La primera propuesta de pretensar el hormigón se remonta a 1886, cuando un ingeniero de San Francisco, California, P.H.Jackson registra una patente donde propone el empleo de tirantes pretensados provistos de anclajes de rosca o de cuña en bloques de hormigón.



En 1888, W.Döhrung, de Berlín, solicitó una patente referida al pretensado en banco de tesado.

En 1906, M.Koenen , también de Berlín, realizó el primer ensayo con armadura hormigonada bajo tensión, creando un aparato en el que aplicaba una tensión previa y posteriormente una carga inferior a 1.000Kp/cm^2 que se reducía además en el tiempo hasta casi anularla.

Se continuaron nuevos ensayos y patentes sin mucho éxito pues el pretensado se perdía por efectos de la retracción y la fluencia del hormigón, no conocidos en la época.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

En 1908, el norteamericano, C.H. Steiner, sugirió la posibilidad de **reajustar las barras de refuerzo después de que hubiera tenido lugar cierta contracción y fluencia del hormigón**, con el objeto de recuperar algunas de las pérdidas.

Los primeros éxitos prácticos los obtuvo, **en 1919 K. Wettstein**, de Bohemia, con sus **“Wettstein-Bretter”** (tablas-Wettstein), que con el objetivo de alcanzar una resistencia del hormigón lo más alta posible utilizó como armadura alambres de cuerda de piano, con una resistencia de 1.400 a 2.000 N/mm². Pronto advirtió que carecía de sentido colocar en el hormigón los alambres no tensionados, en consecuencia, los tensó hasta un punto próximo a su límite elástico, colocándolos próximos a la superficie (es decir, alejados del centro de la sección). Con notable intuición, **pensó que la adherencia hormigón/armadura era función de la superficie específica de contacto, por lo que empleó gran número de alambres delgados**, en lugar de utilizar barras de mayor sección. Los tabloncillos de hormigón así fabricados, con espesores de 6 a 50mm. y longitudes de 2 a 6m., con 50cm. de anchura, se caracterizaban por su gran elasticidad, así tabloncillos de 2m. podían flexionarse hasta formar un cuarto de círculo, recuperando su forma inicial una vez descargados.

Probablemente, **R.H.Dill**, de Alexandra, Nebraska, USA, en 1923, haya sido el **primero en darse cuenta de que debían emplearse alambres de alta resistencia con tensiones elevadas**; ensayó barras de acero de gran resistencia, pintadas para evitar su adherencia al hormigón y después de que el hormigón fraguara, tensaba las barras de acero y se anclaban con tuercas al hormigón.

Sin embargo las hipótesis fundamentales para asegurar el éxito del hormigón pretensado fueron establecidas y descritas de forma inobjetable por el francés **Eugène Freyssinet**, quien en 1928, patentó a su nombre el sistema de pretensado con tensiones en el acero de más de 400N/mm². **El mérito principal de Freyssinet es el haber investigado la esencia de la fluencia lenta y de la contracción del hormigón**, extrayendo las

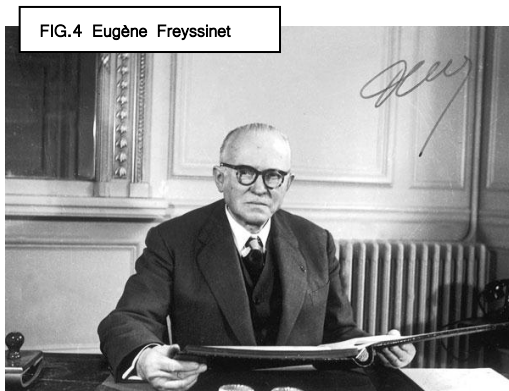


FIG.4 Eugène Freyssinet



FIG.5 Puente rebajado, Lucancy

conclusiones correctas para el hormigón pretensado. En 1939, produjo un **sistema de anclaje seguro mediante cuñas cónicas** para los anclajes de los extremos y diseñó gatos de doble acción, los cuales tensaban los alambres y después presionaban los conos machos dentro de los conos hembra para anclarlos a las placas de anclaje. Este método consiste en estirar los alambres entre dos pilares situados a

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

varias decenas de metros, poniendo obturadores entre las unidades, colocando el hormigón y cortando los alambres después de que el hormigón adquiriera una resistencia de diseño específica. En 1941 proyectó el puente en pórtico de dos articulaciones, muy rebajado, sobre el río Marne cerca de Lucancy del que se hicieron 5 réplicas en el mismo río.

Se sucedieron rápidamente **nuevos inventos** y contribuciones, especialmente por parte de ingenieros alemanes, como los de **F. Dischinger**, de Berlín, quien patentó elementos tensores similares a los de las vigas atirantadas, situados fuera de la sección de hormigón, es aquí cuando se ejecutaron los **primeros puentes** para los cruces sobre las autopistas adquiriendo **la firma Wayss & Freytag A.G. la exclusiva del procedimiento de Freyssinet y el sistema Dyckerhoff y Widmann (Dywidag)**.

Entre **1940 y 1942**, **Gustave Magnel**, de Bélgica, desarrolló un **procedimiento de anclaje mediante el cual dos alambres se tensaban simultáneamente** y se anclaban con una simple cuña de metal en cada extremo, con este método construyó en 1948 el primer puente con vigas continuas sobre el río Mosa, en Sclayn, de 2x62m. de luz (hormigón pretensado sin adherencia).

Cabe mencionar el **procedimiento** desarrollado por **E. Hoyer**, Hamburgo, llamado **“hormigón con cuerdas de acero”**, consistente en la fabricación en banco de pretensado de vigas con cuerdas delgadas de diámetro 0,5 hasta 2mm. de resistencias 1.600–2800 N/mm², sin embargo, se comprobó que, aun para alambres tan finos, la adherencia sola es insuficiente y falla con el tiempo, **se puede considerar el origen del sistema empleado en la prefabricación industrializada de viguetas**.

A partir de aproximadamente **1949** se inicia una competencia entre ingenieros y constructoras que condujo a numerosos procedimientos nuevos para el pretensado. Son de destacar los procedimientos, todavía en uso, de los ingenieros suizos Birkenmaier, Brandestini, Ros y Vogt, quienes han desarrollado procedimiento tales como el BBRV con cabecitas de anclaje recaladas, el **procedimiento VSL** con tensores trenzados.

En **1952**, hay una reunión en Cambridge, en la cual **se crea** una sociedad internacional bajo el nombre de **Fédération Internationale de la Précontrainte (FIP)**. El objetivo principal de este grupo de ingenieros visionarios era diseminar el mensaje e iluminar al mundo acerca del concepto relativamente desconocido de la construcción con hormigón pretensado, lo cual se llevaría a cabo alentando la integración de grupos nacionales en todos los países que tuviesen particular interés en el asunto y facilitando un **foro internacional para el intercambio de información**.

En los años posteriores el desarrollo se caracterizó principalmente por el aumento de la capacidad de los elementos tensores hasta aproximadamente 1500 KN y por la **racionalización de los procedimientos constructivos**, especialmente en la construcción de puentes. La investigación y la experiencia pusieron de manifiesto que el pretensado parcial es en muchos casos preferible, en cuanto a la capacidad de servicio, con respecto al pretensado total.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**3.3 Conceptos básicos.**

El hormigón armado es un material mixto donde cada uno de sus componentes, hormigón y acero, cumple su misión específica.

Por el contrario, **el hormigón pretensado no es un material mixto**: en esencia, se trata de hormigón que, gracias a un tratamiento mecánico inicial –una presolicitación del hormigón a compresión–, podrá resistir un estado de tensiones que de otro modo lo hubiera agotado.

Esta **presolicitación** consiste en la aplicación de fuerzas de compresión convenientemente distribuidas, de forma que la sección cargada se encuentre siempre (o casi siempre) totalmente comprimida. Como consecuencia complementaria, tendremos además un mejor control de las deformaciones de la pieza.

En cada uno de los pasos tenemos que:

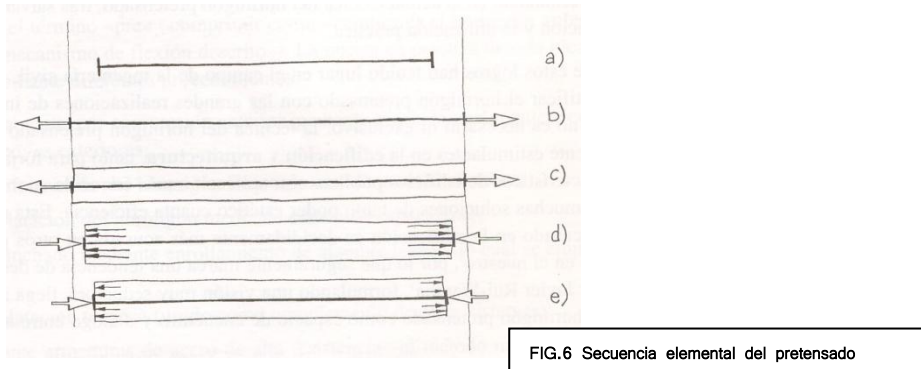


FIG.6 Secuencia elemental del pretensado

- a) La armadura de **acero está sin tensión** alguna.
- b) **Se tesa la armadura** hasta una fracción elevada de su límite elástico.
- c) Manteniendo externamente la tensión de la armadura, **la pieza se ha hormigonado**; el hormigón aún no está sometido a tensiones.
- d) El hormigón ha fraguado. **La armadura ha sido liberada** de sus coacciones exteriores anclándola en la pieza de hormigón. Como **sólido elástico** que es, **tiende a acortarse**, intentando recuperar su longitud inicial, pero sus anclajes y la adherencia con el hormigón coartan su desplazamiento. De forma que **el esfuerzo de tracción que soporta la armadura se transfiere al hormigón circundante, comprimiéndolo. El hormigón se ha pretensado.**
- e) Bajo la compresión a la que está sometido, el hormigón se acorta por fluencia. Como consecuencia del secado y endurecimiento se produce un acortamiento adicional de retracción. **El acortamiento total se traduce en una pérdida de tensión de la armadura**, y consecuentemente una pérdida de compresión del hormigón.

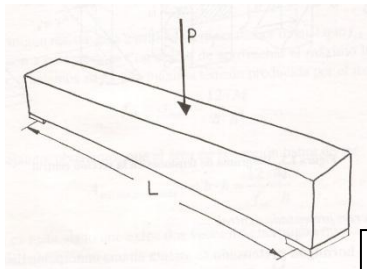
Para obtener un **pretensado eficaz será necesario mantener estas pérdidas** a un nivel reducido. Para ello se utilizan aceros especiales, de alto límite elástico, que admitan una deformación elástica varias veces mayor que el acortamiento total del hormigón, de modo que se conserve un alto porcentaje de la fuerza inicial de pretensado.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

La fuerza de tracción a la que se somete la armadura es la fuerza de pretensado, que actúa sobre el elemento de hormigón: por tanto, no ocasionará reacciones de apoyo en las estructuras isostáticas.

3.3.1 Ejemplo comparativo: Armado vs Pretensado

Consideremos una viga biapoyada de sección rectangular constante, sometida a una carga puntual P en el punto medio del vano, como se muestra en la figura 7:

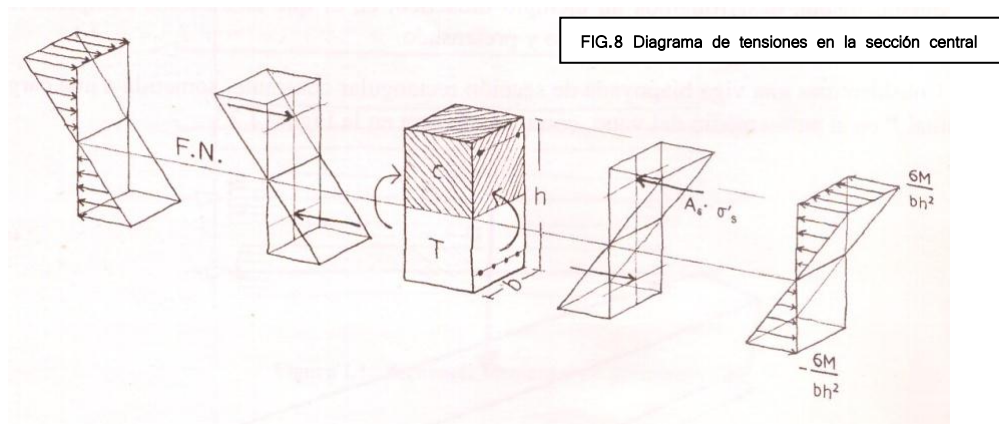


La sección más solicitada es la central, sometida a momento flector $M = \frac{1}{4} \cdot P \cdot L$ de signo positivo.

FIG.7 Viga apoyada con carga puntual central

• SOLUCIÓN DE HORMIGÓN ARMADO.

Estudiemos en primer lugar la solución en hormigón armado. Colocaremos la armadura en la parte inferior de la viga, dado que el hormigón no es capaz de resistir las tracciones existentes en esta zona. Puesta la pieza en carga, el acero sufrirá un alargamiento, entrando en tensión. En todas aquellas secciones en las que el hormigón envolvente se fisura, la armadura resistirá la totalidad de las tracciones.



El hormigón trabaja a compresión en la parte superior de la sección limitada inferiormente por la fibra neutra (fibra que separa la zona comprimida de la traccionada).

El diagrama tensional de la figura 2.3 subraya las distintas funciones resistentes del hormigón –comprimido– y del acero –traccionado–. Notemos que la máxima tensión que se produce en el hormigón es, en la fibra superior de la sección, $\sigma_{c,min} = -6M/b \cdot h^2$. Por simetría de la sección, en su fibra inferior se habría

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

producido (es decir, si hubiera sido capaz de resistirlo, porque hemos quedado en que el hormigón no resiste tracciones algunas), una tracción máxima de signo contrario $\sigma_{c,min} = -6 M/b \cdot h^2$. Estos datos, obtenidos a partir de fórmulas elementales de la estática, nos servirán más adelante.

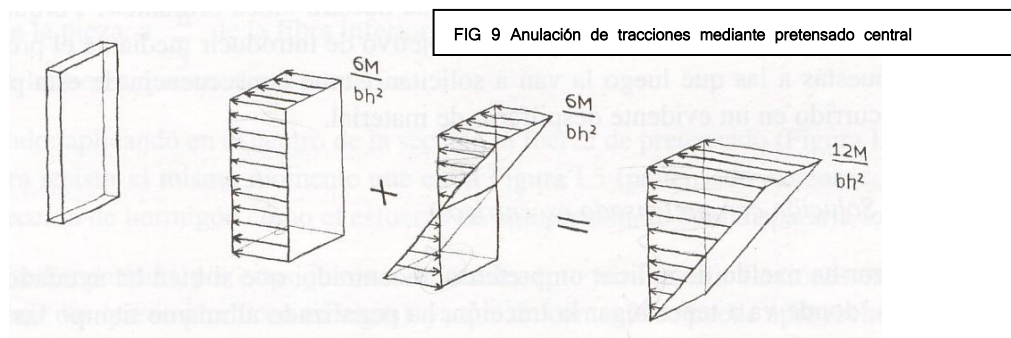
• **SOLUCIÓN PRETENSADO CENTRAL**

La solución en hormigón pretensado se asienta en una concepción distinta. Como no queremos que se fisure, y suponemos, como es habitual, que la resistencia a tracción del hormigón f_{ct} es nula, su fundamento consiste en someter al hormigón a una compresión previa, de forma que una vez puesto en servicio no aparezcan en ninguna sección tracciones. Ya que el hormigón no va a fisurarse (pues se habrá calculado la fuerza de pretensado para que se cumpla esta condición), no será necesario preocuparnos por la posición de la fibra neutra, puesto que toda la sección se comporta como un material homogéneamente resistente.

Pero, ¿Cómo aplicaremos la fuerza de pretensado para impedir la fisuración?

Podemos, evidentemente, ejercer una compresión uniforme (mediante armaduras centrales: pretensado centrado). Para anular las tracciones en el hormigón, bastará con que esta fuerza de pretensado produzca una compresión inicial

$\sigma_{c,min} = -6 M/b \cdot h^2$, como muestra la fig 9.



Ahora bien, mientras en la fibra inferior nos preocupábamos de compensar una tracción mediante una compresión, obteniendo un resultado nulo, en la fibra superior hemos estado sumando compresiones. En efecto, la tensión resultante en la fibra superior es:

$$\sigma_{total} = \sigma_{flexión} + \sigma_{pretensado} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot h^2} + \frac{6 \cdot M}{b \cdot h^2} = \frac{12 \cdot M}{b \cdot h^2}$$

Para que el hormigón resista, esta tensión deberá ser menor o igual que f_{ck} a la máxima tensión producida por el momento flector:

$$f_{ck} = \sigma_{max} = \frac{12 \cdot M}{b \cdot h^2}$$

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

De aquí, despejando, obtenemos que el área de la sección habrá de ser

$$A_{\text{sección pretensada 1}} = b \cdot h = \frac{12 \cdot M}{f_{ck} \cdot h}$$

Esta solución es mala, dado que exige dos veces más hormigón que la solución en hormigón armado, donde la sección necesaria era:

$$A_{\text{sección armada}} = b \cdot h = \frac{6 \cdot M}{f_{ck} \cdot h}$$

Y es insatisfactoria porque la precompresión inicial que hemos tomado $\sigma_{\text{pretensado}} = -6M/b \cdot h^2 = 1/2 \cdot f_{ck}$, no sólo consume la mitad de la capacidad resistente del hormigón en su fibra más solicitada. Hemos comprimido inútilmente la parte superior de la sección, donde la carga exterior creará compresiones, al tiempo que no utilizamos al máximo la capacidad resistente del hormigón en la zona inferior a la fibra neutra.

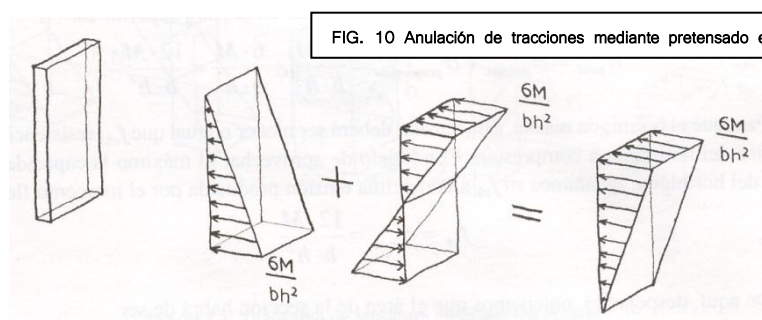
La fuerza de pretensado necesaria es $P = \frac{6 \cdot M}{h} \cdot b \cdot h$, y como $f_{ck} = \frac{12 \cdot M}{b \cdot h^2}$, resulta aplicada en el centro de gravedad de la sección.

¿Por qué nos ha salido mal la aplicación de nuestra “idea brillante”? Porque en la parte superior de la sección hemos incumplido el objetivo de introducir mediante el pretensado tensiones opuestas a las que luego la vana a solicitar. Como consecuencia de esta precipitación, hemos incurrido en un evidente despilfarro de material.

• **SOLUCIÓN CON PRETENSADO EXCÉNTRICO.**

El error ha nacido de aplicar un pretensado centrado, que si bien ha ayudado a las fibras inferiores, donde va a tener lugar la tracción, ha penalizado al mismo tiempo las fibras superiores, donde a la compresión derivada de las cargas ha añadido la del pretensado, duplicándola.

La solución correcta, desplazando el punto de aplicación del pretensado a la parte inferior de la sección, está esquematizada en la fig. 10



Para impedir la aparición de fisuras –esto es, la existencia de tracciones en el estado tensional final–, la fuerza de pretensado deberá crear el estado de tensiones

que aparece en la figura: compresión nula en la fibra superior, e igual a la

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

resistencia del hormigón f_{ck} en la fibra inferior. Así tendremos el máximo aprovechamiento.

Igualando la máxima tensión a la resistencia, como anteriormente, $f_{ck} = 6 \cdot M / b \cdot h^2$ obtenemos que el área de la sección será

$$A_{\text{sección pretensada 2}} = b \cdot h = \frac{6 \cdot M}{f_{ck} \cdot h}$$

Ahorramos así un 50% de material respecto a la solución previa, y regresamos a las dimensiones de la sección de hormigón armado.

La fuerza de pretensado resulta en este caso $P = 1/2 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot h$, aplicada en

el eje de simetría vertical de la pieza, a $h/3$ de la fibra inferior. Como se ve, el pretensado excéntrico requiere la mitad de la fuerza que en el caso anterior.

RESUMIENDO: aplicando en el centro de la sección la fuerza de pretensado Fig.9 sería necesario, para resistir el mismo momento que en la fig.10 (pretensado excéntrico), duplicar tanto la sección de hormigón como el esfuerzo de compresión, lo cual dispararía los costes.

El pretensado centrado, por consiguiente, no resulta apto para resistir flexiones en un solo sentido (es decir, las que se producen en vigas), ya que únicamente se puede aprovechar entonces la mitad de la capacidad resistente a compresión del material.

- **DEL TRAZADO EXCÉNTRICO RECTO AL TRAZADO CURVO.**

Aunque con el trazado excéntrico se ha obtenido una importante mejora, ésta se limita sobre todo a las secciones centrales de la pieza.

La misma excentricidad que es apropiada para las secciones centrales puede ser excesiva para las secciones extremas, ya que en ellas el momento flector de peso propio y sobrecarga disminuye o incluso se anula.

Por consiguiente, es preciso adecuar la excentricidad del pretensado, sección por sección, al momento exterior M_d que hace falta resistir.

Ello lleva a formular y diseñar trazados curvos para las armaduras de pretensado. Resulta intuitivo imaginar que la forma de estos trazados pueda aproximarse al polígono antifunicular de las cargas.

3.3.2 Variedades de hormigón pretensado

De acuerdo con la instrucción española EHE, y siguiendo una tradición que data de los orígenes de esta técnica, se diferencian dos tipos de armaduras en el hormigón pretensado:

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

- **Armaduras activas**, son las de acero de alta resistencia mediante las cuales se introduce el esfuerzo de pretensado;
- **Armaduras pasivas**, son las armaduras habituales del hormigón armado, asociadas a las anteriores.

Esta distinción semántica se establece por la siguiente razón: las armaduras dichas pasivas sólo comienzan a trabajar cuando la pieza entra en carga, iniciándose su deformación; por el contrario, las armaduras dichas activas están trabajando continuamente, independientemente del estado de cargas de la pieza.

Según la fase del proceso de ejecución en la que se introduce el esfuerzo de pretensado en las armaduras activas, se distinguen dos tipos de hormigón pretensado:

- Hormigón pretensado con **armadura pretesa**, es decir hormigón en el que las armaduras se tesan antes de hormigonar.
- Hormigón pretensado con **armadura postesa**, es decir hormigón en el que las armaduras se tesan después de hormigonar, en el que a su vez se distinguen dos variedades, según la situación de la armadura:

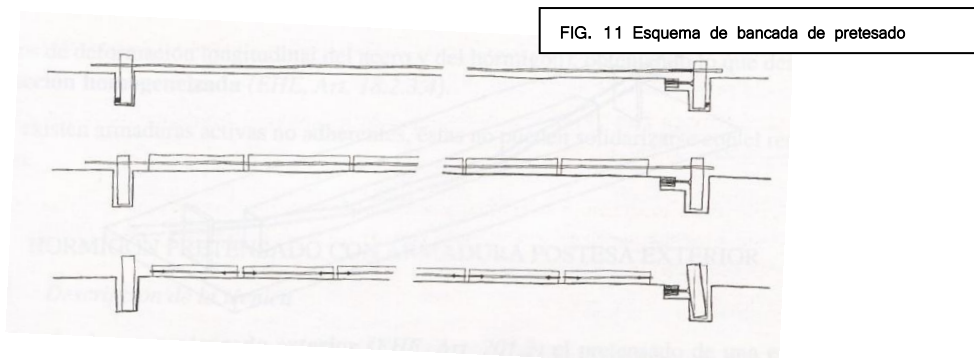
Con **pretensado interior**, cuando los conductos que contienen la armadura activa se encuentran embebidos en el seno de la sección de hormigón.

Con **pretensado exterior**, cuando los conductos que contienen la armadura activa se encuentran en el exterior de las paredes de la sección de hormigón, permitiendo el acceso a la misma.

• **HORMIGÓN PRETENSADO CON ARMADURA PRETESA**

Es el tipo idóneo para prefabricación. El proceso de ejecución, esquematizado, es el siguiente:

- Tesado de la armadura (pretesado), y anclaje de la misma en los extremos de la bancada de fabricación (Fig.11)



- Hormigonado de la pieza o piezas.
- Cuando el hormigón alcanza en su fraguado una resistencia determinada, se cortan los alambres entre piezas, con lo que el esfuerzo de pretensado se transfiere de la armadura al hormigón. Los

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

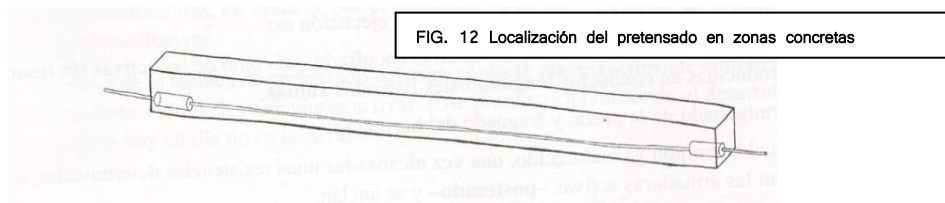
alambres se anclan por simple adherencia, no requiriéndose ningún otro dispositivo de anclaje.

Este procedimiento es muy **indicado para el taller**, y en general para luces inferiores a 25m. pues se emplean bancadas muy rígidas.

Ventajas destacadas del método son su gran rapidez de ejecución y la notable economía que introduce para piezas de estas dimensiones, dado que permite una extrema industrialización.

Obviamente, **utilizando armaduras pretesas no hay pérdidas por rozamiento**.

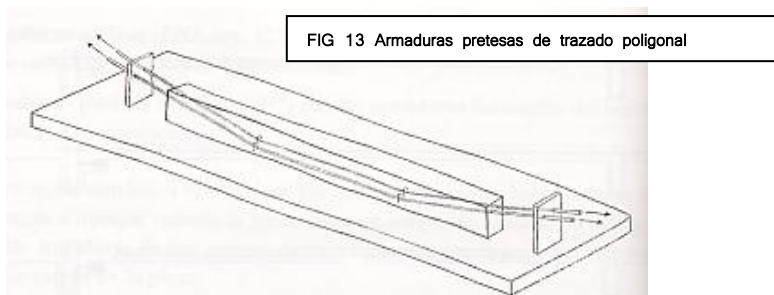
Empleando elementos aislantes que impiden la adherencia entre hormigón y armaduras activas, fig 12, podemos localizar el pretensado en zonas concretas lo cual nos permite una gran flexibilidad de diseño.



No obstante, el procedimiento descrito:

- No ahorra acero: pagaremos muchos kilos de acero que luego no utilizaremos;
- Desaprovechará –como más adelante veremos– la contribución de la armadura a la resistencia a cortante de la pieza;
- Requiere mucha mano de obra, por lo que resulta antieconómico.

En ocasiones, será necesario acudir a soluciones del tipo indicado en la fig. 13, que permiten aproximarnos al trazado ideal.



Son las armaduras pretesas de trazado poligonal. Existen diversos procesos de fabricación que permiten la deflexión de los cordones. De cualquier manera, se trata de un procedimiento muy poco empleado, por su evidente complicación.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**• HORMIGÓN PRETENSADO CON ARMADURA POSTESA INTERIOR**

En este procedimiento **se hormigona primero la pieza**, disponiendo en el seno de la sección de hormigón conductos para alojar las armaduras activas, que sólo **se tesan cuando el hormigón ha adquirido la resistencia suficiente para soportar el esfuerzo de pretensado**. Las piezas así fabricadas se llaman de hormigón pretensado con armaduras postesas.

La secuencia de las operaciones del proceso de ejecución es:

- a) Disposición de las armaduras pasivas en el encofrado, así como de las activas sin tesar, introducidos en conductos longitudinales llamados vainas;
- b) Hormigonado de la pieza, y fraguado del hormigón;
- c) Con el hormigón ya endurecido, una vez alcanzadas unas resistencias determinadas, se tesan las armaduras activas –postesado– y se anclan
- d) Los conductos se podrán:

- bien rellenar con una inyección (cuya naturaleza se tratará más adelante), procedimiento que nos conduce a la situación de **armadura adherente**.

- bien rellenar de algún producto protector probablemente inofensivo, no coartando el libre deslizamiento de la armadura (sometida a un tratamiento anticorrosivo en su interior. Se llama entonces **armadura no adherente**.

Una armadura queda solidarizada al hormigón desde el momento en que, por adherencia, quedan impedidos los deslizamientos entre ambos materiales. El efecto de solidarización de la armadura con la sección de hormigón se tiene en cuenta en el cálculo sumando al área de la sección la de la armadura multiplicada por el coeficiente de equivalencia (cociente entre los módulos de deformación longitudinal del acero y del hormigón), obteniendo lo que denominamos **sección homogeneizada**.

• HORMIGÓN PRETENSADO CON ARMADURA POSTESA EXTERIOR

Se entiende por pretensado exterior el pretensado de una estructura mediante armaduras activas (normalmente cordones de siete alambres) que se sitúan fuera de la sección estructural de hormigón pero dentro del canto de la pieza. Ello tendrá lugar disponiendo los conductos que las contienen:

- En **secciones cerradas** (tipo cajón o similar): los conductos se dispondrán preferentemente en el interior de las secciones.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

- En **secciones abiertas**: los conductos se dispondrán preferentemente al amparo de los paramentos de la sección, aunque también pueden disponerse por fuera.

El **elemento quizás más característico de la técnica son los desviadores**, de hormigón o metálicos, que permiten materializar los cambios de dirección en los trazados poligonales.

En el campo de los puentes, dos filosofías diferentes han orientado las dos escuelas principales de pretensado exterior: mientras en los Estados Unidos se ha primado la reducción del coste de las estructuras, en Francia, por el contrario, se ha tenido como objetivo fundamental las mejoras cualitativas.

La clave de la técnica de pretensado exterior, como se puede fácilmente comprender, es la adecuada protección de las armaduras activas. Este problema ha retrasado el desarrollo de esta técnica, pero hoy en día no es insalvable.

Ventajas e inconvenientes del pretensado exterior frente al interior

Resumimos las principales ventajas e inconvenientes del pretensado exterior ya que se trata de una técnica de una cierta especialización, para conocer la cual es mejor consultar las monografías y normativa especializada.

- **Ventajas principales:**

- Permite una inspección de las armaduras activas a lo largo de la vida de la obra.
- Si se ha previsto en el proyecto un pretensado desmontable, permite el retesado e incluso la sustitución de las armaduras activas a lo largo de la vida de la obra.
- Se trata de un sistema excelente para unir entre sí piezas estructurales prefabricadas, y especialmente puentes de dovelas prefabricadas.
- Tiene una gran aplicabilidad en el campo de reparación, rehabilitación y refuerzo de estructuras.
- Simplifica el trazado de los cables reduciendo las pérdidas por rozamiento.
- Mejora las condiciones de hormigonado de la sección, ya que elimina el obstáculo que representan los conductos de las armaduras activas.

- **Inconvenientes principales:**

- En elementos estructurales en flexión, a igualdad de cuantía de acero, requiere del orden de un 20% más de canto que las soluciones de pretensado interior.
- Comporta unos ciertos sobrecostes de diseño (derivados de elementos adicionales o complementarios del tipo de desviadores, anclajes, etc)

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**3.4 Limitación del hormigón armado e interés por el postesado en losas de edificación.**

Hasta el momento los forjados más comunes utilizados para la edificación han sido los unidireccionales de elementos prefabricados (vigüeta + bovedilla) (fig.14) y los forjados reticulares o bidireccionales a base de placas aligeradas.



FIG 14 Forjado unidireccional vigüeta + bovedilla

Los forjados unidireccionales son los que dan menores “prestaciones resistentes”, exigiendo un diseño de la estructura muy puro y ordenado. No obstante, sus ventajas principalmente relacionadas con la puesta en obra han motivado su gran uso en la construcción nacional.

FIG 15 Forjado reticular o bidireccional



Referente a los forjados reticulares (fig. 15) podemos afirmar que es una solución que funciona mejor que la anterior, que permite absorber mayores irregularidades en la planta estructural, ya que debido a su mayor hiperestaticidad las cargas consiguen encontrar caminos relativamente sencillos hasta los pilares, permitiendo a su vez el empleo de mayores luces.

Los forjados reticulares no son más que un caso particular extraído del mundo de las placas del que forman parte, siendo la losa maciza el caso más general de esta familia.

La mayor **diferencia** que puede existir entre **placas reticulares** y **losas macizas** es la siguiente:

- Losa maciza: Tiene un comportamiento **multidireccional**.
- Placa reticular: Tiene un comportamiento **bidireccional**.

Esta diferencia hace que el camino de las cargas a los soportes en el caso de la losa sea más directo, y por tanto mejor. Además, por decirlo de algún modo, la losa es más hiperestática que la placa, ya que tiene un número infinito de nervios.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Podemos ordenar las tres tipologías básicas de forjados en orden a su efectividad (camino más corto de las cargas) y seguridad (grado de hiperestaticidad):

- 1.-Losa maciza
- 2.-Placa reticular
- 3.-Forjado unidireccional



FIG 16 Forjado reticular. Solución recuperable.

El coste de los materiales ha tenido incidencia directa para la elección de una tipología de forjado, por ello siempre se ha tendido hacia soluciones aligeradas; además la dinámica de la construcción conlleva a no modificar los sistemas conocidos por los operarios, con lo que los rendimientos en la ejecución resultan aparentemente satisfactorios.

Si bien, esta tendencia está cambiando, existen varias razones por las que se ha iniciado un cambio de **tendencia hacia soluciones a base de placas macizas**. Entre ellas cabe citar:

- Aumento de la mano de obra
- Facilidad constructiva
- Durabilidad del forjado
- Reducción de los riesgos laborales

3.4.1 Losas macizas. Hormigón armado

Las **losas macizas** resultan fáciles de construir, pues desaparece el elemento aligerante. Al mismo tiempo al no existir nervios, las operaciones de cimbrado, encofrado, ferrallado, hormigonado, vibrado, y en general, el **control de la ejecución** resultan menos costosas pudiendo reducirse los plazos de ejecución.

Estructuralmente las prestaciones de losas macizas son comparables a las de una losa aligerada, ya que aunque tienen más peso que éstas para el mismo canto, su rigidez es mayor de cara a reducir flechas y vibraciones, así como su monolitismo y el aislamiento acústico que proporcionan, por lo que en algunos casos su canto puede ser menor que aquellas.

Así, definimos a las losas macizas como placas bidireccionales planas, con espesor pequeño respecto a las otras dos direcciones y cuya sollicitación principal es la de flexión en dos direcciones, por lo tanto su función más importante es la de transmitir cargas que actúan en forma normal a su plano principal. La más empleada, es el tipo de placa apoyada sobre apoyos aislados, es decir sobre columnas, con o sin capitel.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

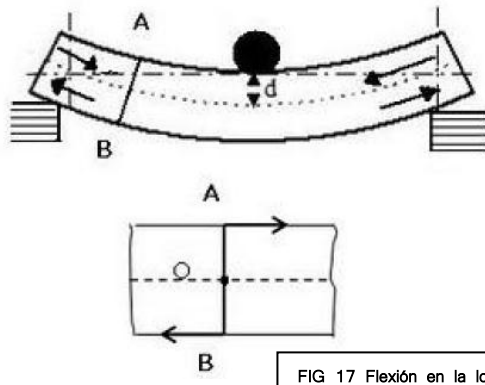


FIG 17 Flexión en la losa

Estas superficies bidireccionales trabajan mayoritariamente apoyadas entre pilares o muros, las cargas aplicadas a las losas (podemos considerar el peso propio una carga más) provocan flexiones en la losa y esto se traduce a la aparición de esfuerzos de tracción-compresión en cada sección del elemento:

En la zona comprimida el material encargado de soportar el esfuerzo es el hormigón, cuya resistencia a compresión es excelente, mientras que en la zona traccionada es el acero corrugado el que debe asumir las tensiones que provoca la flexión, dada la reducida resistencia a tracción del hormigón.

La envolvente de momento flector del forjado indica las zonas donde aparecen las tracciones, y son esas zonas donde se debe concentrar la armadura pasiva de la losa.

Al tratarse de un elemento armado en ambas direcciones, **las flexiones tienden a buscar “el camino más fácil”** hasta poder transmitir las cargas a los pilares o soportes.

Este mecanismo de transmisión de cargas acaba creando dentro de la losa unos **pórticos principales virtuales**, el resto de la losa cumple una función de traslado de las cargas a dichos pórticos.

Tomando un ejemplo sencillo el mecanismo de transmisión de cargas y esfuerzos quedaría de la siguiente manera (fig.18):

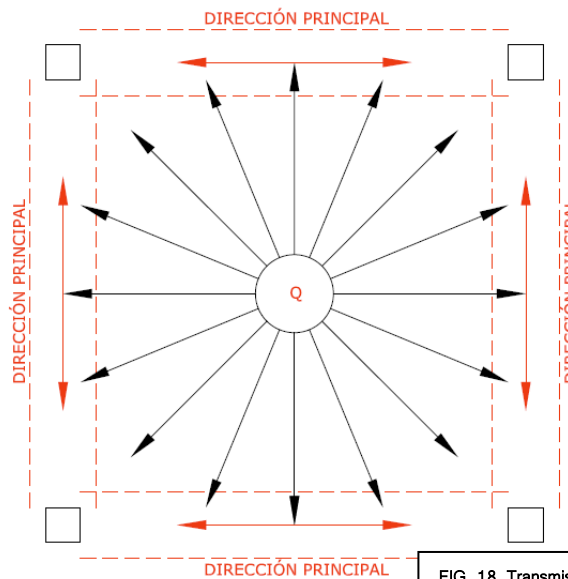


FIG 18 Transmisión de cargas en losa maciza

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**• VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL EMPLEO DE LOSA MACIZA COMO FORJADO DE EDIFICACIÓN****VENTAJAS**

- **No hay inconvenientes de utilización en zonas sísmicas o con acción del viento importante:** debido a su gran rigidez en el plano, uniforman los desplazamientos unidireccionales y tienen ductilidad en ambas direcciones (los forjados unidireccionales solo presentan rigidez en la dirección del armado).
- **Permite en gran medida industrializar** el proceso de construcción: fácil ejecución de la colocación de las armaduras, del vertido y vibrado del hormigón, y su correspondiente supervisión.
- Se puede **reducir el canto total** permitiendo más altura libre entre forjados o bien reducir la altura total del edificio.
- **Buen aislamiento acústico**, permitiendo además dejar un acabado de hormigón visto o aplicarse el acabado directamente en la cara inferior, disminuyendo costes posteriores en ejecución de techos.
- Permiten una mayor **libertad en el diseño** respecto a las soluciones anteriores, es posible disponer de huecos o conseguir perímetros no ortogonales con más facilidad. Existe una mayor flexibilidad en la ubicación de los pilares en planta.
- Tiene **muy buen comportamiento frente a incendios**, tanto por su función separadora (al ser un elemento continuo de espesor constante) como por su capacidad portante (son estructuras con un alto grado de hiperestatismo que admiten un considerable nivel de redistribución de esfuerzos).
- En el apartado de riesgos de accidentes laborales, se reducen debido a que **elimina el trasiego de elementos pesados, tales como viguetas o bovedillas**, que pueden caerse durante el montaje o romperse al ser pisados.
- **Mejora del impacto medioambiental de la obra**, la eliminación de otros materiales, como son prefabricados de hormigón o cerámicos, incide en el impacto medioambiental de la obra, y en un ahorro considerable de los costes de gestión del proyecto.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**INCONVENIENTES**

- Necesita de una **cimentación más importante**, debido a su mayor peso respecto a otras soluciones que requiere unos apoyos dimensionalmente superiores.
- Necesidad de un **refuerzo en la cabeza** de los pilares para garantizar la resistencia de la placa al **punzonamiento**.
- En vanos exteriores las **deformaciones** pueden ser elevadas así como los huecos de gran tamaño pueden causar problemas de comportamiento.
- Menor aislamiento térmico que las placas prefabricadas aligeradas.

3.4.2 Interés por la losa postesada

Extrapolando los conceptos básicos anteriormente descritos para el caso de la viga biapoyada, caso isostático, a una viga continua apoyada sobre pilares, caso hiperestático y a su vez al caso de una losa (viga continua apoyada sobre pilares en dos direcciones) queda introducido el funcionamiento general del pretensado, en una losa postesada. Fig.19

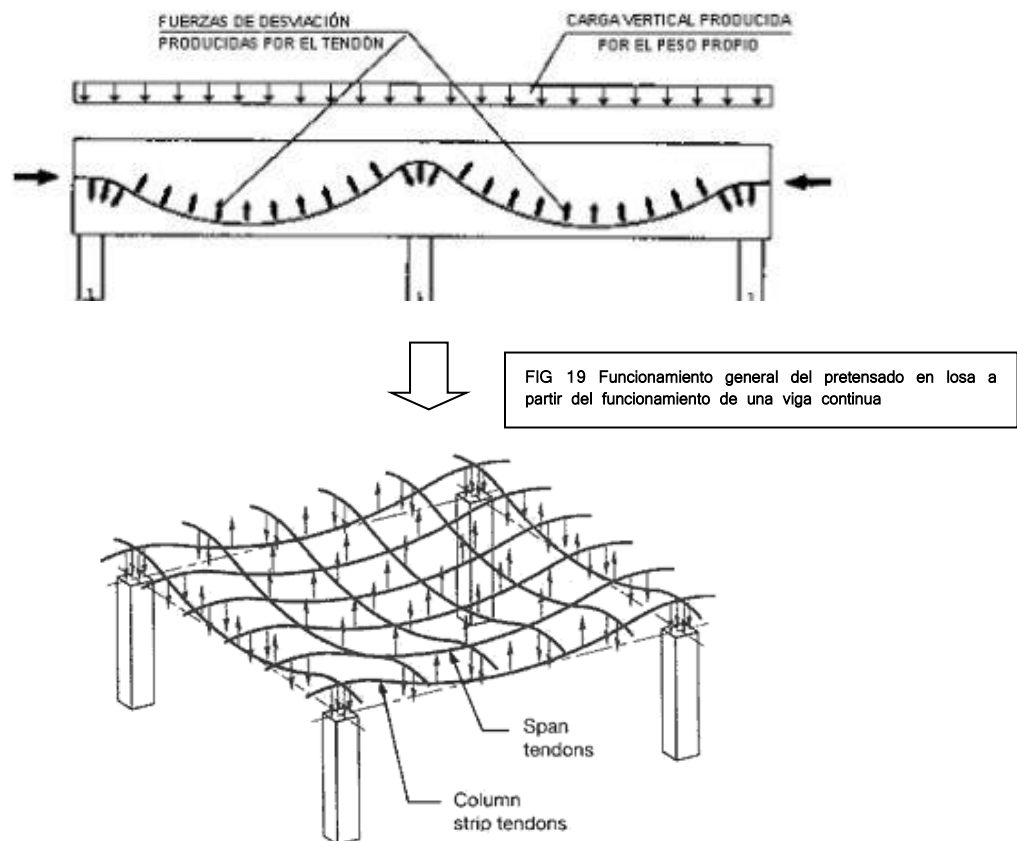


FIG 19 Funcionamiento general del pretensado en losa a partir del funcionamiento de una viga continua

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Manteniendo la validez de los conceptos en losas de hormigón armado, **la idea del pretensado o postesado es la de introducir un estado de tensión**, previo a la carga de la estructura, de manera tal que anule, o disminuya, las tensiones de tracción en el hormigón.

Así el postesado de las losas consiste en tesar una armadura activa una vez fraguado el hormigón cuando ha alcanzado la resistencia necesaria para resistir las tensiones inducidas por las armaduras.

Las armaduras activas introducen en la estructura una serie de fuerzas que inducen tensiones, por lo general de signo opuesto a las producidas por las acciones gravitatorias aplicadas (peso propio, sobrecargas), obteniendo una mejora de la capacidad resistente y comportamiento.

Las cargas transmitidas por las armaduras activas se descomponen en fuerzas concentradas en los extremos de la estructura donde se sitúan los anclajes, que precomprimen el hormigón, y fuerzas de desviación, inducidas por el trazado curvo de los tendones, que pueden llegar a equilibrar el peso propio de la estructura e incluso las cargas permanentes y parte de las sobrecargas.

• ***VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL EMPLEO DE LOSAS POSTESADAS:***

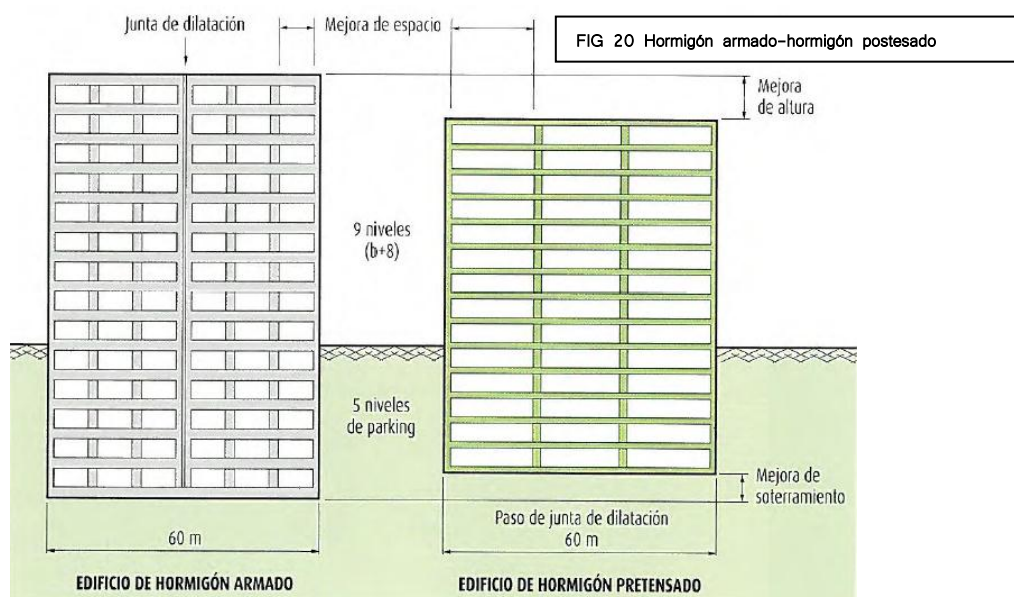
VENTAJAS

Se exponen a continuación las ventajas técnicas y económicas de la solución postesada respecto a la losa maciza de hormigón:

- **Ahorro económico considerable en coste de materiales**, principalmente hormigón y acero corrugado, en comparación con la losa maciza de hormigón armado convencional. Esto se traduce en una estructura más económica en su realización, ya que se necesitan menores cuantías de acero corrugado como armadura pasiva y la nueva armadura activa no repercute en un incremento de coste en el balance global.
- Las losas postesadas permiten un **descimbrado o desapuntado más precoz** que las de hormigón convencional derivando en una notable **reducción de los tiempos de ejecución y costes**. La posibilidad de empezar los trabajos de albañilería con anterioridad, hace que la solución postesada sea excelente para un proyecto con unos plazos de ejecución ajustados.
- El postesado puede introducir deformaciones opuestas a las producidas por las cargas exteriores reduciendo de esta forma la flecha diferida. Se obtienen menores deformaciones respecto a las estructuras de acero y hormigón convencional.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

- Mejor comportamiento frente a la fisuración y por tanto mayor protección de las armaduras frente a la corrosión. Invariabilidad de la capacidad de servicio de la estructura después de la aplicación de grandes sobrecargas. Las fisuras se cierran después de la desaparición de la sobrecarga.
- La ausencia de fisuración ofrece un óptimo comportamiento desde el punto de vista de la resistencia al fuego.
- Alta resistencia a la fatiga, ya que la amplitud de los cambios tensionales en el acero activo, bajo cargas alternadas, son muy reducidos.
- Mayores luces con mayores esbelteces de las losas que permiten ahorro de hormigón reduciendo el peso propio de la estructura. Se puede reducir hasta un 30% el canto de la losa sin disminuir la capacidad portante.
- El menor peso propio de los forjados, hace que las solicitaciones sísmicas sean de menor entidad. Además teniendo en cuenta su gran ductilidad hace el comportamiento sísmico sea notablemente superior al de una estructura de hormigón convencional.
- Mayor resistencia al punzonamiento debido a un apropiado trazado de los tendones a su paso por los soportes.
- Al estar la estructura comprimida a edades tempranas, disminuyen los efectos de la retracción del hormigón repercutiendo en un aumento de las distancias entre juntas de dilatación, pudiendo incluso eliminar alguna.



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**INCONVENIENTES**

- La **ejecución de pasos de instalaciones no previstos**, o cualquier elemento anclado al forjado, con la obra ejecutada, **es un proceso más delicado que en el forjado tradicional**.
- A nivel general es importante recordar que los **tendones** son elementos que están en tensión, **en caso de cortarse la tensión** se pierde haciendo saltar la cuña situada en el lado del anclaje activo, y con toda probabilidad, rompiendo el canto del forjado sobresaliendo el propio cordón o cordones. Cuando se ejecuten los agujeros no previstos será muy importante **tomar las medidas de seguridad** necesarias para evitar daños materiales y personales.
- El **hormigón** que se utiliza, aunque es en menor cantidad, **es de una resistencia superior y por lo tanto, su repercusión en coste por M3 es mayor**.
- Los medios necesarios para su ejecución, requieren de **personal cualificado, y en el caso de maquinaria, requiere de gatos hidráulicos de tesado específicos**.
- **Anclar estructuras auxiliares** posteriormente a la ejecución de la estructura requiere de un **control muy exhaustivo** para no deteriorar o seccionar ningún cable en tensión.
- El **encofrado que se debe realizar es mayor**, debido a que se necesita de un espacio auxiliar para poder tensar los cables.
- La **rotura de un cordón**, sea cual sea la causa, requiere de una **reparación complicada**.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**3.5 Situación actual en el mercado.**

En España, la técnica del pretensado **se aplica mayoritariamente en el campo de las obras públicas** y mucho menos en edificación. Esto es especialmente acusado si hablamos de hormigón pretensado con armaduras postesas donde, al menos en nuestro país, son escasas las obras de edificación construidas con esta técnica.

Quizás una de las razones para ello haya sido **la escasez de información** sobre las posibilidades de los forjados postensados, de sus ventajas técnicas y económicas y la ausencia de una normativa o de unas recomendaciones que pongan a disposición de técnicos, constructores y promotores criterios para el proyecto, construcción y evaluación económica de estas soluciones estructurales como alternativas a las ya actualmente en uso.

Otro de los motivos quizás pueda estar en la **educación tradicional de muchos proyectistas de estructuras cómodamente asentados en las técnicas tradicionales** del hormigón armado y alejados de lo que los proyectistas de obras civiles conocen desde hace mucho tiempo.

Como soporte de esta idea basta repasar el nombre de proyectistas de estructuras postesadas de edificación en España: Rui-Wamba, Corres, Bellod, Llombart, etc. Todos ellos provienen de una trayectoria en el proyecto de estructuras de obra civil y poseen una sólida formación estructural.

A pesar de esto la utilización del postesado en la construcción de forjados de edificación ha permitido la realización de proyectos de edificios de una cierta envergadura y ello ha sido el motivo del desarrollo que este sistema ha tenido en otros países.

Uno de los motivos de la aceptación y desarrollo del postesado en el proyecto de edificios de importancia en diversos países, ha sido el rendimiento económico, que puede deducirse a partir de los datos porcentuales comparativos entre las losas de forjado simplemente armadas y las losas postesadas, según se expresa el Congreso de la FIP, celebrado en Amsterdam en el año 1997.

Las **ventajas económicas** del empleo del postesado resultan evidentes, cuando se trata de disponer **vanos relativamente grandes en edificios**, que superan el rango de los forjados de hormigón unidireccionales, o bidireccionales con soluciones reticulares, de uso habitual en España.

Dado que el costo unitario de los forjados guarda relación con la magnitud de las luces, cabe estudiar, en fase de proyectos de edificios de cierta importancia, cuál es la luz más conveniente para cada caso.

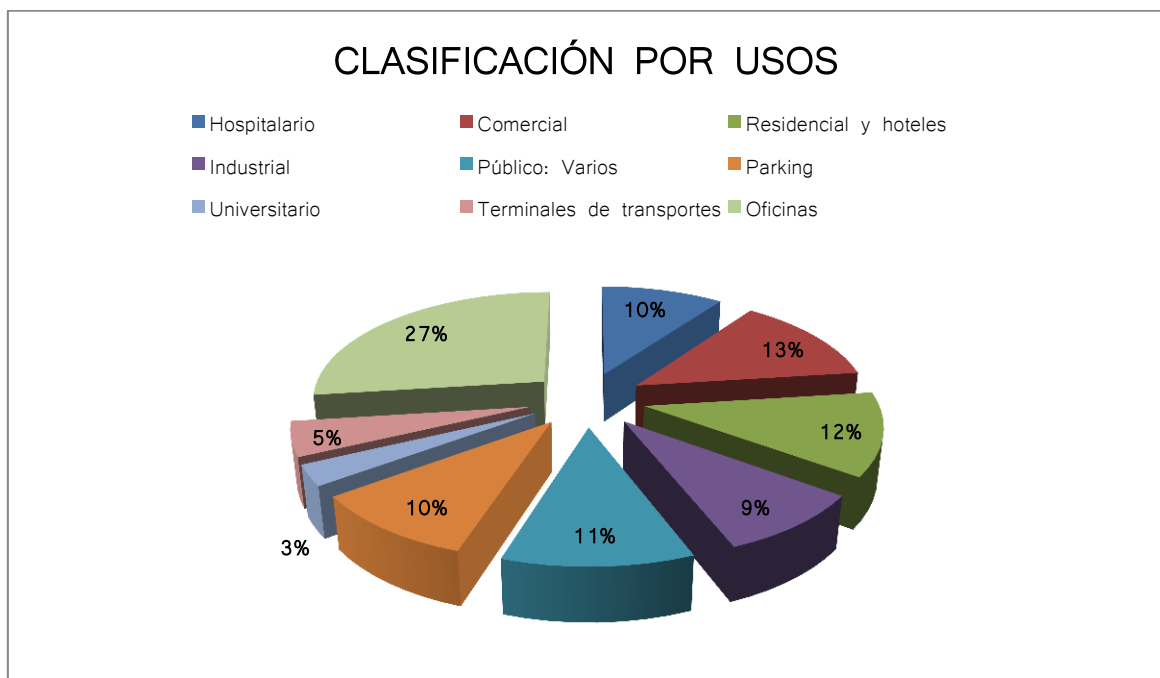
La diafanidad en el interior de los edificios **y la disminución del espesor** de los forjados **aporta un valor añadido** que suele compensar sobradamente el sobrecosto de construcción que implica el aumento de luces en edificios importantes situados en las grandes ciudades, por lo que la aplicación del postesado proporciona idóneas condiciones para su realización.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

El costo de las losas de piso representa únicamente el 13% del total, por lo que puede deducirse fácilmente que, en general carece de interés aquilatar la magnitud de las luces de forjados, únicamente por motivos económicos.

En España, hasta el momento, el postesado en edificación en España ha sido aplicado en contadas ocasiones y la causa carece de explicación aparente, debido en primer lugar, a los satisfactorios resultados que pueden deducirse de los edificios construidos con forjado postesados en nuestro país y por otra parte, por la existencia de Proyectistas y Constructores, cuya **capacidad en el dominio de la técnica del hormigón pretensado ha estado sobradamente demostrada** a lo largo de la experiencia desarrollada en los últimos años en obra civil y especialmente, en puentes, cuyas recientes realizaciones llevadas a cabo en España constituyen una referencia internacional.

A continuación se muestra una clasificación en función de los usos de los edificios de las obras de postesado en edificación ejecutadas en la actualidad en España:



Una de las conclusiones de esta clasificación es que no existen usos específicos para los forjados postesados, sino que se debe dar una adecuada combinación de luces y cargas de diseño.

Prueba de ello es el empleo de forjados postesados para la práctica totalidad de usos en edificación: Centros comerciales, viviendas, hoteles, oficinas, aparcamientos, museos, juzgados, teatros y cines, terminales de transporte, recintos feriales, centros de convenciones, naves industriales, centros deportivos, escuelas, universidades y hospitales.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**3.6 Ejemplos de aplicación en edificios**

Vamos a citar, algunas de las obras de edificación más importantes construidas en España, en que se ha utilizado el postesado, con la indicación de las características más notables:

Torre Agbar, en Barcelona

La torre Agbar es un rascacielos construido en la ciudad de Barcelona, que marca la puerta de entrada al nuevo distrito tecnológico de Barcelona.

El edificio es propiedad de la inmobiliaria Layetana, siendo ocupante el grupo Agbar.

La torre fue diseñada por el estudio del arquitecto francés Jean Nouvel en colaboración con la firma de arquitectos barcelonesa b720.

Tiene 144 metros de alto y 34 plantas (más cuatro plantas subterráneas), convirtiéndose, en el momento de su apertura (junio de 2005) en el tercer edificio más alto de la capital catalana (tras el Hotel Arts y la Torre Mapfre).

La Torre Agbar consta de dos cilindros ovals no concéntricos, coronados por una cúpula de cristal y acero.

En el cilindro interior se encuentra el núcleo de la circulación vertical y las instalaciones. Entre este eje central y el exterior, se sitúan 34 plantas diáfanas sin pilares interiores.

Sobre rasante y hasta la planta 26 los forjados son mixtos. A partir de esta planta, en que acaba el muro exterior de hormigón, y hasta la planta 32, las plantas son de hormigón postesado en voladizo desde el núcleo interior. El voladizo máximo que se consigue es de 10 m.



FIG 23 Torre Agbar



FIG 24 Evolución Torre Agbar

Bonaire, parque comercial y de ocio, Valencia.

El edificio está situado en Aldaia, Valencia en un solar de planta rectangular limitado por la autovía A-3 y el corredor comarcal. El edificio dispone de una planta subterránea destinada, principalmente, a aparcamiento. El forjado de planta baja, con una superficie aproximada de 60.000 m², está resuelto mediante un forjado de hormigón postesado adherente de 25 cm. de canto, sin juntas de dilatación y luces de 8 x8 m.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

FIG 25 Parque comercial -Bonaire-

Sobre el nivel de la planta baja (rasante) se levantan 3 edificios. El edificio central de 15.400 m², el edificio este, de 11.500m² y el edificio oeste de 13700m² se destinan a zona comercial y de ocio (cines, bolera, mini-golf).



FIG 26 Montaje losa postesada, Bonaire

Están constituidos, en planta primera, por un forjado postesado adherente de 40 cm. de canto y luces entre pilares de 14 x 16m. y, en planta cubierta, la estructura es metálica con cerchas de hasta 32 m. de luz que apoyan sobre pilares mixtos de hormigón y acero estructural hormigonados in situ. En

otros casos, la cubierta es ondulada de estructura metálica con cerchas apoyadas sobre pilares con collarín metálico en la cabeza de los mismos.

La solución estructural utilizada ha sido una losa de hormigón postesado sin juntas de dilatación, de 250 x 250m, que supone la mayor losa de hormigón sin juntas del mundo.

Se optó por proyectar una estructura postesada por las numerosas ventajas que ofrece (diafanidad, poco espesor, eliminación de juntas de dilatación, rapidez de ejecución, etc.).

A la vista de las luces adoptadas en el forjado de planta baja, de 8x8, parecía indicado optar por una solución en hormigón armado, bien de losa maciza de canto 30 ó 35 cm. o bien por un forjado reticular de 25+10cm. de canto.

Sin embargo, esta solución, que es competitiva, y mucho, para la edificación convencional con esas luces y cargas, se vuelve económicamente menos competitiva cuando se pretende realizar la construcción sin juntas de dilatación y es conveniente disponer una armadura mínima muy importante, cercana al 8 por

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

mil, para conseguir una garantía suficiente frente al estado límite de fisuración por deformaciones impuestas de temperatura y retracción.

No disponer juntas en la estructura es una decisión importante pero sencilla de justificar si se atiende a las siguientes circunstancias:

- Si se disponen juntas de dilatación tradicionales habría una longitud aproximada de 3,5 km. De juntas de dilatación en la PB y otros 2 km. de juntas en la estructura, con todos los problemas asociados de costes de construcción, problemas de mantenimiento e impermeabilización. Se puede poner de ejemplo la falta de estanqueidad de los forjados de la planta cubierta de la mayoría de los aparcamientos subterráneos.
- El complejo encaje arquitectónico de las juntas en plantas superiores.
- Si se disponen juntas de dilatación a distancias mayores de las habituales se comparten todos los problemas de ambas soluciones.

Motivados por estas razones, la empresa promotora, decidió aceptar la construcción de una estructura sin juntas.

Una vez tomada esta decisión, la elección de la solución postesada o armada para el forjado de planta baja, está en situación de tablas.

Por un lado parece más apropiado el comportamiento frente a fisuración de la solución postesada, sin embargo, esta solución aumenta el acortamiento del paño de 250m de forjado y, en consecuencia, los esfuerzos sobre los pilares extremos y sobre el muro de cierre perimetral.

La elección de la solución postesada atendió pues a dos motivos: uno económico (coste y plazo de ejecución) y otro de homogeneidad de la solución elegida, ya que en planta primera, con luces de 16x16 m. entre ejes de pilares, la solución postesada resulta más evidente.

Torre Espacio, Madrid.

En la zona norte de la ciudad de Madrid, en los antiguos terrenos de la Ciudad Deportiva del Real Madrid, se ha desarrollado un complejo de oficinas formado por **4 torres de más de 200m.** de altura.

La **cimentación** del edificio está formada por una losa de 52,3m. por 43,3m., **con un canto de 4m.**, postesada mediante 40 tendones en sentido longitudinal y

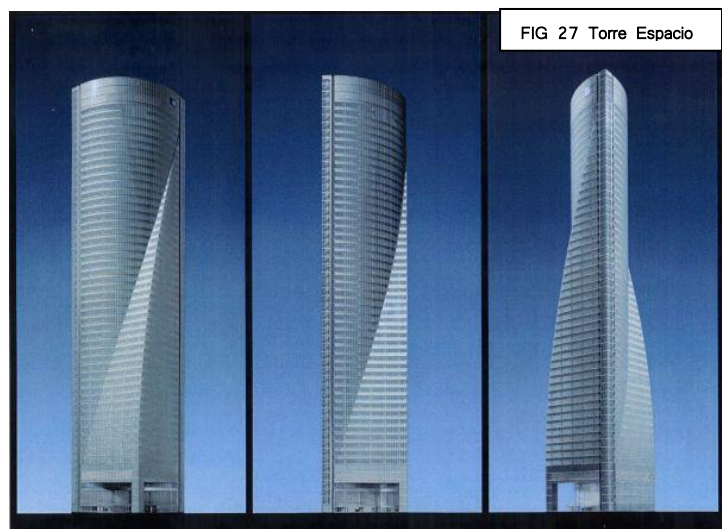


FIG 27 Torre Espacio

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

otro tanto en sentido transversal, haciendo un total de 160.986 Kg. de acero activo.

La planta baja del edificio plantea una zona de accesos diáfana, sin pilares. Para lograrlo el proyectista ha dispuesto 2 vigas de celosía metálica que reciben la carga de las plantas superiores y la trasladan a pilares dispuestos con una luz de 28,00 m.

Se han definido 4 etapas de tesado, la primera al alcanzar la planta 10, la segunda después de hormigonar la planta 22, la tercera etapa se realiza cuando el edificio está a nivel de planta 33 y, finalmente, la última etapa de tesado al alcanzar el forjado de coronación, a 223,10 m del nivel del suelo



FIG 31 Montaje anclajes activos -Torre Espacio-

Pabellón de Aragón Expo 2008, Zaragoza

Entre el 14 de junio y el 14 de septiembre del 2008 se celebrará en Zaragoza la Exposición Internacional dedicada al "Agua y el desarrollo sostenible". El Pabellón de Aragón es un edificio de textura trenzada que emula los recursos de la tradicional cestería local, sustentado por tres grandes soportes.



FIG 31 Pabellón de Aragón en ejecución

Su uso post-expo como Consejería del Gobierno de Aragón ha llevado a que sea uno de los edificios más grandes del recinto.

En total ha suministrado 300 Ton de acero activo, para las plantas 1 y 4 y cubierta.

Tras el final de la exposición, el edificio se concluyó para adaptarlo a su nuevo uso con la edificación de las plantas 2 y 3, también postesadas, suspendidas desde la planta 4.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**4. Fundamentos del sistema postesado en elementos de edificación.****4.1 Tipologías estructurales.**

Los criterios más usuales a la hora de realizar una clasificación de losas postesadas son: la disposición en planta de la armadura activa y su sistema de transmisión de cargas, y la forma de las losas.

4.1.1 Tipología según la disposición de la armadura activa y el sistema de transmisión de cargas

La transferencia de cargas desde el interior de una losa plana hacia los pilares se realiza de la siguiente manera: los tendones de vano trasladan las cargas a los tendones sobre pilares y éstos a los apoyos.

A partir de este concepto se plantean **4 soluciones** para la disposición en planta de los tendones.

- Concentrados en dos direcciones
- Distribuidos en dos direcciones
- Concentrados en una dirección y distribuidos en la otra
- Disposiciones mixtas

• CONCENTRADOS EN DOS DIRECCIONES

Todos los tendones se concentran sobre los pilares según dos direcciones como se observa en la Fig.32

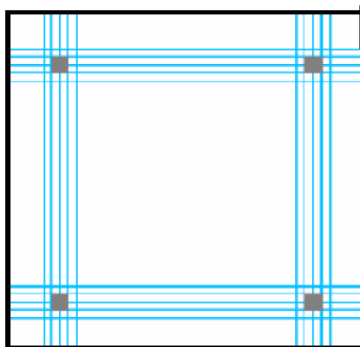


FIG 32 Concentrados 2 direcciones

La ventaja más clara que presenta esta solución es el **total aprovechamiento de la armadura activa frente a esfuerzos de punzonamiento** además de una relativa facilidad de montaje. No obstante, esta disposición obliga a disponer una gran cantidad de armadura pasiva para transmitir las cargas desde el centro de vano hasta la línea de pilares.

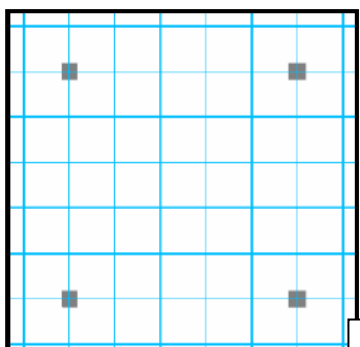
• DISTRIBUIDOS EN DOS DIRECCIONES

FIG 33 Distribuidos en 2 direcciones

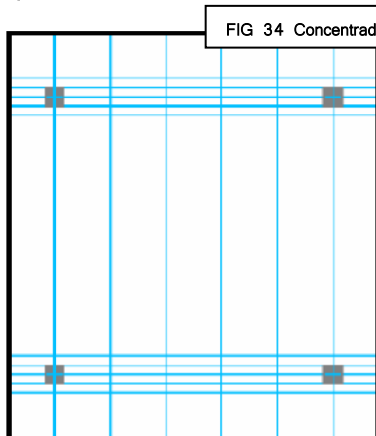
Esta alternativa es **muy eficiente** estructuralmente (deformaciones menores) pero conlleva una **gran desventaja constructiva**, ya que se deben **trenzar los tendones** para formar una especie de canasta (Fig.) comenzando por el grupo que está por debajo de todos los demás, lo que implica una mayor dificultad de montaje.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Además con esta distribución de tendones no se aprovechan los beneficios frente a esfuerzos de punzonamiento.

- **CONCENTRADOS EN UNA DIRECCIÓN Y DISTRIBUIDOS EN LA OTRA**

Esta opción reúne las virtudes de las dos soluciones citadas anteriormente. Por un lado **se eliminan todas las interferencias entre tendones sobre pilares**, salvo un grupo de los distribuidos, y por otra se **sigue aprovechando el beneficio que aportan los tendones de armadura activa frente a esfuerzos de punzonamiento**.

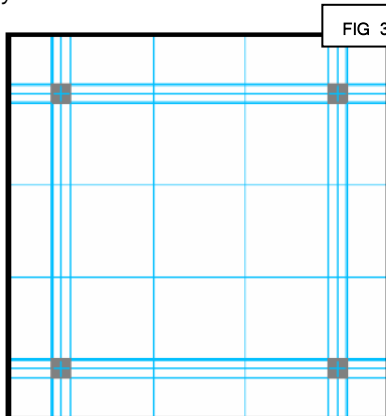


Como consecuencia importante de esta distribución se encuentra la potenciación del comportamiento unidireccional en pre-rotura, no obstante, no se observan diferencias respecto otras disposiciones bajo cargas de servicio.

Por todo ellos esta opción se ha convertido en **la más utilizada**. Además en losas planas con distribución irregular de pilares, es la mejor manera de visualizar que toda la carga de la losa se transfiera a los pilares.

- **DISPOSICIONES MIXTAS**

Esta disposición consiste en concentrar la mitad de los tendones sobre pilares y distribuir los restantes uniformemente.



Esto se puede hacer en una o dos direcciones. La opción más usual es optar por esta distribución en una dirección, y combinarla con tendones concentrados en la otra.

Se intenta conjugar la facilidad constructiva con la eficiencia estructural sin que por ello la resistencia a punzonamiento se vea mermada.

4.1.2 Tipología según la forma de la losa

Se presentan a continuación los principales tipos de forjados postesados, que como se puede ver son similares a los empleados en hormigón armado. También se indican los rangos de utilización para cada uno de ellos, y las ventajas y desventajas de su elección.

Aunque existen diversas formas de clasificar los forjados, hemos elegido la **separación entre sistemas unidireccionales y bidireccionales**

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

La siguiente tabla (extraída del R1 Post-tensioning institute) recomienda relaciones canto/luz para distintos tipos de losas.

Tipo de placas postesadas	Relación canto/luz h/l
Losas unidireccionales	1/48
Losas bidireccionales	1/45
Losas con ábacos (ábaco > l/6)	1/50
Losas bidireccionales con vigas en dos direcciones	1/55
Losas aligeradas con casetones	1/35
Vigas de canto ($b \cong h/3$)	1/20
Vigas de canto ($b \cong 3h$)	1/30

FIG 36 Relaciones canto/luz PTI

Aunque teniendo en cuenta los mayores coeficientes de seguridad y valores de carga de proyecto de la normativa española, parecen más adecuados los criterios presentes en la siguiente tabla:

	Vanos continuos	Un solo vano
Losa maciza unidireccional	1/50-45	1/45-40
Losa maciza bidireccional (sobre pilares)	1/48-40	---
Losa aligerada bidireccional	1/40-35	1/35-30
Vigas	1/35-30	1/30-26
Nervios unidireccionales	1/42-38	1/38-35

FIG 37 Relaciones canto/luz, valores normativa

En las consideraciones siguientes se expondrán los tipos principales de losas postesas recomendables en función del nivel de cargas, incluido el peso propio.

Cada uno de estos tipos, se puede dividir en subgrupos dependiendo de la utilización de vigas o no, y en caso de utilizarse, de si éstas son de canto o planas.

A su vez cada subgrupo se puede sub-dividir en función del tipo de losa (maciza con o sin capiteles/ábacos, aligerada, reticular).

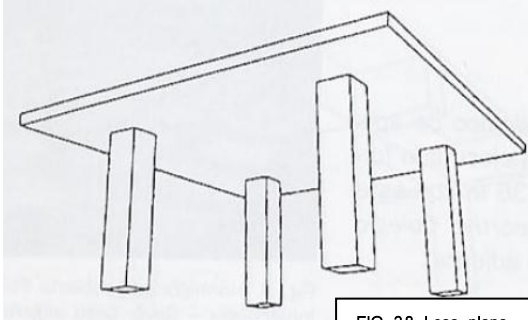
APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**• SISTEMAS BIDIRECCIONALES (2 WAY SYSTEMS)****LOSAS PLANAS:**

FIG 38 Losa plana

Rango de utilización: 7 a 11 m., para cargas ligeras a medias.

6 m. para cargas pesadas (cubiertas de aparcamiento)

Ventajas: Encofrado muy sencillo y flexibilidad en la disposición de pilares.

Puntos a considerar: A medida que aumenta la luz aparecen problemas de punzonamiento y/o congestión de armadura pasiva sobre apoyos.

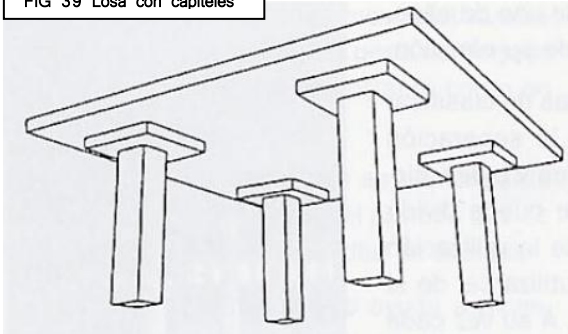
Para vanos largos tiene mucho consumo de hormigón y mayores deformaciones que otros sistemas

No es conveniente su utilización en caso de luces muy distintas en ambas direcciones, salvo que la dirección de mayor luz se haga postesada y la otra armada.

En cuanto al trazado de tendones, se puede utilizar cualquiera, siendo los más usuales los mixtos o de banda-uniforme, que proveen una mejor compensación de cargas (menor deformación en servicio).

LOSAS CON CAPITELES O ÁBACOS.

FIG 39 Losa con capiteles



Rango de utilización: Hasta 13 m. de luz para cargas medias.

Ventajas: Mejor resistencia a punzonamiento que el anterior, así como menor consumo de hormigón para vanos largos y menor congestión de armadura sobre apoyos (con ábacos).

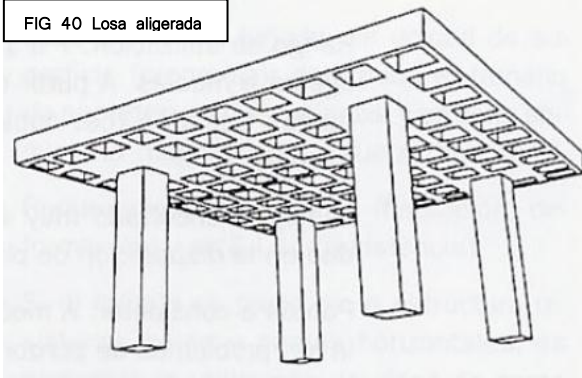
Aspectos a considerar: Los capiteles sólo aumentan la resistencia a punzonamiento, mientras que los ábacos, respetando dimensiones mínimas (dimensiones típicas: 1/3 de la luz con 1,5 a 2 veces el espesor de la losa) también aumentan la capacidad resistente frente a momentos sobre pilares.

Como principal inconveniente cuentan con una mayor complejidad y coste del encofrado.

El trazado de tendones es similar al caso anterior, siendo más adecuadas las disposiciones mixtas.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**LOSAS ALIGERADAS**

FIG 40 Losa aligerada



Rango de utilización: Mismo campo de aplicación que el anterior. Se han ejecutado forjados con luces hasta 45x36m con esta tipología.

Ventajas: Simplicidad de encofrado y flexibilidad en disposición de pilares. Menor peso propio para cubrir la misma luz o se posibilita cubrir luces mayores con el mismo peso propio.

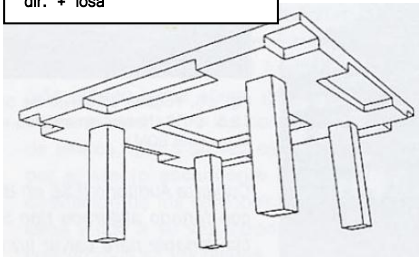
Aspectos a considerar: Mayor complicación para encofrar y armar los nervios.

En hormigón postesado es más usual tener capa de compresión inferior y superior (sección alveolar), para absorber las compresiones en vacío. Hay que cumplir requisitos mínimos de ancho de nervio, espesor de losa y recubrimiento para satisfacer las condiciones de resistencia al fuego y permitir un correcto hormigonado (nervios con armadura pasiva y activa). Los aligeramientos pueden ser de bloques perdidos de material ligero o casetones recuperables.

En este caso se utilizan trazados en planta distribuidos en ambas direcciones, y si se disponen macizamientos en las líneas de pilares, concentrando una mayor cantidad de tendones en éstos.

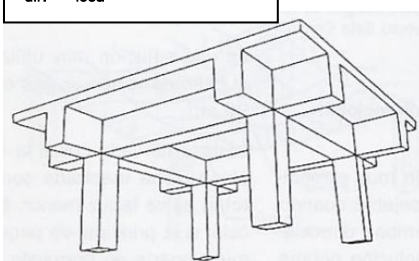
OTRAS TIPOLOGÍAS MÁS FRECUENTES:

FIG 41 Vigas planas en 2 dir. + losa



direcciones o mixta en ambas direcciones.

FIG 42 Vigas de canto en 2 dir. + losa

**Vigas planas en dos direcciones + losa:**

Se recomienda cuando las luces en ambas direcciones superan los 13-15m. y las cargas son medias a pesadas.

Su utilización no es común por el alto costo del encofrado, la mano de obra y la complicación para el tendido de las instalaciones. La disposición en planta de los tendones puede ser concentrada en ambas

Vigas de canto en dos direcciones + losa:

Igual que el anterior, pero se utiliza cuando no hay limitaciones en el canto total del forjado. El costo del encofrado es aún mayor.

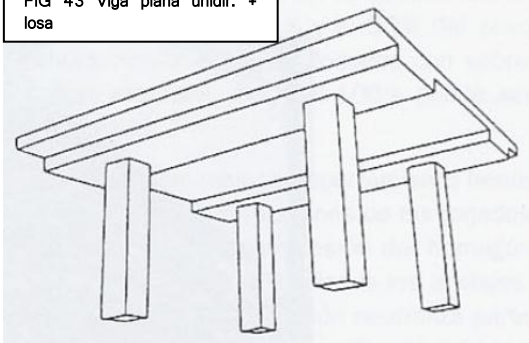
APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

La principal ventaja es que admite cargas concentradas con pequeñas deformaciones. El trazado es similar al anterior.

- **SISTEMAS UNIDIRECCIONALES (1 WAY SYSTEMS)**

VIGA PLANA UNIDIRECCIONAL + LOSA:

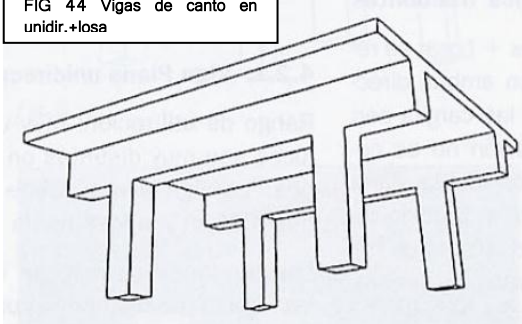
FIG 43 Viga plana unidir. + losa



Rango de utilización: muy usual cuando las luces son muy distintas en las dos direcciones. La viga plana puede cubrir luces de hasta 20m. y la losa hasta 10m. Los tendones se colocan concentrados en las vigas y se distribuyen uniformemente en la losa.

VIGA de CANTO UNIDIRECCIONAL + LOSA:

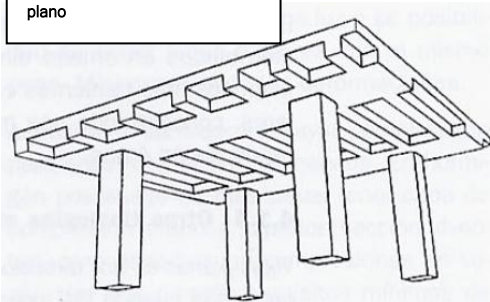
FIG 44 Vigas de canto en unidir.+losa



Rango de utilización: igual que el anterior, pero puede cubrir luces mayores y recibir grandes cargas concentradas (vigas cargadero-apeos-vigas de cuelgue). El trazado es igual al anterior.

FORJADO ALIGERADO UNIDIRECCIONAL CON FONDO**PLANO**

FIG 45 Aligerado unidir. plano



Rango de utilización: Solución muy extendida en Cataluña y muy aconsejable cuando las luces son distintas en ambas direcciones (del orden del doble). Solución óptima para luces desde 12 x 6 m. y mayores.

Es una solución muy utilizada, también, en el caso de vanos únicos con luces de 10 a 20m.

La losa nervada cubre la luz larga y la viga plana (zona macizada con el mismo canto total) salva la luz menor.

Si la luz perpendicular a la principal es pequeña, conviene dimensionarla en hormigón armado. En este caso, es más usual disponer capas de compresión inferior y superior, tipología conocida como forjado sándwich.

En esta tipología de forjado, los tendones concentrados (banda) se colocan salvando la luz menor (en el macizamiento o viga plana) y se distribuyen uniformemente en los nervios (luz mayor).

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**4.2 Elementos del postesado. Características de los materiales**

Nos referiremos ahora brevemente al material para la realización de una pieza en hormigón postesado.

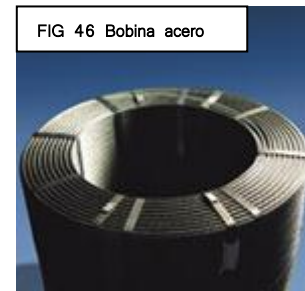
Armadura activa/pasiva
 Anclaje activo/pasivo
 Vainas
 Otros accesorios
 Hormigón
 Inyección

4.2.1 Armadura activa

Son de **acero de alta resistencia**, y sirven para introducir los esfuerzos de tesado. La EHE diferencia un total de **4 tipos** (Alambres, barras, cordones (2 ó 3 alambres) y cordones de 7 alambres).

La instrucción denomina asimismo tendón a la unidad de armadura a efectos de cálculo, esto es, al conjunto de armaduras de pretensado que se alojan en un mismo conducto.

Cabe decir que en el postesado mediante tendones no adherentes, los conceptos tendón y cordón se confunden, por utilizarse generalmente tendones con un único cordón.



La característica principal debe ser un **elevado límite elástico**. Junto a ello, necesitamos una **carga de rotura obviamente elevada**, y un **importante alargamiento de rotura**, que excluya la posibilidad de roturas frágiles. Como orden de magnitud aproximado, el acero va a trabajar:

Bajo cargas permanentes, a unos 1.200 N/mm^2

Bajo sobrecargas máximas, a unos $1.300\text{-}1.400 \text{ N/mm}^2$

Así el acero empleado como armadura activa en losas postesadas deberá satisfacer los requerimientos de la normativa vigente. La norma UNE 36098 fija las características mínimas de los materiales a emplear, sus designaciones y métodos de ensayo.

- **Características mecánicas y tecnológicas.** De acuerdo con la Normativa las características mecánicas fundamentales que se utilizan para definir la calidad del acero empleado como armadura activa son las siguientes:

a) **Diagrama tensión-deformación**

b) **Carga unitaria** máxima a tracción, fijada en $f_{p,max} \geq 1700 \text{ MPa}$.

c) **Límite elástico:** se define para este tipo de aceros como la carga unitaria correspondiente a una deformación remanente del 2%. La normativa establece un límite

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

- superior del 95% e inferior del 85% para la relación (límite elástico)/(carga de rotura).
- d) **Alargamiento remanente** concentrado en rotura: se mide sobre una base reducida que incluye la sección de rotura y secciones adyacentes. Se expresa en porcentaje
 - e) **Alargamiento bajo carga máxima**: se expresa en porcentaje y se mide sobre una longitud de muestra especificada. En el caso de alambres la muestra es de 200mm. Y 500mm. en el caso de cordones.
 - f) **Módulo de elasticidad**: se determinará a partir de los diagramas tensión/deformación y tendrá el valor garantizado por el fabricante con una tolerancia de $\pm 7\%$.
 - g) **Estricción**: viene definida como el porcentaje de pérdida de sección en la zona de rotura.
 - h) Aptitud al **doblado alternativo**: esta característica muestra la ductilidad del material. Todos los alambres soportaran sin rotura un mínimo de 3 ciclos de doblado.
 - i) **Relajación**: se define como la pérdida de tensión con el tiempo que sufre el acero bajo deformación constante, lograda aplicando un porcentaje de la carga última de rotura garantizada. Usualmente basta con definir la relajación después de 1000 horas aplicando un 70% de la carga última garantizada. Los aceros R2 se someten a un proceso de estabilización, consiguiéndose una relajación máxima (aplicando el 70% de la carga última garantizada y después de 1000horas) del 2%. Los aceros R5 tienen una relajación máxima, bajo las condiciones anteriores, del 5%.

Aunque en el pasado reciente se han utilizado armaduras activas de aún mayor capacidad mecánica, la tendencia actual opta por exasperar menos la búsqueda de propiedades mecánicas, y a trabajar con aceros de mayor resistencia a la corrosión, y menor propensión a la rotura frágil.

La fuerza es introducida en los cordones normalmente mediante un gato hidráulico.

El cordón de acero se fabrica utilizando un alambroón de acero de alto contenido en carbono, el cual se trata superficialmente, se limpia y se somete a un trefilado y estirado en frío para aumentar su resistencia a tracción. También se somete a un tratamiento termo-mecánico que le confiere propiedades más uniformes así como un mayor límite elástico, menores pérdidas por relajación y un alargamiento permanente.

Puede estar formado por 2, 3 o 7 alambres de acero. No obstante en forjados postesados se usa únicamente el cordón de 7 alambres. Éste se puede encontrar básicamente en tres diámetros: 0,5" (13 mm), 0,6" (15,2 mm.) y 0,62" (16 mm.) y debe satisfacer las especificaciones de la norma EN 10138-3

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

En la construcción en España se emplea usualmente el cordón de 15,2 mm y en ocasiones el de 16 mm mientras que el cordón de 13 mm ha quedado relegado casi exclusivamente a prefabricados.

Las **características** principales de los **cordones de 7 alambres** se resumen en la tabla de la fig 47:

Designación	Díámetro nominal [mm]	Carga unitaria máxima [N/mm ²]	Área [mm ²]	Peso [kg/m]	Carga máx [kN]
Y 1860 S7	12.90	1860	100	0.785	186.0
Y 1860 S7	15.24	1860	140	1.102	260.7
Y 1860 S7	15.70	1860	150	1.180	279.0

Su suministro a obra se efectúa mediante bobinas cuyas características se muestran en la tabla:

Tamaño	Peso (kg)	Díámetro exterior (cm)	Díámetro interior (cm)	Longitud (m)
Pequeño	1700-2100	130	76	63
Mediano	2400-2800	140	76	76
Grande	3700-4000	150	90	76

Para introducir la fuerza deseada en un cordón se deforma éste longitudinalmente mediante un gato hidráulico y se mantiene dicha deformación accionando el anclaje cuando se retira el gato. Los anclajes son dispositivos que se introducen en los extremos de los cordones y que retienen el cordón evitando su deslizamiento cuando son accionados.

El cordón, al intentar recuperar su longitud original ejerce una fuerza activa contra la estructura a través de sus anclajes y de las desviaciones de su trazado.

4.2.2 Armadura pasiva

La armadura pasiva de las losas postesadas ya sea en forma de barras ó mallas electrosoldadas será **de las mismas características que las empleadas en hormigón armado.**

El armado, salvo en las partes que enunciaremos a continuación, es similar al de un forjado de hormigón armado de la misma tipología y complementa a las armaduras activas, sobre todo en lo que respecta a los problemas de fisuración, tema delicado en el caso de losas postesadas con tendones no adherentes.

Armado de capiteles

El armado de capiteles es una de las partes más complejas de ejecución en losas postesadas de escaso canto. Esta armadura **previene el punzonamiento de la losa sobre el pilar**, acentuado por los esfuerzos del postesado.

La armadura del capitel **debe permitir el paso de los tendones:** en forjados unidireccionales, los tendones de las jácenas planas que soportan la losa, y en el

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

caso de los forjados bidireccionales, el cruce de dos familias de tendones, perpendiculares entre sí.

La concentración de armaduras de ambos tipos junto con los recubrimientos mínimos que deben respetarse hace casi imprescindible la realización de un plano que permita ver que elementos entran en conflicto.

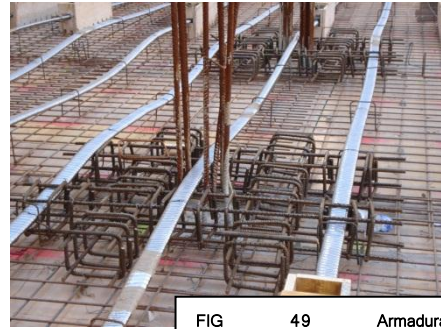


FIG 49 Armadura punzonamiento - tendones

Debe respetarse:

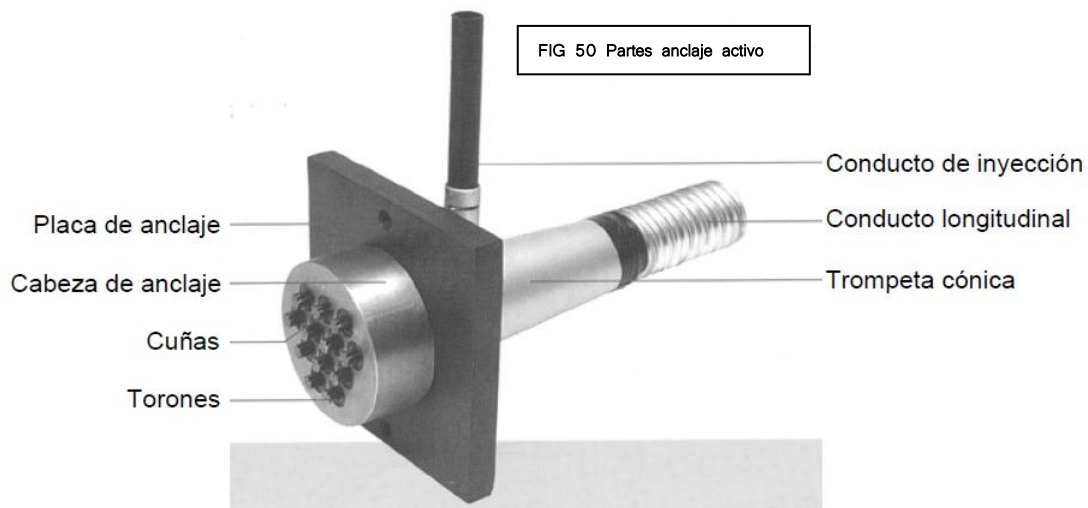
- Cuantías y geometría de la armadura pasiva.
- Trazado de los tendones de la armadura activa respetando la excentricidad necesaria.
- Recubrimientos mínimos por durabilidad y contra el fuego.

En algunos casos es preciso descolgar el capitel del forjado, solución que debe intentar evitarse para facilitar la puesta en obra.

4.2.3 Anclajes activos

Los tendones se anclarán mediante anclajes mecánicos individuales. Los anclajes son elementos **a través de los cuales se transmite al hormigón la fuerza de pretensado** concentrada en el extremo del tendón.

Los anclajes suelen consistir en placas metálicas, cuñas y elementos de protección frente a la corrosión.



El efecto de anclaje de los tendones **se consigue** en la mayoría de los casos **mediante cuñas de acero** que se disponen entre el tendón y el orificio de la placa de anclaje. Una vez el tendón se ha tesado se colocan cuñas, clavándolas ligeramente; cuando el gato de tesado suelta el cordón, éste intenta retroceder, clavando más estas cuñas que a su vez impiden el movimiento del tendón.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Estos deberán de desarrollar al menos un 96% de la carga de rotura mínima exigida para los tendones sin que se llegue a rotura ni a deslizamiento de la cuña. La máxima penetración de cuña en anclajes será de 5mm para tendones tesados al 75% de su carga máxima. El conjunto tendón-anclaje debe ser capaz de resistir ensayos estáticos y de fatiga.

Deberán tener la forma adecuada para poder aplicar sin dificultad el gato de tesado. Es aconsejable respetar las siguientes **recomendaciones**:

- Deben someterse a un **control efectivo y riguroso**
- Debe fabricarse con **regularidad industrial** tal que, dentro de un mismo tipo, sistema y tamaño, todas las piezas resulten intercambiables.
- Deben ser **capaces de absorber**, sin menoscabo para su efectividad, las **tolerancias dimensionales** establecidas para las secciones de las armaduras.
- Deben poderse **fixar de un modo eficaz al encofrado** o molde, de tal forma que no se descoloquen durante el hormigonado y vibrado de la pieza, y permitan su perfecto empalme a las vainas o conductos para evitar escapes de lechada de inyección por las juntas;
- Si se suministran ya unidos a los tendones correspondientes, deben entregarse convenientemente embalados para que no sufran daños durante su transporte, manejo en obra y almacenamiento;
- Si se suministran separados de los tendones, deben protegerse también adecuadamente para evitar que se deterioren.

En los anclajes de cuña, hay **dos variantes** posibles:

- En los sistemas **más modernos, la cuña es exterior** y está dividida en sectores, rodea el alambre o cable (Sistema Freyssinet PSC, VSL, CTT, etc). La superficie interior de la cuña suele ser entonces dentada. Existen asimismo sistemas con cuña exterior única.
- En sistemas más antiguos, **la cuña es interior**, única, y está situada en el centro, rodeada por los alambres (Sistema primitivo de Freyssinet, Barredo etc.)
- Otro de los tipos utilizados es el anclaje por medio de cabezas recalcadas, en frío o en caliente, en los extremos de los alambres, que transmiten la fuerza de pretensado al hormigón a través de una pieza perforada de apoyo (Sistemas BBR, Prescon, PZ etc.)

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**4.2.4 Anclaje pasivo**

Los anclajes pasivos son los que se sitúan en el extremo de las armaduras activas por el que no se realiza el tesado.

Los anclajes de postesado **concentran su fuerza en una zona reducida de hormigón que es preciso reforzar recurriendo a dos mecanismos.**

- Confinando el hormigón tras el anclaje en una jaula de armadura pasiva que permite aumentar sus prestaciones
- Mediante una serie de cercos transversales que absorben las tracciones perpendiculares al eje.

La mayoría de sistemas de postesado informan sobre la cuantía y disposición de dicha armadura de refuerzo. No obstante, aunque en los anclajes para forjados postesados esa armadura de refuerzo **se resuelve con barras de diámetro entre 8 y 12 mm**, se debe simplificar dicha armadura combinándola con la de la propia losa en aras a facilitar su colocación.



Es importante comprobar en obra la existencia de dicha armadura, su profundidad y la separación del anclaje.

En algunos catálogos de fabricantes de sistemas se indica una separación mínima entre anclajes.

Esas separaciones normalmente obedecen a la utilización de anclajes aislados en contornos predeterminados. Los anclajes pueden juntarse hasta tocarse

entre sí, si se estudia la zona y se arma convenientemente.

Pueden ser inaccesibles o accesibles según se realice el hormigonado del anclaje antes o después del tesado del tendón.

En general los anclajes pasivos pueden clasificarse en **tres grupos**:

- **Anclajes pasivos por adherencia:** en ellos la fuerza del pretensado se transmite al hormigón por la adherencia entre éste y los elementos del tendón en él embebidos. Los anclajes por adherencia se calculan de forma que no haya deslizamiento del tendón; cuando se desea disminuir la longitud de anclaje, se da a las armaduras formas en espiral u onduladas para aumentar su adherencia con el hormigón. Según la EHE, cuando se emplean exclusivamente los anclajes por adherencia, no pueden utilizarse aditivos aireantes.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

- **Anclajes pasivos semiadherentes:** en ellos, parte de la fuerza se transmite por adherencia y el resto por apoyo directo del anclaje sobre el hormigón.
- **Anclajes pasivos no adherentes:** en ellos, toda la fuerza de pretensado se transmite por apoyo directo de anclaje, igual que en los anclajes activos. Para utilizar este último tipo, debe efectuarse un preclavado de las cuñas con una fuerza superior a la que van a soportar cuando el anclaje entre en carga; la operación de preclavado debe realizarse cuidadosamente para evitar el deslizamiento posterior de los tendones durante el tesado.

Los dos primeros tipos –anclajes por adherencia o semiadherentes– son más económicos que los no adherentes, pero tienen el inconveniente de que exigen una cierta longitud para la transmisión de toda la fuerza de pretensado al hormigón, por lo que en el extremo de la pieza existe una determinada longitud a lo largo de la cual el pretensado no es totalmente efectivo.

La utilización de anclajes pasivos inaccesibles en tendones largos (a partir de unos 20m.) debe estudiarse cuidadosamente, puesto que algunos inconvenientes que pueden producirse durante la obra, como rotura de una armadura o vaina, o rozamientos superiores a los previstos, tienen difícil solución con estos anclajes, ya que no permite la sustitución fácil de los tendones.

En cualquier caso, la disposición dada a los anclajes pasivos deberá ser aprobada por la dirección de obra; y cuando su eficacia no se justifique mediante el cálculo, antes de proceder a su aprobación deberán realizarse los adecuados ensayos para comprobar su comportamiento en las condiciones de utilización.

Por su importancia describimos a continuación el mecanismo de adherencia que opera en los anclajes pasivos.

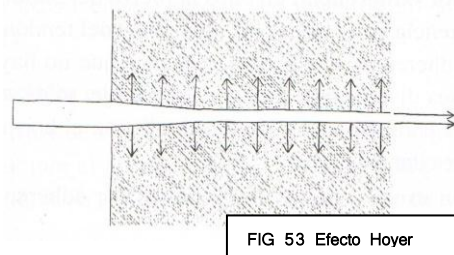


FIG 53 Efecto Hoyer

Hoyer fue el primero en señalar el fenómeno que en su honor se denominaría efecto Hoyer: al liberar los alambres de los anclajes del banco, aumenta su diámetro en los extremos a causa de la desaparición de la constricción transversal, puesto que la fuerza de pretensado debe anularse en el extremo del alambre.

Distinguiremos en el fenómeno descrito dos componentes:

- **Transferencia de la fuerza de pretensado del acero al hormigón, por medio de la adherencia.** Dentro de la adherencia, diferenciaremos adherencia pura y resistencia de rozamiento y cizallamiento. La distribución aproximada de la tensión de adherencia se representa según la fig. En el punto en que $\tau = 0$ se hace $\sigma_z = \sigma_{zV} = \text{cte.}$

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

La longitud hasta tal punto recibe el nombre de **longitud de anclaje**. Dependerá del grado de adherencia y de la presión transversal, condicionada por la forma de la pieza y la armadura transversal del hormigón.

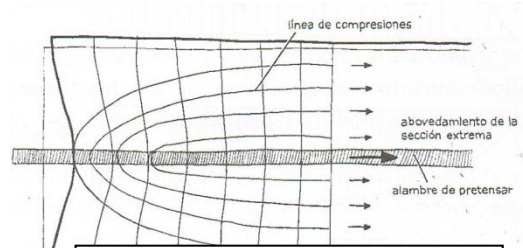


FIG 54 Líneas isostáticas en la zona de anclaje

Hoyer propone una fórmula para el cálculo de la longitud de anclaje, así también la EHE propone fórmulas para ello.

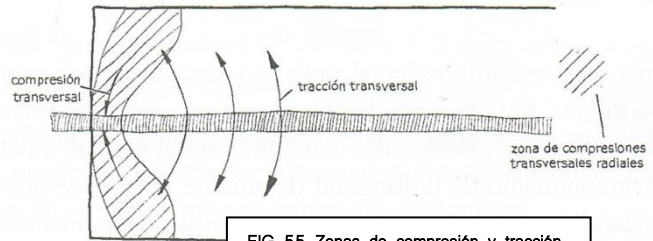


FIG 55 Zonas de compresión y tracción

- **Reparto de la fuerza de pretensado sobre toda la sección de hormigón.** La longitud de introducción es la longitud necesaria para que la distribución de tensiones en la sección de hormigón se haga lineal.

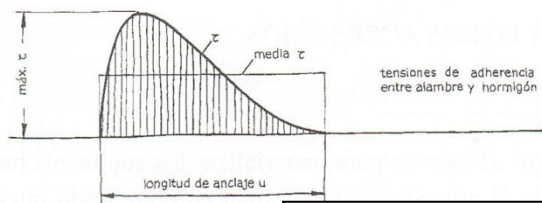


FIG 56 Longitud de anclaje y tensión de adherencia

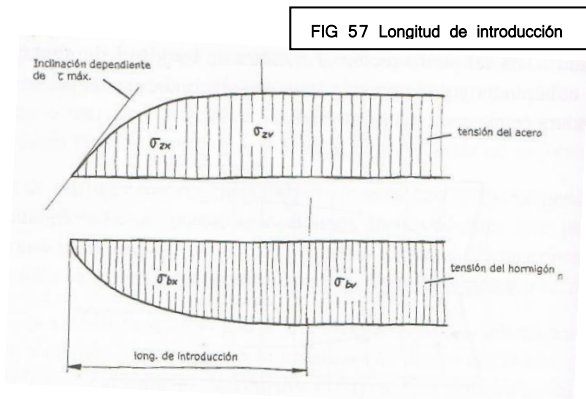


FIG 57 Longitud de introducción

Con independencia de lo dicho, es necesario recordar que **a causa de la adherencia se introducen compresiones en el hormigón que traen como consecuencia el abovedamiento de la sección final.**

Desgraciadamente, **la presión transversal radial va desapareciendo con el tiempo a causa de la fluencia del hormigón.** Si la tensión de adherencia es, debido al rozamiento, mayor que la resistencia de adherencia pura, puede ceder la unión hormigón-acero en el extremo del alambre, con el consiguiente aumento de la longitud de anclaje. Ello hace que en estos casos los anclajes basados únicamente en la adherencia pura no sean suficientemente seguros, sobre todo en el caso de cargas cíclicas y piezas cortas.

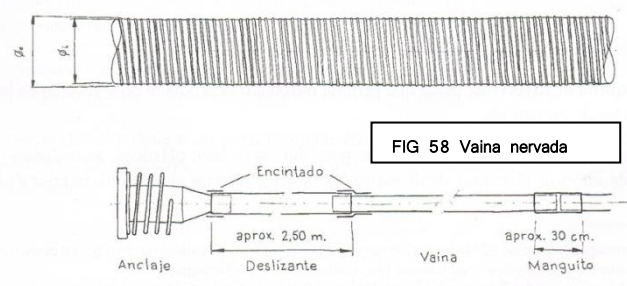
Debido a esto, Hoyer onduló inicialmente sus alambres entre ruedas dentadas. El ondulado aumenta la resistencia al deslizamiento, pero tiene el **inconveniente de disminuir la tensión de rotura del alambre.**

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Más tarde, los alambres lisos fueron abandonados por completo, desarrollándose los alambres de superficies rugosa o corrugada. Con ello se consigue crear una resistencia adicional por cizallamiento.

4.2.5 Vainas

Las vainas sirven para materializar los **conductos por los que discurren las armaduras activas**. Según el procedimiento del postesado, se disponen antes del hormigonado, siguiendo el trazado de los tendones, vainas **metálicas o plásticas** de un espesor que varía entre 0,2 y 1,5 mm.



La vaina en los cordones no adherentes es su propia funda de plástico. Funda que no se adhiere al cordón debido a la grasa que

cubre su hueco interior y que tiene una adherencia pobre contra el hormigón debido a su superficie lisa. Suele ser de polietileno de alta densidad o de otro material plástico no corrosivo. Por otro lado la capa de grasa que se introduce entre la vaina y el cordón tiene un carácter protector frente a la corrosión.

Las **características exigibles** a las vainas son las siguientes:

- **Estanqueidad** durante el hormigonado y la inyección. Una vaina no estanca puede verse obstruida por filtraciones de cemento, con extremo perjuicio.
- **Resistencia transversal al aplastamiento**, deformaciones por golpes, efectos de vibrado y casos similares (desengatillado, por ejemplo).



Las vainas pueden ser lisas, pero es mucho más ventajoso emplear modelos que presenten **nervaduras anulares**, como las de la Fig.56

Tales nervaduras **umentan su rigidez transversal**, reduciendo el riesgo de aplastamiento total o parcial de la vaina. En el mejor de los casos, este aplastamiento aumentaría las pérdidas por rozamiento; en el peor, podría llegar a bloquear

el conducto, produciendo graves inconvenientes.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

- **Flexibilidad longitudinal** que les permita adaptarse fácilmente al trazado definido en el proyecto. Debe ser suficiente para seguir sin dificultad los trazados curvos.

Ambas características, rigidez transversal y flexibilidad longitudinal, se conjugan en la vaina metálica habitual, constituida por una hoja nervada enrollada helicoidalmente (flejes helicoidales).

- **Posibilidad de empalme/acoplamiento:**



Para efectuar con facilidad empalmes y uniones entre vainas que permitan alcanzar cualquier longitud sin pérdida de las demás características. Normalmente, se refuerza la estanqueidad del empalme con cinta adhesiva.

Para conseguir su acoplamiento estanco con los elementos de anclaje. Igualmente, se refuerza la estanqueidad del acoplamiento

con masillas selladoras.

- Adherencia (externa) al hormigón y a la lechada de inyección (interna).

4.2.6 Otros accesorios

Los accesorios complementarios más utilizados son:

Tubo de purga (o purgador, o respiradero): se trata de tubos que comunican los conductos de pretensado con el exterior. Se coloca:

- en los puntos altos del trazado, para evacuar el aire
- en los puntos bajos, para evacuar el agua
- y en los puntos singulares.

Permite seguir paso a paso el avance de la inyección.

Boquilla de inyección: pieza que permite introducir el producto de inyección en los conductos de pretensado.

Separadores: cilindros de acero de poca dureza (o bien plásticos, a condición de que estén libres de cloruros), de diámetro ligeramente inferior al diámetro interior de la vaina, con perforaciones longitudinales distribuidas regularmente, por las que pasarán los alambres. Los contornos de entrada y salida de estas perforaciones se encuentran oportunamente redondeados, para evitar las

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

fuertes concentraciones de tensiones que se producirían en una entalladura angulosa.

Se emplean para introducir varios alambres en una misma vaina (especialmente si el trazado presenta curvaturas de diverso signo) con el doble fin de :

- distribuir los cables uniformemente en el interior de la vaina, y
- disminuir en lo posible el rozamiento.

Trompeta de empalme: pieza generalmente troncocónica que conecta la placa de reparto con la vaina. En algunos sistemas, está integrada con la misma placa de reparto.

Tubo matriz: tubo (generalmente de polietileno de alta densidad) de diámetro exterior algo inferior al diámetro interior de la vaina, que se dispone para asegurar la suavidad del trazado.

Sillas o pates: Las sillas son el elemento que permiten amarrar un cordón ó tendón a una distancia determinada del fondo del encofrado.

Estas sillas pueden ser de plástico o de acero con separadores plásticos en sus patas, o bien pueden realizarse en obra con ferralla.

4.2.7 Hormigón

El hormigón empleado en las obras de hormigón postesado es un material totalmente análogo al normalmente utilizado en la técnica del hormigón armado

Vamos a necesitar **mayores resistencias** que cuando trabajamos el hormigón armado, ya que con el pretensado sometemos habitualmente al hormigón a compresiones mucho más elevadas. Se aconseja trabajar con hormigones de **resistencia igual o superior a 35 MPa**.

Más específicamente, en las estructuras de hormigón pretensado, resultará deseable que el hormigón empleado presente **dos propiedades mecánicas** concretas:

- Por una parte, que **alcance rápidamente altas resistencias**, para que las zonas que posteriormente serán traccionadas puedan soportar muy pronto altas compresiones;
- Por otra, que el **módulo elástico sea elevado** en el momento de introducir el pretensado, para reducir las deformaciones, y las pérdidas de tensión de las armaduras que éstas provoca.

La mayor resistencia exigida al hormigón **produce, en general, ventajas económicas considerables para el hormigón postesado**. Eso se debe al aprovechamiento total que hacemos de la sección; en hormigón armado, por el contrario, la influencia de la mejor calidad del hormigón no tiene consecuencias prácticas en toda la zona traccionada, por lo que carece de sentido económico sobrepasar una determinada resistencia característica para piezas de hormigón armado en flexión.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Según la instrucción EHE éstas son las diferencias específicas que impone cuando el hormigón destinado a estructuras es para pretensado:

- **Se limitan los contenidos de cloruros** en todos los ámbitos (agua, áridos, cemento, aditivos) aceptándose en total, como máximo, un 0,2% del peso del cemento, y específicamente:

Para el agua: $\text{lón Cl}^- \leq 1$ gr. por litro.

Para los áridos: $\text{lón Cl}^- \leq 0,03\%$ del peso total de la muestra de árido seco.

- El empleo de **aditivos** está sometido a un **control mucho más riguroso** que cuando tratamos con hormigón armado.
- El **empleo de adiciones no está autorizado**, salvo para el humo de sílice. Cuando se emplee éste, **el contenido de cemento mínimo será de 275 Kg/m³**.

El peligro de corrosión de las armaduras activas nos obliga a tomar estas precauciones suplementarias.

4.2.8 Inyección

La finalidad principal de la inyección es **mejorar la protección contra la corrosión de las armaduras activas**.

Los productos de inyección **pueden ser adherentes o no**, en función de si se desea asegurar la adherencia de dichas armaduras al hormigón de la pieza.

La instrucción EHE trata separadamente tanto los productos de inyección, como la operación misma de inyección, como el control de ambos.

Productos adherentes; el establecimiento de la adherencia entre armaduras activas y hormigón **proporciona una distribución más uniforme de las eventuales fisuras y mejora la resistencia a rotura de las piezas sometidas a flexión**.

Generalmente se emplean:

- **Lechadas de cemento**, en la mayor parte de los casos, y especialmente con vainas de gran longitud, y elevadas cuantías de armadura activa.
- **Morteros de cemento**, si la sección de los conductos es excepcionalmente grande ($\varnothing > 15\text{cm.}$), y especialmente con bajas cuantías, trayectos cortos y poco curvados. Su relación arena/cemento, en peso, no debe superar el 30%.

En condiciones normales, **no se recomienda la utilización de morteros, porque su inyección es más difícil**: aumenta el riesgo de formación de tapones en los conductos mientras se inyecta, aunque la retracción disminuya.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Los áridos deben ser granulares (si es posible, rodados), silíceos o calcáreos, exentos de iones ácidos y de partículas laminares. Su granulometría debe ser la más continua posible.

Las **características exigibles** en ambos casos son las siguientes:

- Para los **materiales de base**:

Cemento Portland, **tipo CEM I**.

Agua rigurosamente no ácida ($\text{pH} \geq 7$)

Aditivos exentos de cloruros, sulfuros, nitratos etc:

Los agentes expansivos, utilizados con suma prudencia, favorecen la resistencia a la helada.

Se suelen emplear también aditivos plastificantes.

Están **terminantemente proscritos los aceleradores de fraguado** que contengan cloruros – en especial el Cl_2Ca –, así como cualquier aditivo no sancionado por la experiencia;

Mínima relación agua/cemento compatible con el objetivo de fluidez: para una mezcla pura, la relación idónea varía entre 0,38 y 0,43. En climas fríos, se debe reducir al mínimo, para mejorar la resistencia a la helada. Para conductos o vainas verticales debe ser algo mayor que si son horizontales;

La **composición de la inyección depende de la longitud de los conductos a inyectar** de su trazado, de la naturaleza de sus paredes, y de la cuantía de armaduras.

- Para la **lechada o mortero resultante**:

Ante todo, **fluidez** suficiente en el momento de la operación.

Estabilidad volumétrica:

Exudación $\leq 2\%$ salvo excepciones

Retracción $\leq 3\%$ (que influye, en climas fríos, sobre la resistencia a la helada)

Expansión volumétrica $\leq 10\%$

Resistencia a compresión $f_{ck} \geq 30\text{N/mm}^2$, que es necesaria para la adherencia.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**4.3 Criterios de proyecto. Criterios generales de dimensionamiento.**

El planteamiento del proyecto de una losa postesadas se puede esquematizar según las siguientes fases:

Información previa:

- **Dimensiones del edificio**, acciones a considerar, materiales a utilizar
- **Criterios de seguridad** (resistencia mecánica, resistencia al fuego, ductilidad, etc)
- **Criterios de funcionalidad** (limitación de flechas y vibraciones, aislamientos térmico y acústico)
- **Criterios de durabilidad** (vida útil, protección frente a corrosión, recubrimientos, etc)
- **Criterios estéticos** (hormigón visto, tipo de encofrado, acabados, etc)
- **Condicionantes geométricos** (canto máximo, posibilidad o no de disponer capiteles, dimensiones máximas de pilares, luces deseables, tolerancias).
- **Condicionantes económicos** y de plazo de construcción.

Definición de la geometría en planta:

Situación de pilares, huecos, juntas, elementos verticales rígidos, etc.

Definición del tipo de losa:

Losa maciza, nervada, reticular, con o sin capiteles, con o sin vigas...

Predimensionamiento geométrico:

Disposición de tendones en planta y sobre la porción de carga vertical a compensar con el pretensado.

Definición del trazado en alzado:

Determinación preliminar de la fuerza de pretensado mediante el método de compensación de cargas. Adopción de una tensión efectiva de trabajo de los tendones que incluya de forma aproximada las pérdidas totales del pretensado.

Verificación preliminar del predimensionado:

Estimación de la precompresión media, evaluación de la dificultad de ubicación física de los tendones en zonas de apoyo, en nervios y en anclajes, estimación de la carga axial en pilares.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN***Cálculo estructural***

- Hipótesis de carga y combinación de acciones. Evaluación de las cargas de pretensado.
- Obtención y redistribución de esfuerzos. Efectos estructurales de las deformaciones impuestas.
- Efectos del proceso constructivo previsto. Cálculo y armado de pilares.

Verificación de tensiones en servicio en el hormigón:

- Cálculo de pérdidas instantáneas y diferidas
- Cálculo de tensiones en vacío y en servicio en las secciones críticas

Verificación de estados límites últimos: flexión, cortante, punzonamiento:

Obtención de armadura pasiva por razones de seguridad

Verificación de estados límites de servicio:

- Verificación de la deformabilidad y fisuración
- Obtención de armadura pasiva y verificación de cuantías mínimas.

Disposición general de armaduras activas y pasivas:

- Mallas electrosoldadas y armaduras en barras a disponer en vano y en apoyos.
- Longitudes de anclajes, solapes, empalmes.
- Zonas de soportes.
- Encuentros y puntos de apoyo de tendones.

Diseño de detalle:

- Zonas de anclaje. Anclajes activos y pasivos. Comprobación de tensiones en el hormigón.
- Cálculo y disposición de la armadura transversal.
- Disposición de acopladores.
- Juntas de construcción
- Zunchos de borde, armaduras junto a huecos, conexión de elementos prefabricados.

Definición del tesado:

- Instante y orden del tesado. Tensión y control de la fuerza. Alargamientos previstos.

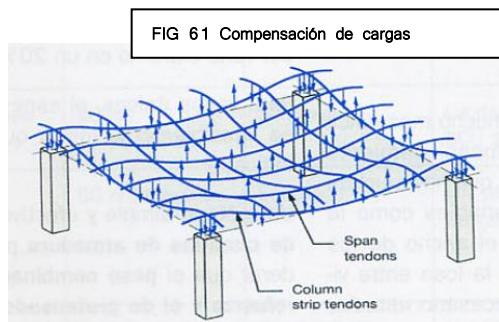
APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN***Protección frente al fuego y a la corrosión y otros aspectos del proyecto:***

Definición de materiales y técnicas de protección. Comprobaciones adicionales. Acabados.

Predimensionado

Una losa postesada es más esbelta para una cierta carga y limitación de su deflexión que una de hormigón armado. Esto es principalmente debido al efecto de las cargas equivalentes generadas por el trazado curvo de los cordones de postesado.

El **método de compensación de cargas** puede ser utilizado para obtener un **predimensionamiento rápido** de la fuerza de pretensado, sin que ello excluya las necesarias comprobaciones en los estados límites de servicio y último.



En el tramo de la figura 58, las cargas equivalentes actúan sobre el hormigón oponiéndose a las cargas gravitatorias. Donde la curvatura de los cordones se invierte (sobre la línea de pilares) las fuerzas de desviación actúan hacia abajo, generando cargas concentradas sobre los cordones de la faja de pilares, que a su vez están equilibradas por el efecto ascendente de la fuerza de desviación de los cordones de la faja de pilares y que a su vez introducen una fuerza concentrada en los pilares.

El sistema indicado en la figura puede ser comparado con una red dispuesta entre los pilares. Cuando esta red es estirada desde todo el contorno introduce las cargas equivalentes sobre el hormigón.

Como primera valoración, la cantidad de acero de postesado puede ser estimada con la condición que los tendones provean suficiente carga de desvío para equilibrar un cierto porcentaje del peso propio del forjado. Este porcentaje del peso propio depende de la relación entre el peso propio, la carga permanente adicional y la sobrecarga de uso y está típicamente entre el 70% y el 130% del peso propio.

Para edificios de oficinas con sobrecargas de uso del orden de 4KN/m² más 1KN/m² de carga permanente adicional, la compensación suele ser entre el 70% y el 90% del peso propio, mientras que en forjados con sobrecargas elevadas, más del 100% puede ser equilibrado.

Si se utiliza el **método directo** de cálculo de esfuerzos (debe darse una distribución sensiblemente ortogonal de soportes), el trazado y fuerza de pretensado deberá ser capaz de introducir unas fuerzas equivalentes que contrarresten un gran porcentaje de las cargas permanentes

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

En la banda de soportes de un vano intermedio de una losa, en la que las condiciones geométricas permiten poder aplicar el método directo de cálculo de momentos flectores, el **momento isostático debido a las acciones exteriores a compensar con el pretensado** vendría dado por:

$$M_{ext} = (0,6 \cdot 0,35 + 0,65 \cdot 0,75) \cdot \frac{(g_d + \alpha \cdot q_d) \cdot l_p l_1^2}{8}$$

donde α es el porcentaje de sobrecarga que se puede considerar permanente y que dependerá del tipo de edificio (por ejemplo en un archivo, gran parte de la sobrecarga se puede considerar permanente).

Llamando δ a la cuerda del trazado parabólico del pretensado en el centro de vano, el momento isostático disponible para compensar el M_{ext} es:

$$M = p \cdot \delta$$

Igualando $M = M_{ext}$ se obtiene una relación para poder estimar δ (trazado) y P (pretensado necesario).

El valor de δ se intenta fijar máximo en función del canto de la losa y los recubrimientos a respetar. De ahí se puede obtener P y por tanto los tendones o cordones a disponer en la banda de soportes de la losa.

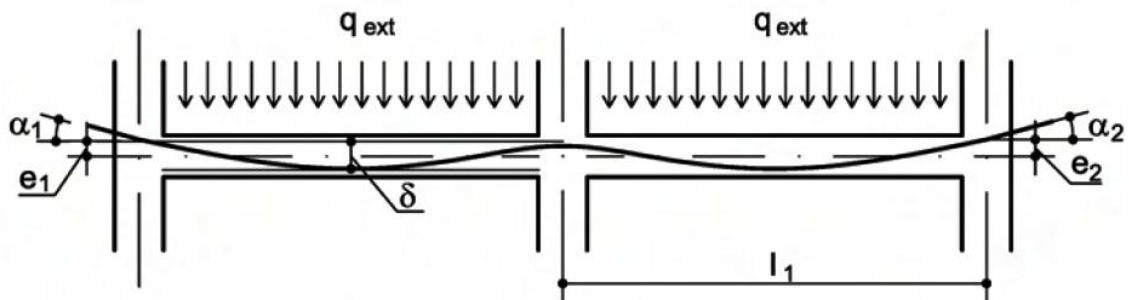
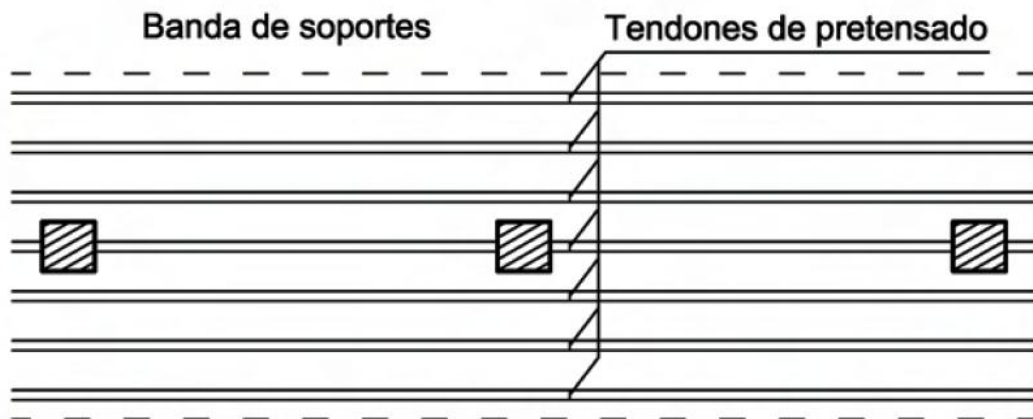


FIG 62 Disposición de los tendones



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN*Comprobación en ELU*

Una vez obtenidos los esfuerzos, las **comprobaciones** en Estados Límites Últimos son las siguientes:

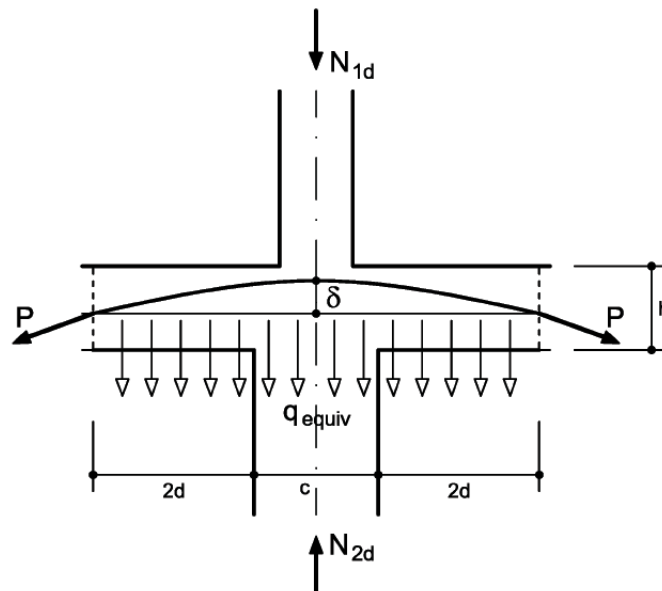
- **Flexión:** En esta comprobación entran todas las cargas. La contribución a la resistencia a flexión de los tendones no adherentes puede obviarse del lado de la seguridad o bien estimarse teniendo en cuenta la deformación en rotura de la placa.
- **Cortante:** se utilizará la fórmula correspondiente a losas sin armadura transversal, contando con la compresión introducida por el pretensado y considerando el esfuerzo cortante efectivo.
- **Punzonamiento:** Es posible reducir el esfuerzo efectivo de punzonamiento F_{1d} restando las fuerzas equivalentes de pretensado dentro del área comprendida en el perímetro crítico.

Ejemplo

Sea la zona de soportes de una losa postesada de forjado. Por el pilar superior baja una carga de $N_{1d} = 675$ kN y por el inferior el axil es $N_{2d} = 1012,5$ kN ; por lo tanto el esfuerzo F_{0d} a considerar en el punzonamiento sería :

$$N_{2d} - N_{1d} = 387,5 \text{ kN} .$$

Pero dicho esfuerzo se ve reducido por la acción vertical del pretensado:



En una de las direcciones principales (en el plano de la figura) el pilar de la planta inferior tiene un ancho c , y en la dirección perpendicular de c' . Las

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

fuerzas verticales equivalentes de pretensado que están incluidas dentro del área definida por el perímetro crítico u_1 , reducen la acción de F_{sd} .

En la dirección del plano de la figura pasan dentro de dicho perímetro 4 tendones, cada uno con una fuerza p de pretensado, con lo que la fuerza en esa dirección es $P = 4p$. Lo mismo en el plano ortogonal.

Las cargas equivalentes en el plano de la figura son:

$$q = \frac{2 \cdot P}{L} \cdot \frac{\delta}{L/4} = \frac{8 \cdot P \cdot \delta}{L^2} = \frac{8 \cdot P \cdot \delta}{(c + 4d)^2}$$

Luego la componente total de pretensado que se puede restar a F_{sd} es:

$$\left(\frac{8 \cdot P \cdot \delta}{(c + 4d)^2} + \frac{8 \cdot P' \cdot \delta'}{(c' + 4d')^2} \right) \cdot (c + 4d) \cdot (c' + 4d') = F_{pret}$$

Así el esfuerzo de punzonamiento efectivo será:

$$F_{1d} = F_{sd,ef} = \beta \cdot (F_{sd} - F_{pret})$$

Comprobación en Estados Límites de Servicio

Las comprobaciones en Estados Límites de Servicio (E.L.S.) son las siguientes:

- **Fisuración:** Al tratarse de una **estructura comprimida por el armado activo**, las tracciones que se desarrollan en el hormigón son muy contenidas, superando muy pocas zonas la capacidad a tracción del material. Esta situación hace que la **fisuración esté muy limitada**, concretamente las zonas de máximo momento negativo sobre pilares. En dichas zonas existe una cuantía de armadura pasiva suficiente para controlar la fisuración.

- **Deformación:** Respecto a las deformaciones se puede comprobar que son muy contenidas, **siendo las flechas máximas elásticas inferiores a 4,5 mm (L/1500)**.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

4.4 Condiciones adicionales de diseño. Protección y fisuración

4.4.1 Protección frente al fuego: Recubrimientos.

En este punto se presentan las **recomendaciones expuestas por la ACI 423[A2]**, basadas en estudios experimentales con losas postesadas con tendones no adherentes, que actualizan aquellas expuestas en las recomendaciones HP9-96 [A3].

Esta norma hace una primera clasificación de las losas en aquellas en que la expansión térmica queda restringida y en aquéllas en las que no. No obstante se indica que prácticamente todas las construcciones hormigonadas in situ pueden ser consideradas restringidas.

Según esta norma, para satisfacer los requisitos mínimos sobre transmisión de calor (aumento de temperatura de 140 °C en la superficie no expuesta) el espesor requerido para las losas de hormigón debería ser el mismo ya sea la losa simple, armada o pretensada. La tabla indica los espesores de losa recomendados para este propósito.

FIG 63 Espesor de losa-agregados-resistencias

Espesor de la losa (mm)					
Tipo de agregados	1h	1 ½ h	2h	3h	4h
Carbonatos	80	105	115	145	165
Silíceos	90	105	125	155	175
Livianos	65	80	95	115	130

Ensayos de resistencia al fuego realizados indican por otro lado que las losas con armadura postesada se comportan aproximadamente de la misma manera que las losas de hormigón armado de iguales dimensiones. En consecuencia, **el recubrimiento de hormigón sobre los cables de postesado de las losas podría ser básicamente igual al recubrimiento utilizado sobre el acero de las armaduras de las losas.** Aplicando estos criterios a las losas pretensadas, en la Tabla se indican espesores de recubrimiento recomendados.

FIG 64 Espesores del recubrimiento

Restringida o no restringida	Tipo de agregados	Espesor del recubrimiento (mm)				
		1h	1 ½ h	2h	3h	4h
No restringida	Carbonatos	20	30	35	50	-
No restringida	Silíceos	20	35	40	55	-
No restringida	Livianos	20	25	35	40	-
Restringida	Carbonatos	20	20	20	25	35
Restringida	Silíceos	20	20	20	25	35
Restringida	Livianos	20	20	20	20	25

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

En un anclaje, el recubrimiento de hormigón sobre el acero de pretensado debería ser como mínimo 6 mm mayor que el requerido en la zona alejada del anclaje. El recubrimiento mínimo sobre la placa de apoyo o soporte del anclaje debería ser de 20 mm en las losas.

4.4.2 Fisuración

El efecto del pretensado asegura por si mismo una mayor durabilidad de la obra al restringir la fisuración. Además, la armadura activa se haya protegida de la corrosión bien mediante una capa de grasa envuelta en forro de plástico (para el caso de tendones no adherentes) o mediante la lechada de cemento inyectada en el caso de tendones adherentes. **Por ello, las losas postesas se hallan en general en condiciones muy favorables ante la durabilidad.**

No obstante bajo cargas frecuentes, algunas zonas, especialmente las de momentos negativos, fisuran en condiciones de servicio. **Por ello es necesario disponer armadura pasiva para controlar y repartir esta fisuración.**

Las cuantías de armadura pasiva obtenidas con criterios de seguridad a flexión, siempre que superen las cuantías mínimas pueden resolver satisfactoriamente el control de la fisuración. No obstante, si se desea comprobar el ancho de la fisura, se puede utilizar el método propuesto por la Normativa española (EHE)

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**4.5 Productos comerciales**

Actualmente las distintas marcas comerciales presentes en el mercado **ofrecen todas las fases de que consta la ejecución** de cualquier elemento postesado; desde el diseño de la pieza arquitectónica, pasando por la producción y suministro de los distintos materiales y herramientas, y finalmente ofreciendo la instalación de los distintos sistemas de postesado.

Los distintos sistemas de postesado que existen actualmente en el mercado, tienen como objetivos principales ofrecer **productos que garanticen la transmisión y anclaje de las fuerzas de pretensado y la durabilidad** de los mismos durante toda la vida de servicio de la estructura.

En general **los sistemas integrales** de postesado **se caracterizan** fundamentalmente por los siguiente:

- Pre-estudio de cuantías y cantos de los forjados.
- Suministro de materiales de postesado adecuados a las necesidades del cliente.
- Posibilidad de realización del proyecto ejecutivo del forjado.
- Asistencia Técnica en fase de proyecto y durante la ejecución.
- Amplia gama de anclajes activos, pasivos, intermedios y de empalme.
- Empleo de tendones no adherentes o adherentes en vaina plana metálica o plástica.
- Protección anticorrosiva mediante inyección de lechada de cemento, grasas o ceras.
- Equipos de tesado unitario ligeros con clavado automático de cuñas.
- Diseños especiales para obras y detalles singulares.
- Prestación de técnicos y equipos para la instalación del postesado.

Así, la totalidad de las firmas ofrecen la **certificación de la calidad** mediante los distintos mecanismos existentes entre los que se encuentra la **norma ISO 9001:2000** que aparecen implantadas en las mismas.

Se exponen a continuación las empresas más importantes que ofrecen los servicios de suministro e instalación de sistemas de postesado para edificación.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**4.5.1 Freyssinet**

El Grupo Freyssinet fue creado en 1943 bajo el nombre de *Société Technique pour l'Utilisation de la Précontrainte (STUP)* por **Eugene Freyssinet**, inventor de la técnica que lleva tal nombre. Actualmente está presente en más de 50 países a través de más de 70 agencias, y desarrolla su actividad en España desde 1967.

Desde que Eugène Freyssinet estableciera la primera teoría del hormigón pretensado en 1932, el pretensado se ha consolidado como una técnica básica en la construcción. La calidad, durabilidad y flexibilidad del sistema Freyssinet han convertido a Freyssinet S.A. durante los últimos 50 años en la referencia para hacer frente a los requisitos de la moderna ingeniería civil.

Así, el sistema Freyssinet ha sido aplicado en España en todo tipo de puentes y viaductos, central nucleares y tanques de gas natural, plataformas off-shore, edificios en altura, cimentaciones, centros comerciales, parkings, instalaciones industriales, etc.

FREYSSINET S.A. interviene en los proyectos como contratista principal o como empresa especializada. En todos los campos en que participa ofrece un servicio integral que incluye:

- Ingeniería: estudios de diseño, viabilidad, procedimientos y métodos
- Fabricación de los productos y suministro
- Ejecución de los trabajos y/o asistencia técnica

Participa en la **reparación, rehabilitación y restauración** de todo tipo de estructuras: puentes, bienes inmuebles histórico-artísticos y edificaciones singulares, tanques y centrales nucleares, edificios, recintos deportivos, obras de arte, etc.

- Pretensado, aplicado en puentes, viaductos, tanques de GNL, centrales nucleares y losas postesadas en edificación.
- Tirantes estructurales
- Equipamiento y elementos auxiliares:
 - Anclajes al terreno y pernos de roca
 - Barras de pretensado
 - Juntas de calzada
 - Apoyos elastoméricos, esféricos y tipo pot
 - Dispositivos sísmicos
- Métodos de construcción. empuje, giro, lanzamiento, izado, desapeo controlado, instrumentación, monitorización, etc de estructuras.

Además el GRUPO FREYSSINET a través de las marcas **Tierra Armada y Ménard Soltraitemet** cuenta con una gama completa de soluciones para las cimentaciones, la contención y la mejora de los suelos.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN*Políticas de seguridad y calidad*

El lema **«Sustainable technology»** refleja la voluntad de Freyssinet S.A. de ofrecer a sus clientes soluciones duraderas, de calidad y respetuosas con el medio ambiente, en un entorno de trabajo para su personal en el que la seguridad y el control de los riesgos estén presentes en todo momento.

Con el compromiso de desarrollar, implementar y realizar una mejora continua de las actividades que Freyssinet S.A. realiza, toda la organización está comprometida con el sistema de gestión de la Calidad y Medio Ambiente, reconocido con los certificados de AENOR e IQNet de Calidad ISO 9001:2008 y Gestión Ambiental ISO 14001:2004.

El sistema se rige bajo los siguientes principios:

- Superar los compromisos de la calidad con el cliente y respeto con el medio ambiente
- Profesionalidad en la ejecución de obras: cumplimiento de los requisitos del cliente minimizando los impactos negativos sobre el medio ambiente.
- Gestión orientada hacia las actuaciones preventivas más que hacia la corrección.
- Mejora continua de los procesos internos de gestión y ejecución siempre en línea con los requisitos establecidos por el grupo Freyssinet y la normativa vigente.
- Incremento de la capacidad y oportunidades de los empleados mediante el aprendizaje continuo.

Generalmente, **Freyssinet aboga por el multicordón adherente** como solución más ventajosa **en la aplicación de la tecnología del postesado en la edificación.**

Freyssinet dispone de una completa gama de anclajes, vainas y elementos auxiliares que cubren las distintas tipologías que se pueden presentar en los forjados postesados:

- Pretensado adherente / no adherente
- Pretensado monocordón / multicordón

Esta técnica mantiene las prestaciones del resto de sistemas en términos de seguridad, luces y cantos, permitiendo además:

- Reducción de armadura pasiva y mejor comportamiento en punzonamiento.
- Aumento de la distancia de separación entre tendones
- Reducción del espacio necesario para la disposición de anclaje.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

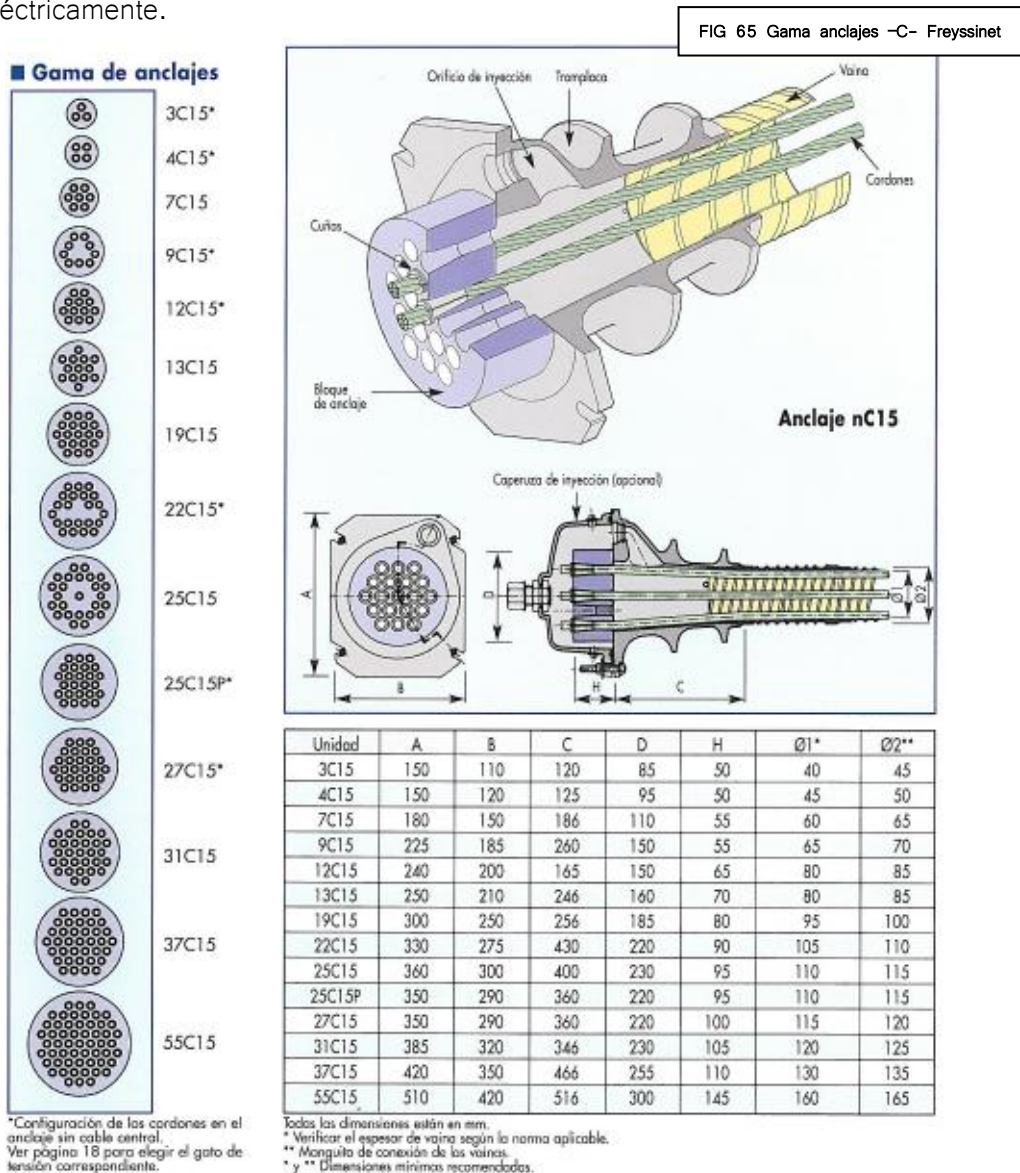
EL SISTEMA C DE FREYSSINET

El sistema C de Freyssinet posee el Documento de Idoneidad Técnica Europeo – DITE (European Technical Approval – ETA), concedido para la obtención del **mercado CE**, requisito imprescindible para la ejecución de obras de pretensado en todo el territorio europeo.

El tendón de pretensado del sistema Freyssinet está constituido por un haz de cordones (entre 3 y 55) de acero de alta resistencia fabricado conforme a la norma española UNE 36094-97 o europea EN 10138-3. Los aceros homologados para el sistema Freyssinet son Y1860S7-15.2 e Y1860S7-15.7

Cada cordón está formado por 7 alambres, con uno central de mayor diámetro que los restantes alrededor del cual se enrollan helicoidalmente los otros seis.

Aislamiento eléctrico. Freyssinet ofrece la posibilidad de rodear los cables con una barrera continua no conductora para conseguir un sistema de pretensado aislado eléctricamente.



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN*LOS ANCLAJES GAMA B*

Con el fin de ofrecer una gama de **pequeños tendones con anclajes planos**, especialmente adaptadas a post-tensado de los edificios o elementos finos (losas), Freyssinet ha desarrollado el sistema de pretensado B.

Este nuevo sistema está adaptado especialmente y permite un enfilado más sencillo, tanto antes como después del hormigonado.



Este anclaje compacto Freyssinet permite:

- disminuir el espesor de las almas de las vigas y cajones,
- mejorar la concentración de anclajes en los cabeceros
- una desviación mínima del trazado de cables.

El sistema B es adecuado para el post-tensado con tendones formado por cordones de alta resistencia del acero, de acuerdo con NFA 35-045 o pr EN 10138 las normas.

Se componen de tromplaca de hierro fundido y de un bloque de anclaje que contiene los orificios cilíndrico-cónicos.

Para la **fijación** al encofrado, la cara de la delantera de la tromplaca dispone de un agujero que permite su fijación al encofrado con una varilla roscada y tuercas.

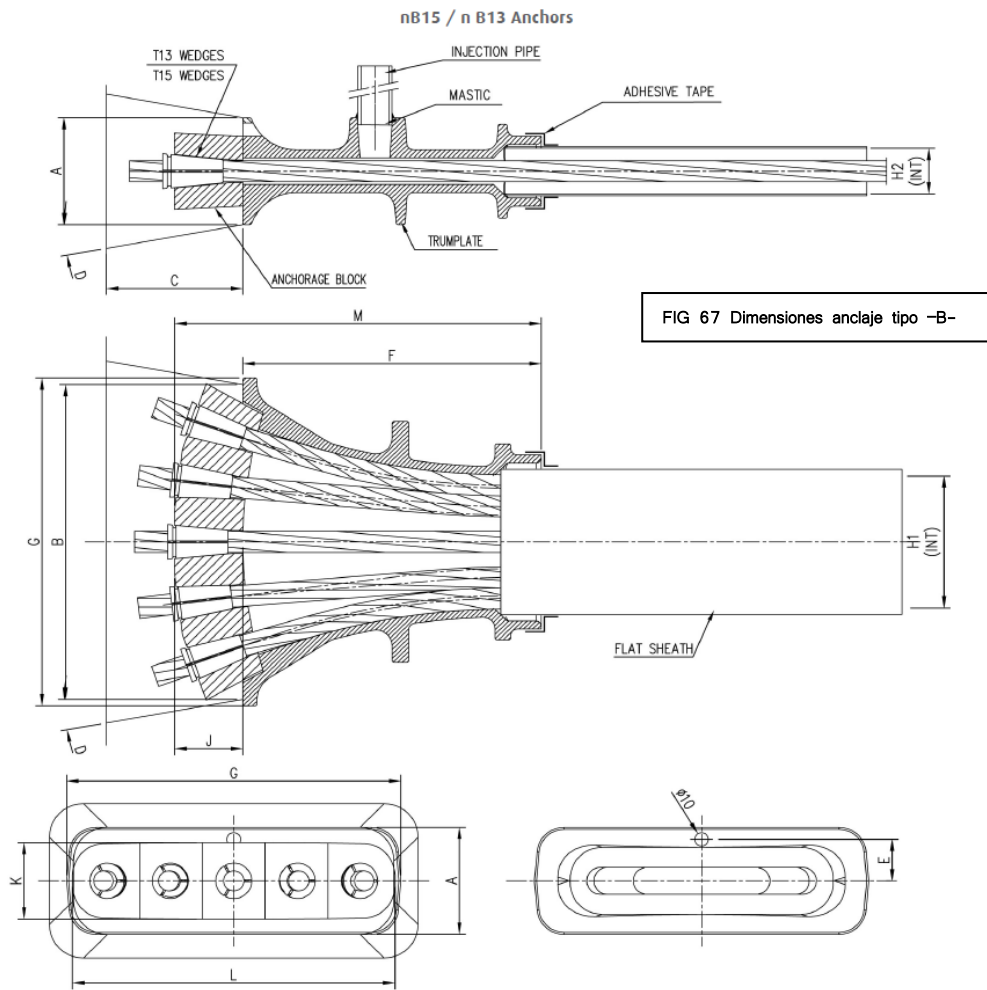


FIG 66 Despiece nclaje tipo -B-

Estos anclajes pueden ser instalados en la parte principal de la disposición de los tendones, incluso en medio de la losa, en un hueco especial que permite su tensión con Monotorones gato y nariz curva. Esto es muy conveniente cuando los tendones no son accesibles desde el borde de la losa.



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN



Dimensions Anchorage	RECESS					TRUMPLATE		SHEATH		ANCHORAGE BLOCK		
	A	B	C	D	E	F	G	H1	H2	J	K	L
3B13	80	164	120	10*	31	131	124	45	20	52	48	106
3B15	80	164	120	10*	31	158	164	70	20	52	55	151
4B13	80	164	120	10*	31	158	164	70	20	50	55	153
4B15	80	245	120	10*	31	179	192	76	24	50	55	181
5B13	80	245	120	10*	31	179	192	76	24	45	55	181
5B15	80	245	120	10*	31	219	245	90	20	50	57	236

All rights reserved by Freyssinet. The product names are Freyssinet Trademarks. The Information contained in this document is subject to change. Although best efforts were made to ensure maximum accuracy of this information, Freyssinet may not be held liable for this accuracy in any respect.

VAINA FREYSSINET

La vaina Freyssinet es **resistente al aplastamiento**, para que durante la fase de hormigonado y endurecimiento del hormigón no se deforme o abolle, asegurando al mismo tiempo la **estanquidad** de su interior. Las diferentes soluciones que ofrece el mercado son:

- Vaina de fleje metálico, plana ó circular.
- Tubo de acero circular.
- Vaina plástica corrugada Plyduct®
- Vaina de PEAD lisa

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

ANCLAJES PASIVOS FREYSSINET

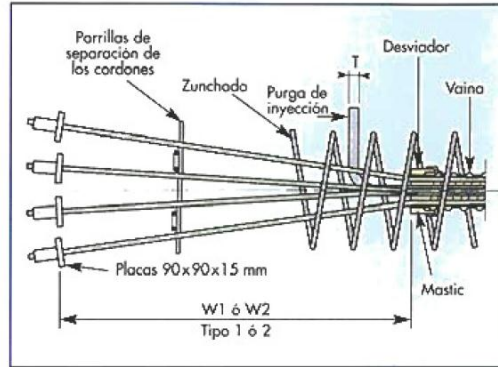
FIG 68 Anclaje pasivos Freyssinet

Anclajes embebidos

Los anclajes pasivos N y G se emben en el hormigón. Los cables se colocan, por consiguiente, antes de hacer el hormigonado.

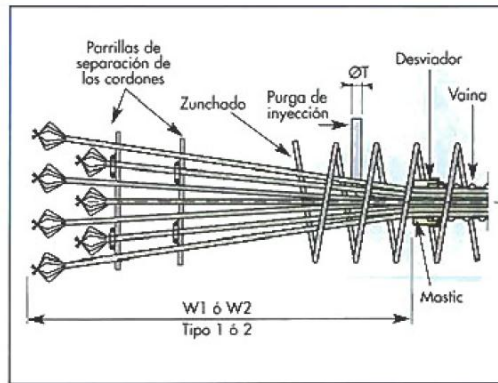
■ Anclajes embebido de tipo N

En el anclaje de tipo N, cada cordón está provisto con un manguito de extrusión que se apoya en una placa de acero.



■ Anclaje embebido de tipo G

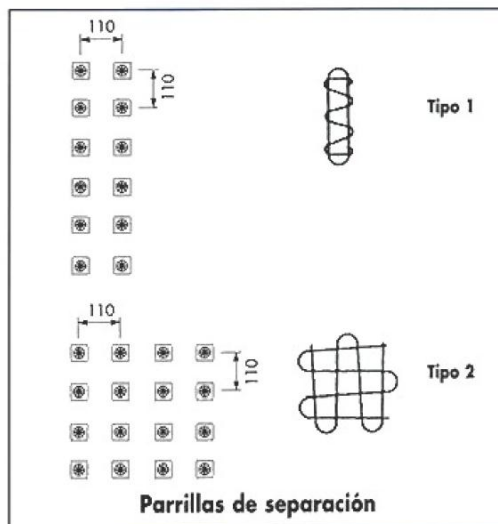
El anclaje de tipo G es un anclaje por adherencia. El extremo de cada torón está preformado en forma de bulbo.



Dimensiones Nº de cordones	N		G		Ø T
	W1	W2	W1	W2	
3	300	300	950	450	G 1/2"
4	350	350	950	500	G 1/2"
7	500	400	950	550	G 1/2"
9	600	400	950	550	G 1/2"
12	900	500	1 300	650	G 1/2"
13	1 200	500	1 300	650	G 1/2"
19	1 500	650	1 300	800	G 1"
22	1 800	750	1 500	1 000	G 1"
25	2 000	850	1 500	1 000	G 1"
27	2 000	1 000	1 700	1 250	G 1"
31	2 200	1 100	1 700	1 250	G 1"
37	2 500	1 280	2 000	1 250	G 1,1/2"
55	2 800	1 400	2 500	1 250	G 1,1/2"

Dimensiones indicadas en mm.

• Para el zunchado helicoidal, ver página 13 (anclajes activos).



ACOPLADORES

Los acopladores se utilizan en estructuras construidas por fases sucesivas con prolongación de los cables ya colocados, tesado e inyectados en el tramo anterior. Los acopladores que Freyssinet ofrece pueden ser multicordón o monocordón.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**4.5.2 Diwidag-systems International**

Los sistemas de postesado DYWIDAG son mundialmente **conocidos por su fiabilidad**, su funcionalidad y su aplicabilidad a cualquier estructura postesada, empezando por puentes y edificaciones y terminando por todo tipo de obra de ingeniería, ya se trate de estructuras vistas o de obras subterráneas.

La primera estructura construida con un sistema prototipo de postesado de barra DYWIDAG fue el puente en arco de Alsleben ubicado en Alemania en 1927. Desde entonces, DYWIDAG ha estado mejorando sus sistemas permanentemente para hacer frente a la creciente demanda de tecnología de construcción moderna.

Además del sistema tradicional de postesado de barras que está previsto fundamentalmente para aplicaciones en los campos geotécnicos y para la rehabilitación de edificios y el refuerzo de estructuras, DSI ofrece una gama completa de sistemas de postesado con cable (con adherencia, sin adherencia y externo) así como tirantes para puentes atirantados, estando capacitada para atender todas las necesidades de las construcciones postensadas.

En el proceso de la **investigación y desarrollo de los Sistemas de Postesado DYWIDAG** siempre se han combinado el más alto estándar de seguridad y fiabilidad con la mayor eficiencia económica. Distintos métodos fiables de protección anticorrosiva de los Sistemas DYWIDAG de Postesado contribuyen a acrecentar la durabilidad de las obras modernas. La **alta resistencia a la fatiga** se consigue optimizando la selección de materiales y estudiando al detalle cada uno de sus componentes teniendo especialmente en cuenta su posición y montaje en el sistema.

Gracias a su experiencia acumulada durante muchos años en el área del postesado han conseguido implantar una gama de productos extremadamente versátil y que ofrece soluciones económicas para prácticamente cualquier tipo de problema. Esto también es aplicable a nuestro equipamiento altamente sofisticado y desarrollado, que es de fácil manejo en todas las fases de ejecución, empezando por el montaje, siguiendo con la instalación y el tesado y terminando por la inyección con lechada de cemento.

Los Sistemas de Postesado DYWIDAG son desarrollados y mantenidos por DYWIDAG-Systems International y se venden y distribuyen a través de una red mundial de sucursales.

Sus sistemas cumplen con **la normativa y las recomendaciones internacionales (ASTM, AASHTO, BS, Eurocode, DIN, Austrian Code, SIA, FIB, fib, EOTA, etc.)**. El mercado de construcción americano exige una gama especial de productos que está descrita en los catálogos correspondientes.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

La calidad de los productos y servicios DSI cumple totalmente con la norma ISO 9001.

Servicios DSI:

- consultoría
- diseño y confección de planos de montaje
- montaje en fábrica y suministro
- instalación o formación para el montaje y/o supervisión del mismo, inspección y mantenimiento.

Homologaciones

DSI se complace de tener Homologaciones Europeas Técnicas para sus sistemas de postesado con barras, y para tendones con y sin adherencia:

Homologación europea técnica (European Technical Approval, **ETA**) certifica todos los requerimientos esenciales detallados en la **Directiva de Productos para la Construcción** (Construction Products Directive, **CPD**).

El propietario de una homologación ETA está autorizado a aplicar el mercado CE (Conformité Européenne) en su producto. El **mercado CE** certifica la conformidad con especificaciones técnicas y forma la base para el libre movimiento de los bienes dentro de los estados miembros de la UE.

TIPOS DE ANCLAJE DEL SISTEMA DIS

FIG 69 Tipos de anclajes DIS

Tendón Tipo 59...	01	02	03	04	05	06	07	08	09		12	15	20		27	32	37
Anclaje de placa tipo ED				●	●	●	●										
Anclaje multiplano MA							●		●		●	●	●		●	●	●
Anclaje en U tipo HV				●	●	●	●		●		●	●	●		●		
Anclaje por adherencia ZF / ZR				●	●		●		●		●	●	●		●		
Anclaje de placa SD				●	●		●	●	●		●						
Anclaje plano FA				●	●												

Tendón Tipo 68...	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	12	15	19	22	27	31	37
Anclaje de placa tipo ED			●	●	●				●		●	●	●	●	●	●	●
Anclaje multiplano MA					●		●		●		●	●	●	●			●
Anclaje en U tipo HV			●	●	●	●	●		●		●	●	●	●			
Anclaje por adherencia ZF / ZR			●	●	●		●		●		●	●	●	●			
Anclaje de placa SD			●	●	●	●	●	●	●								
Anclaje plano FA			●	●													

FIG 70 Anclaje de placa tipo ED



El anclaje de dos partes se puede utilizar en techos y forjados planos o estructuras similares tales como el pretensado transversal de cubiertas de puentes. La placa de cuñas se centra por si misma en el cuerpo de anclaje posibilitando un ensamblaje perfecto así como la instalación y el tesado libres de problemas.

cabeza de anclaje activa	cabeza de anclaje pasiva	
	accesible	no accesible
sí	sí	sí
	carga de rotura [kN]	
	de 721	hasta 1,395

Anclaje de Placa ED - detalles técnicos

APLICACIONES DEL POSTESADO EN EDIFICACIÓN

FIG. 71 Anclaje multiplano



El anclaje multiplano que consta de dos elementos se usa fundamentalmente para tendones longitudinales en vigas y puentes. La placa de cuñas con su cuerpo de anclaje cónico con tres planos de transmisión de esfuerzos transfiere la fuerza de postesado de forma continua a la estructura demandando un área frontal mínima. La separación del cuerpo de anclaje de la placa de cuñas posibilita enfilar los torones después de hormigonar. La placa de cuñas se centra por sí misma en el cuerpo de anclaje posibilitando un ensamblaje perfecto así como la instalación y el tesado libres de problemas.

cabeza de anclaje activa	cabeza de anclaje pasiva	
	accesible	no accesible
sí	sí	sí
	carga de rotura [kN]	
	de	hasta
	1,201	10,323

Anclaje Multiplano MA - detalles técnicos

FIG. 72 Anclaje por adherencia



Básicamente este anclaje se aplica a tendones prefabricados; sin embargo, es también posible fabricarlo en obra. Los alambres de los torones son deformados plásticamente para asegurar una transmisión de carga segura hasta la situación de rotura en el área del bulbo adherente, tanto en aplicaciones estáticas como dinámicas. Dependiendo de las condiciones de espacio, se puede elegir entre un anclaje modelado relativamente plano o con bulbo adherente grueso.

cabeza de anclaje activa	cabeza de anclaje pasiva	
	accesible	no accesible
no	no	sí
	carga de rotura [kN]	
	de	hasta
	721	6,138

Anclaje por Adherencia ZF/ZR - detalles técnicos

FIG. 73 Anclaje de placa



El anclaje de placa consta de un solo elemento y está diseñado para estructuras de placas así como para tendones transversales de puentes. El sistema que presenta reducidas distancias entre centros y a los bordes posibilita una disposición económica de los anclajes en zonas espacialmente limitadas.

cabeza de anclaje activa	cabeza de anclaje pasiva	
	accesible	no accesible
sí	sí	sí
	carga de rotura [kN]	
	de	hasta
no	721	2,511

Anclaje de Placa SD - detalles técnicos

FIG.74 Anclaje de placa tipo ED



El anclaje plano tiene como máximo 4-0,62" torones en un solo plano que son desviados a un conducto de sección oval. Fue diseñado para ser instalado en elementos con espesores reducidos, como por ejemplo como armadura de postesado transversal en la losa superior de la viga cajón de puentes o en forjados postesados planos.

cabeza de anclaje activa	cabeza de anclaje pasiva	
	accesible	no accesible
sí	sí	sí
coupling	carga de rotura [kN]	
	de	hasta
no	721	1,116

Anclaje Plano FA - detalles técnicos

ACOPLADORES DIS

FIG 75 Tipos de acopladores DIS

Tendón Tipo 59...	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	12	15	20	27	32	37	
Acoplador R				●	●		●		●		●	●	●		●	●	
Acoplador D				●	●		●		●		●	●	●		●	●	
Tendón Tipo 68...	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	12	15	19	22	27	31	37
Acoplador M y ME	●	●		●		●		●		●	●				●	●	●
Acoplador R					●		●		●		●	●	●		●	●	●
Acoplador P					●				●		●	●	●		●	●	●
Acoplador D			●	●	●		●		●		●	●	●	●	●	●	●

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

FIG. 76 Acoplador M y ME



Las estructuras simétricas a la rotación (depósitos de agua, tanques digestores, tuberías de gran diámetro o estructuras de cubiertas abovedadas) que requieren un postesado circunferencial, son las principales aplicaciones para el acoplador flotante tipo M/ME. El anclaje del tendón consiste de un bloque de anclaje con perforaciones para las cuñas en ambas caras para trabajar con torones sin protección o engrasados y envainados. Los torones se solapan en el bloque aplicando el principio de la hebilla de cinturón. El tendón anular es muy compacto y requiere un nicho muy reducido para su anclaje.

cabeza de anclaje activa	cabeza de anclaje pasiva	
	accesible	no accesible
sí	sí	no
carga de rotura [kN]		
de		hasta
240		3,348

Acoplador M y ME - detalles técnicos



El acoplador R está diseñado para prolongar tendones previamente instalados y tesados. El acoplamiento consiste en un cuerpo de anclaje multiplano y una placa de cuñas a lo largo de la cual se solapan todos los torones. Los nuevos torones acoplados pueden instalarse con facilidad e independientemente del tendón ya existente.

FIG.77 Acoplador R

acoplamiento fijo	acoplamiento flotante
sí	no
carga de rotura [kN]	
1,201	10,323

Acoplador R - detalles técnicos

FIG. 78 Acoplador



El acoplador P consiste en un cuerpo de anclaje multiplano, una placa de cuñas estándar y un anillo de acoplamiento que fija los torones de continuación provistos de manguitos extruidos en sus extremos, en vez de operar con cuñas. Para aplicaciones similares los acopladores R y P pueden instalarse alternativamente.

acoplamiento fijo	acoplamiento flotante
sí	no
carga de rotura [kN]	
1,201	10,323

Acoplador P - detalles técnicos

FIG. 79 Acoplador



Para alargar tendones aún no tesados, por ejemplo en un puente ejecutado por segmentos, el acoplador D es el adecuado. Cada manguito acoplador que conecta dos torones consiste en 2 cuñas soportadas por sendos resortes bajo tensión.

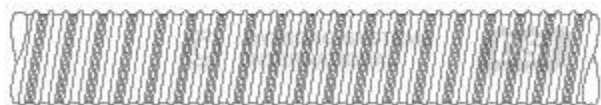
acoplamiento fijo	acoplamiento flotante
no	sí
carga de rotura [kN]	
721	10,323

Acoplador D - detalles técnicos

VAINAS METÁLICAS

Vainas de chapa fina (0,25-0,35 mm) y con costillas proveen una buena protección secundaria contra la corrosión a la vez que garantizan una perfecta adherencia entre los tendones y el hormigón. La protección primaria es provista por la alcalinidad de la lechada de cemento y del hormigón.

FIG 80 Vaina metálica



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

El número de tipo de tendón (por ejemplo 5901 o 6801) es un código:

el primer dígito (5 o 6) identifica el diámetro nominal del torón medido en décimas de pulgada, p.ej. 0,5'' o 0,6''/0,62'', los últimos dos dígitos (..01) identifican la cantidad de torones utilizados (= 1 torón) el segundo dígito es un código interno.

Al tratarse de tendones del tipo 0,6'', los accesorios valen para torones de ambas clases: 250 (tensión de rotura 1770 N/mm²) y 270 (tensión de rotura 1860 N/mm²).

FIG 81 Dimensiones vainas

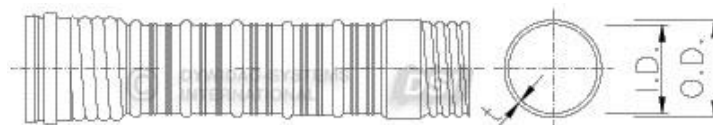
Dimensiones de las vainas corrugadas (tamaños estándar)				tendón tipo	tendón tipo	distancia mínima entre centros ¹	distancia máxima entre soportes ¹	coeficiente de desviación β	coeficiente de fricción
tendón tipo 0.5"	tendón tipo 0.6"	vaina							
		∅ interieur [mm]	∅ exterior [mm]			[mm]	[m]	[rad/m]	[rad ⁻¹]
5901	6801	20	25	0.5	0.6				
5902	6802	40	45	5901	6801	36	1.8	14*10 ⁻³	0.15
5903	6803	50	55	5902	6802	72	1.8	9 * 10 ⁻³	0.17
5904	6804	55	60	5903	6803	90	1.8	5 * 10 ⁻³	0.18
5905	6805	60	65	5904	6804	99	1.8	5 * 10 ⁻³	0.19
5907	6806	65	70	5905	6805	108	1.8	5 * 10 ⁻³	0.20
5909	6807	65	70	5907	6806	117	1.8	5 * 10 ⁻³	0.19
5912	6809	75	80	5909	6807	117	1.8	5 * 10 ⁻³	0.19
5915	6812	80	85	5912	6809	117	1.8	5 * 10 ⁻³	0.19
5920	6815	90	95	5915	6812	144	1.8	5 * 10 ⁻³	0.19
5927	6819	95	100	5920	6815	162	1.8	5 * 10 ⁻³	0.19
5932	6822	100	105	5927	6819	171	1.8	5 * 10 ⁻³	0.20
5937	6827	110	118	5932	6822	180	1.8	5 * 10 ⁻³	0.20
-	6831	120	128	5937	6827	198	1.8	5 * 10 ⁻³	0.20
-	6837	130	138	-	6831	216	1.8	5 * 10 ⁻³	0.20
				-	6837	235	1.8	5 * 10 ⁻³	0.20

VAINAS PE/PPP

La vaina de pared gruesa de polietileno o polipropileno brinda una protección secundaria permanente contra la corrosión especialmente indicada en medios ambientales agresivos como por ejemplo en el caso de plantas de tratamiento de aguas residuales, depósitos para sustancias ácidas, silos o estructuras expuestas a sal antiescarcha.



FIG 82 Vaina plástica



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

DYWIDAG-Systems International ofrece vainas de polietileno o polipropileno en longitudes hasta ± 24 m para todos los tamaños. La longitud estándar de transporte es ± 12 m. Mayores longitudes en bobinas son adquiribles para todos tamaños a la excepción de 130 mm.



FIG 83 Dimensiones vaina PE/PP

Dimensiones de la Vaina Corrugada de Sección Circular PE/PP (Tamaño Estándar)				
tendón tipo	tendón tipo	vaina		espesor del tubo
		∅ interior [mm]	∅ exterior [mm]	t [mm]
0.5"	0.6"			
5907	6805	59	73	2
5909	6807	59	73	2
5912	6809	76	91	2.54
5915	6812	84	100	2.54
5920	6815	100	115	2.54
5927	6819	100	115	2.54
5937	6827	115	136	3.56
	6837	130	151	3.56

Vaina Achatada PE/PP						
tipo	tendón tipo	A	B	a	b	espesor del tubo
	0.6"	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
vaina achatada	6804	90.2	39.5	80	29	2

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**4.5.3 Mekano 4 "MK4"**

Mekano4 ofrece soluciones técnicas para la construcción, mantenimiento y control de puentes y estructuras, así como aplicaciones en el mundo de la geotecnia tales como barras y anclajes al terreno, de forma que se ofrezca un servicio especializado completo a sus clientes que cubra sus necesidades actuales, aportando alternativas innovadoras y eficientes. Postensado, apoyos para puentes, juntas de dilatación, métodos constructivos alternativos para puentes, tirantes para puentes atirantados, estructuras colgantes, anclajes al terreno, barras de alta resistencia... Estos son algunos de los productos y soluciones técnicas que ofrecen.

Mekano 4 ha experimentado un desarrollo constante desde su nacimiento, con un equipo de ingenieros y técnicos especialistas en puentes, estructuras y geotecnia que han aportado gran experiencia en sus diferentes especialidades. Para que dicho crecimiento se consolide y prosiga, llevan a **cabo inversiones en I+D+I** para el desarrollo de productos y servicios innovadores, así como contar con la sólida colaboración en diversos puntos de Europa, América, África y Asia.

Mekano4 cuenta con el **mercado CE** para sus productos de postensado y aparatos de apoyos tipo POT. Mekano4 ha obtenido el Documento de Idoneidad Técnico (**DITE**) de acuerdo a la guía ETAG013 para el sistema MK4. Así mismo, el sistema MK4 PT ha obtenido la aprobación para aplicaciones a temperaturas criogénicas (-196°C) en tanque criogénicos (GNL). El sistema de Calidad está basado en la mejora continua, descrito en nuestro Manual de Calidad estando certificado según Is. Su visión es satisfacer las necesidades de los clientes, siendo su objetivo convertirse en sus mejores colaboradores. Varios ingenieros de mekano4 participan activamente en numerosos grupos de trabajo que comprenden los anclajes al terreno, tirantes, durabilidad de los materiales de pretensado, sistemas de pretensado y puentes extradados. Mekano4 SA es miembro de diversos organismos relacionados con la actividad, tales como:

FIB, (fédération internationale du béton), es una organización sin ánimo de lucro creada en 1998 a partir de la fusión del Comité Euro-Internacional del Hormigón (CEB) y de la Federación internacional del pretensado (**FIP**). Ambas organizaciones existían independientemente desde 1952.

Los objetivos de la FIB, según recogen sus estatutos, son el desarrollo, a nivel internacional, del estudio, tanto a nivel científico como práctico, de materias que conduzcan al avance tecnológico, económico, estético y de impacto medioambiental en el campo de la construcción con hormigón.

El organismo miembro de la FIB en España es la Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). **ACHE** es una organización sin ánimo de lucro que comparte plenamente los objetivos de la FIB: impulsar el hormigón estructural en todos sus aspectos (científico, técnico-económico, estético, etc) mediante actividades tendentes a su progreso. Con el objetivo de estar en permanente contacto con las tendencias de los mercados, implementar nuevas tecnologías y

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

satisfacer plenamente las necesidades de sus clientes, Mekano4 es miembro de ambas asociaciones, miembro activo de ACHE y de la FIB desde 1996.

El sistema de postesado de Mekano 4 reúne las últimas y más avanzadas técnicas, experiencias en el campo del postesado. El diseño y cálculo de todos sus componentes han sido realizados en base a normativas internacionales de mayor implantación. El sistema consiste en un conjunto de anclajes, equipos, técnicas, métodos y servicios que hacen posible la aplicación del postesado en cualquier proyecto u obra, de una manera práctica y económica.

KIT DE POSTENSADO MK4

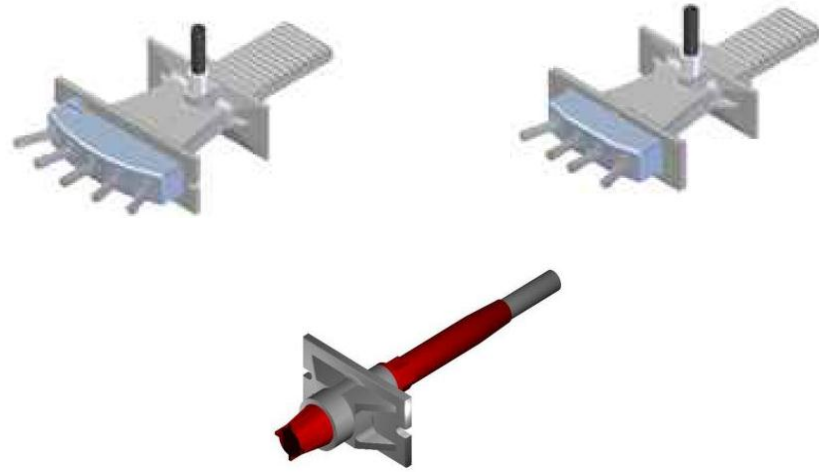
Característica de los anclajes MK4

FIG 84 Características anclajes MK4

CARACTERÍSTICAS				APLICACIÓN				DIMENSIONES						
Modelo	Nº máx. cordones	Tipo de cordón Y1860 S7	Superficie de reparto cm ²	Tendón No Adherente	Tendón Adherente	Activo Exterior	Pasivo Embebido	C (mm)	P (mm)	a1 (mm)	b1 (mm)	T (mm)	Va / ØU (mm)	Vb (mm)
MUNB 0,6"	1	15,2 ó 16 mm	85	■			■	55	-	135	73	79	20	-
MF 4/0,6"	4	15,2 ó 16 mm	275	■	■	■		120	68	236	125	155	75	20
ML 4/0,6"	4	15,2 ó 16 mm	305		■	■		110	55	250	78	210	75	20
ML 5/0,6"	5	15,2 ó 16 mm	380		■	■		120	62	270	90	210	95	20
MPSB 4/0,6"	4	15,2 ó 16 mm	310	■	■		■	120	15	280	110	900	75	20
MPSB 5/0,6"	5	15,2 ó 16 mm	385	■	■		■	120	15	350	110	1200	95	20
ML 4/0,5"	4	13 mm	305		■	■		110	55	250	78	210	72	18
ML 5/0,5"	5	13 mm	305		■	■		110	55	250	78	210	72	18
MPSB 4/0,5"L	4	13 mm	205	■	■		■	120	15	230	90	750	72	18
MPSB 5/0,5"L	5	13 mm	255	■	■		■	120	15	285	90	1000	72	18



FIG 85 Tipos de anclaje MK4



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

ANCLAJES ACTIVOS PLANOS ML

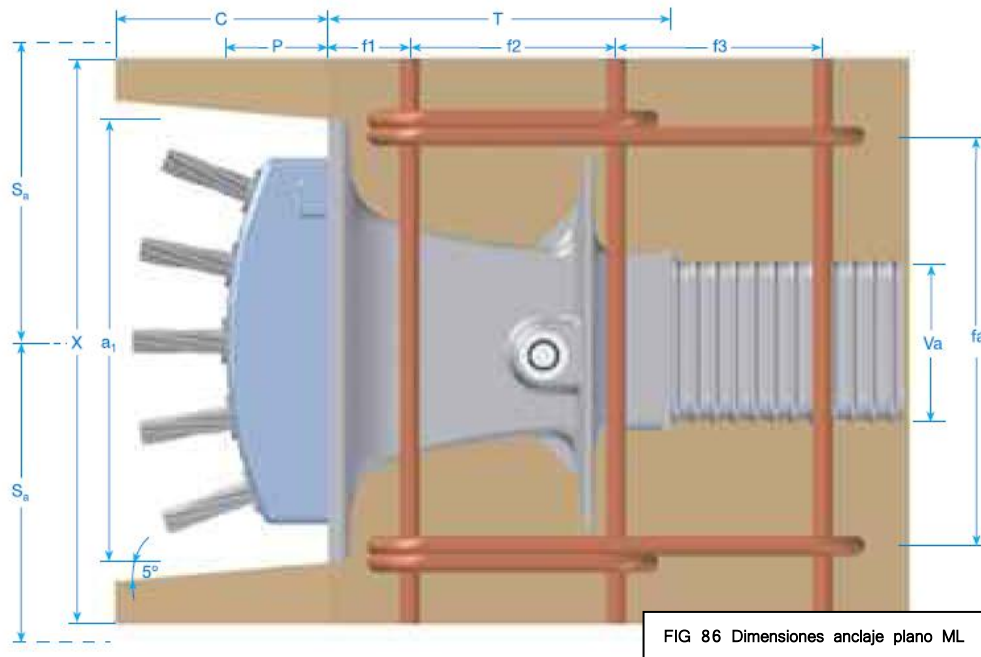


FIG 86 Dimensiones anclaje plano ML

Su diseño permite el tesado con gato unitario, ser empleado con o sin trompeta y enfilar los cordones de pretensado antes o después del hormigonado de la estructura.

FIG 87 Características anclajes planos ML

SEPARACIÓN A BORDES				SEPARACIÓN ENTRE ANCLAJES				DIMENSIONES ARMADURA DE REFUERZO-EJEMPLO						
Modelo	Po max. (kN) (mm)	Sa (mm)	Sb (mm)	X (mm)	Y (mm)	a (mm)	b (mm)	ØE (mm)	ØL (mm)	fa (mm)	fb (mm)	f1 (mm)	f2 (mm)	f3 (mm)
MUNB 0,6"	209	120	75	180	125	203	110	8	8	110	62	95	140	-
MF 4/0,6"	837	200	115	310	215	354	189	10	10	240	100	45	125	125
ML 4/0,6"	837	210	85	325	135	375	117	12	12	240	80	50	125	125
ML 5/0,6"	1,047	220	90	350	155	405	135	12	12	260	80	50	125	125
MPSB 4/0,6"	837	230	100	370	185	420	165	12	12	260	80	50	125	125
MPSB 5/0,6"	1,047	280	100	460	185	525	165	12	12	330	80	50	125	125
ML 4/0,5"	558	210	85	325	135	375	117	10	10	240	80	50	125	125
ML 5/0,5"	698	210	85	325	135	375	117	12	12	240	80	50	125	125
MPSB 4/0,5"L	558	190	85	300	155	345	135	10	10	210	80	50	125	125
MPSB 5/0,5"L	698	230	85	370	155	428	135	12	12	275	80	50	125	125

Notas: Se ha considerado una relación (a/a₁) = (b/b₁) = 1,5. Si las relaciones (a/a₁) ó (b/b₁) varían, la resistencia del hormigón es distinta a 28 N/mm² ó se desea una separación entre anclajes diferente, la armadura de refuerzo que aparece en las tablas no aplica y debe calcularse un nuevo refuerzo. Esta tabla se ermite a título orientativo y corresponde al proyectista determinar la armadura de refuerzo necesaria en cada proyecto.

Anclaje activo ML/0,6"

El anclaje activo ML4/0,6" ha sido diseñado específicamente para tendones de 4 cordones de 0,6" alojados en vaina plana de 75c20mm. Este tipo de tendón agrupa cuatro cordones en un canto mínimo consiguiendo trazados de pretensado de mayor excentricidad que con tendones convencionales de vaina cilíndrica. Esta característica le convierte en el anclaje idóneo para tendones de pretensado interior adherente en losas de hormigón de poco canto.

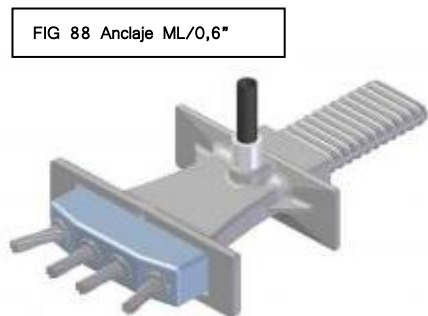


FIG 88 Anclaje ML/0,6"

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**ANCLAJE ACTIVO MUNB 1/0,6"**

El anclaje activo MUNB 1/0,6" está diseñado para su uso en conjunción con cordón de **pretensado autoprotegido no adherente tipo "unbonded"**. Es el anclaje unitario no adherente por excelencia y dispone de todos los elementos necesarios para una fácil instalación y tesado en obra. Este tipo de anclaje puede emplearse indistintamente como anclaje activo o como anclaje pasivo embebido en hormigón y proporciona una excelente doble protección anticorrosiva a largo plazo.

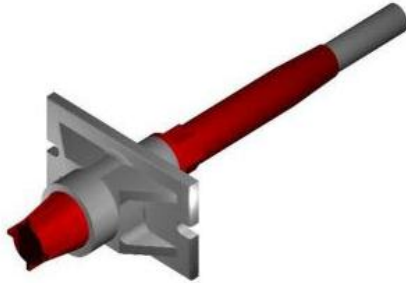


FIG 89 Anclaje MUNB 1/0,6"

EMPALME UNITARIO TESABLE MUT

Este empalme tiene la gran virtud de ser a su vez anclaje activo, anclaje pasivo y empalme. Utilizado en el tesado de depósitos y silos, su geometría lo confina en un entorno pequeño y dinámico donde sería imposible la ubicación de otro empalme. Como su nombre indica, este empalme es de carácter unitario, pudiendo instalar en cadena todos los que el proyecto considere necesarios.

FIG 90 Empalme MUT

**EMPALME UNITARIO MCU**

Los empalmes múltiples de conexión unitaria Tipo MCU, tienen como principal característica el reducido diámetro de trabajo. Al ser de conexión unitaria, podemos centrarnos en el número exacto de cordones necesarios por tendón, es el sistema ideal para tableros de reducido espesor de pared, donde el empalme múltiple MCB no cabría.

FIG 91 Empalme MCU



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

CARACTERÍSTICAS DE LOS TENDONES MK4

FIG 92 Características tendones MK4

NO ADHERENTES		ANCLAJES		CORDÓN Ø 16 mm. Y 1860 S 7		
Tipo	Cordones	Activos	Pasivos	Fza. de Tesado Po (kN)	Sección Ap (mm ²)	Masa (Kg/m)
1/0,6"	1	MUNB 1/06"	MUNB 1/06"	209,3	150	1,3
2/0,6"	2	MF 4/0,6"	MPSB 4/0,6"	418,6	300	2,6
3/0,6"	3	MF 4/0,6"	MPSB 4/0,6"	627,9	450	3,9
4/0,6"	4	MF 4/0,6"	MPSB 4/0,6"	837,2	600	5,2
ADHERENTES 0,6"		ANCLAJES		CORDÓN Ø 16 mm. Y 1860 S 7		
Tipo	Cordones	Activos	Pasivos	Fza. de Tesado Po (kN)	Sección Ap (mm ²)	Masa (Kg/m)
2/0,6"	2	ML 4/0,6"	MPSB 4/0,6"	419	300	2,3
3/0,6"	3	ML 4/0,6"	MPSB 4/0,6"	628	450	3,5
4/0,6"	4	ML 4/0,6"	MPSB 4/0,6"	837	600	4,7
5/0,6"	5	ML 5/0,6"	MPSB 5/0,6"	1.047	750	5,9
ADHERENTES 0,5"		ANCLAJES		CORDÓN Ø 13 mm. Y 1860 S 7		
Tipo	Cordones	Activos	Pasivos	Fza. de Tesado Po (kN)	Sección Ap (mm ²)	Masa (Kg/m)
2/0,5"	2	ML 4/0,5"	MPSB 4/0,5"	279	200	1,6
3/0,5"	3	ML 4/0,5"	MPSB 4/0,5"	419	300	2,3
4/0,5"	4	ML 4/0,5"	MPSB 4/0,5"	558	400	3,1
5/0,5"	5	ML 5/0,5"	MPSB 5/0,5"	698	500	3,9
COEFICIENTE DE ROZAMIENTO				μ (rad ⁻¹)	k (m ⁻¹)	
Tendones Adherentes		Rango		0,18 – 0,26	0,0006 – 0,0033	
		Valor habitual de Cálculo		0,22	0,0025	
Tendones No Adherentes		Rango		0,05 – 0,07	0,0003 – 0,0007	
		Valor habitual de Cálculo		0,07	0,0007	

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**4.5.4 BBR-PTE**

Los sistemas de postesado BBR surgieron en los años 40 tras la unión de **tres jóvenes ingenieros civiles** graduados en el Instituto Federal de Tecnología de Zurich. Las iniciales de sus apellidos, **Birkenmaier, Brandestini y Ros**, formaron el nombre de la compañía BBR, que fue fundada en 1944.

Desde entonces sus desarrollos innovadores han marcado la evolución de la técnica del postesado en el mundo.

BBR está presente en España desde 1963. En estos más de 40 años de historia BBR PTE ha participado en la construcción de cientos de puentes y estructuras. Implementando y desarrollando soluciones técnicas tanto en el campo del postesado, como en el de las estructuras atirantadas y en las técnicas constructivas especiales, del tipo elevación de grandes cargas, empuje de puentes, etc.

Hace 10 años BBR PTE ha iniciado un proceso de internacionalización, estableciendo delegaciones en Rumania, Bulgaria y Portugal y trabajando esporádicamente en otros países de Europa y Centroamérica.

4.5.5 CTT Stronghold (VSL, en España)

VSL es líder indiscutible en el mercado internacional en la técnica de proyecto y ejecución de forjados postesados para edificación.



CTT-STRONGHOLD,S.A., empresa del grupo VSL, ha conseguido también el liderazgo en España en la técnica descrita.

Presentes en el mercado desde 1.959, cuentan con uno de los mejores equipos de proyectos y construcción de forjados postesados que hay actualmente en España, con una capacidad de producción superior a los 15.000 m²/mes en la ofrece un servicio integral.

CTT-STRONGHOLD,S.A. tiene la capacidad de instalar cualquier tipo de postesado en edificación desde:

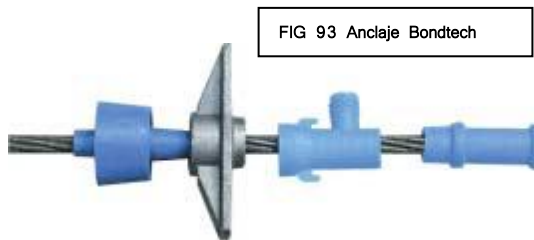
- Los clásicos sistemas monocordón NO ADHERENTES (UNBONDED)
- Los clásicos sistemas “multicordón con vaina plana“ para forjados de edificación
- Los clásicos tendones multicordón circulares de obra civil, usuales en vigas de transferencia o vigas de gran canto

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

• El revolucionario sistema BONDTECH® que agrupa los beneficios de todos los anteriores sistemas con una simplificación del proceso constructivo

De la profesionalidad y know-how de nuestro departamento técnico, de la competitividad y calidad de nuestro departamento de producción, de lo último en desarrollo de sistemas de postesado en edificación, del conocimiento completo de los sistemas constructivos de forjados postesados y, en definitiva, de la experiencia de VSL en millones y millones de metros cuadrados de forjado postesado diseñados y construidos, se desprenden enormes beneficios para todos los implicados en el proyecto de edificación tanto a nivel de diseño arquitectónico y estructural, a nivel constructivo y a nivel funcional una vez puesta en servicio la estructura.

VSL cuenta con más de 40 años de experiencia en el diseño y construcción de forjados postesados y, únicamente en España en los últimos años, CTT-STRONGHOLD,S.A. se ha implicado en la ingeniería y construcción de más de 30 proyectos.

SISTEMA BONDTECH®.

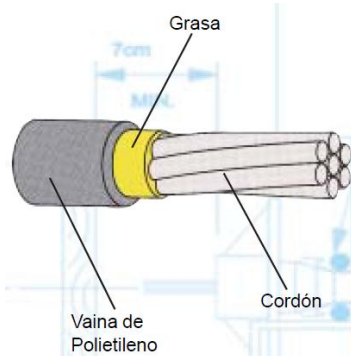
El **sistema ideal para construcción de sus forjados postesados.**

BONDTECH® de VSL es un sistema de postesado monocordón y adherente que emplea vaina plástica individual.

Combina las ventajas del sistema monocordón unbonded con las ventajas que aporta la adherencia. Los cordones son tesados individualmente y, tras el tesado, la vaina plástica es inyectada con lechada de cemento que proveerá de adherencia entre la armadura activa y el hormigón estructural circundante, una vez ésta adquiere su resistencia.

A las propias ventajas del empleo del postesado en edificación, se añaden nuevas ventajas al elegir el sistema BONDTECH® como su sistema de postesado:

- Reducción adicional en la cuantía de armadura pasiva
- Excelente protección a la corrosión, aportada por la inyección y por el empleo de vaina plástica
- Flexibilidad para adaptar los trazados en planta a las singularidades previstas en los forjados
- Facilidad de apertura de huecos posteriormente al hormigonado
- Aprovechamiento óptimo de todos los materiales
- Excelente comportamiento frente a fisuración por la activación de la adherencia de los tendones
- Excelente comportamiento frente a fatiga en estructuras sometidas a carga variable.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN*SISTEMA UNBONDED*

El **sistema monocordón no adherente**, es el sistema clásico para forjados postesados en edificación.

CTT-STRONGHOLD,S.A. emplea este sistema por primera vez en España en 1.981 en el edificio EUROCASTELLANA en Madrid.

Otras referencias como el Edificio "EL TRIANGLE" en Barcelona, los edificios "MIRASIERRA" en Madrid o el Hotel "SANTO DOMINGO" en Oviedo son aval de la actuación de VSL. en el empleo de este sistema.

En este sistema el cordón de acero se suministra engrasado y enfundado en su propia vaina plástica.

Tanto la grasa como la vaina plástica tienen una doble función de resistencia a la corrosión y de evitar cualquier tipo de adherencia entre armadura activa y hormigón estructural.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

5. Proceso constructivo de ejecución de losas postesadas en edificio de viviendas en Valencia

5.1 Descripción del edificio

El edificio está situado en la C/Roger de Lauria esquina con la C/Ruzafa, junto a la plaza del ayuntamiento, en pleno centro de la ciudad de Valencia.

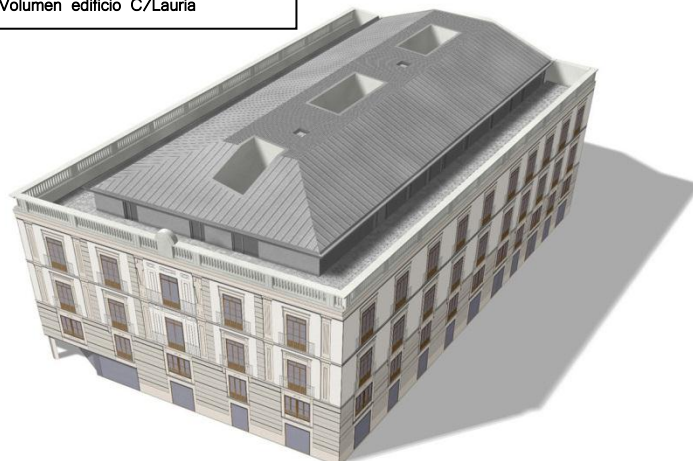
FIG 95 Entorno edificio C/Lauria



En rasgos generales, el edificio se estructura en la forma siguiente:

- Seis plantas de sótanos destinadas a garajes.
- Planta baja, destinada a zaguanes y locales.
- Planta primera, destinada a uso comercial.
- Dos plantas de pisos, destinadas a viviendas.
- Una planta de áticos con terraza.
- Una cubierta.

FIG 96 Volumen edificio C/Lauria



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

El edificio **mantiene las fachadas protegidas** de un edificio pre-existente.

La planta del edificio se caracteriza por tener una forma **trapezoidal** de dimensiones aproximadas 45 x 25 metros.

La estructura está constituida fundamentalmente por pilares de hormigón armado y muros pantalla perimetrales. Estos elementos sustentan losas macizas, asimismo de hormigón armado.

No obstante, en las plantas de piso se disponen losas de hormigón postensado, debido a las **grandes luces** que se tienen al desaparecer algunos pilares **en la planta baja**; tanto la promotora como la Dirección de las Obras se decantaron por la solución pretensada para aumentar las luces de la zona comercial, revalorizando de ésta forma el precio del m², y para facilitar la distribución de las viviendas de lujo.

En el estudio geotécnico se indicaba que el nivel freático se encontraba a la profundidad de 7,50 m., por lo que la solución adoptada fue la ejecución de **muros pantalla perimetrales** para realizar la excavación por debajo de este nivel freático, así como a bataches intermedios que se dispusieron bajo los pilares a modo de pilotaje.

Según estos condicionantes se ejecutó como cimentación una losa armada que se conectó debidamente a los muros pantalla y constituyó un vaso estanco que evitara la entrada de agua al interior del recinto.

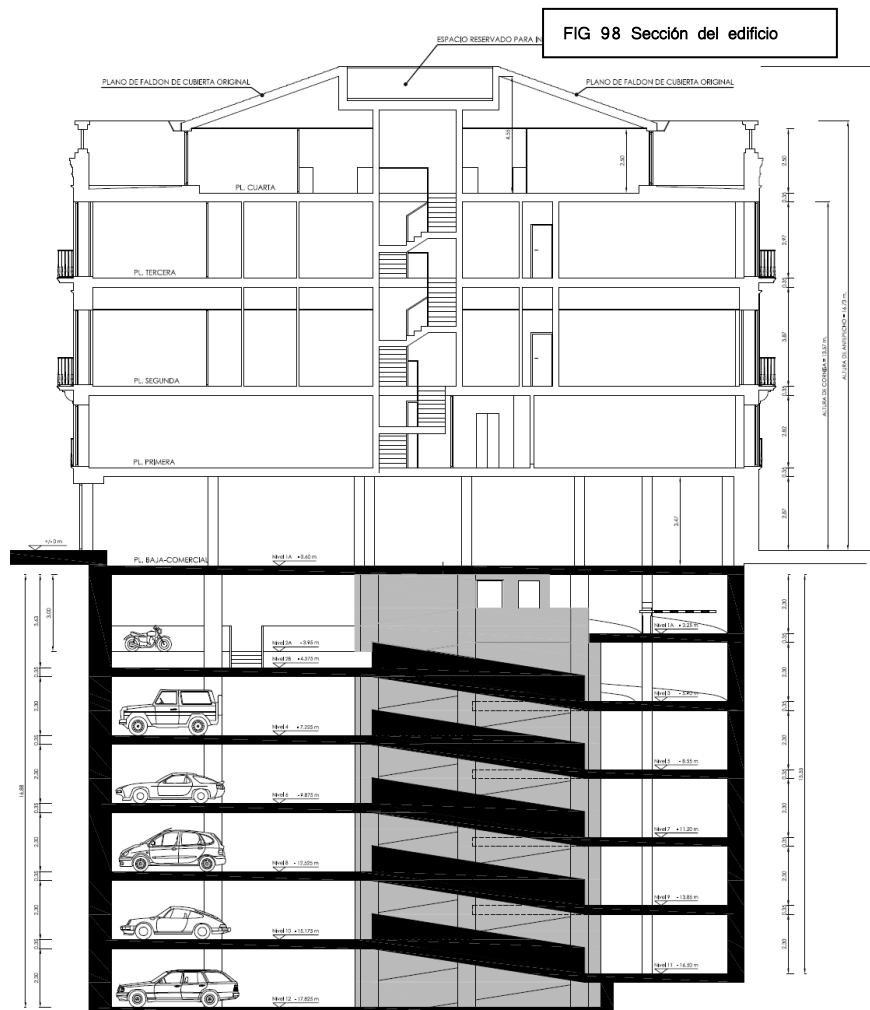
La cota superior de **la losa de fondo se situaba a -17,825**, existían subpresiones importantes, por lo que se adoptó una losa de canto 1m. que cumpliera además la misión de impermeabilización de los sótanos.

Con el fin de ejecutar adecuadamente la excavación, impidiendo al mismo tiempo el movimiento horizontal de las pantallas que pudiera afectar a edificaciones vecinas, se ejecutó la estructura mediante el **sistema ascendente-descendente**.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Fases del proceso constructivo del sistema ascendente-descendente :

- Labores previas y explanación.
- Ejecución de los muros pantalla perimetrales y bataches interiores, dejando embebidos en éstos los soportes metálicos prescritos.
- Ejecución de la losa de planta baja.
- Excavación de dos sótanos completos (hasta cota $-7.22/-5.90$).
- Ejecución de los forjados de los sótanos $-1,-2,-3$, y -4 y sus correspondientes rampas de conexión y pilares hasta planta baja.
- Excavación de un nivel de sótano adicional (hasta $-5/-6$) y ejecución simultánea del forjado de planta primera.
- Ejecución de los forjados de sótanos $-5/-6$, pilares superiores y rampas de conexión con los forjados superiores.
- Repetición de las fases 6 y 7 sucesivamente bajando cada vez un nivel hasta alcanzar la cota de apoyo de la losa de subpresión. Estas fases se simultanean con la ejecución de la estructura y acabados de las plantas sobre rasante.
- Ejecución de la losa de subpresión y pilares superiores. En este punto puede suspenderse el agotamiento del nivel freático, ya que los bataches de pantalla interiores y perimetrales impiden la flotación del edificio.



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**5.2. Losas postesadas**

La elección de las losas postesadas de las plantas sobre rasante venía impuesta por necesidades arquitectónicas para optimizar la explotación del edificio.

Para luces de aproximadamente 11m. la solución más racional se orientaba hacia la tipología de losa maciza postesada, ya que este sistema permite minimizar los cantos y da una solución estructural, constructiva y económicamente muy interesante.

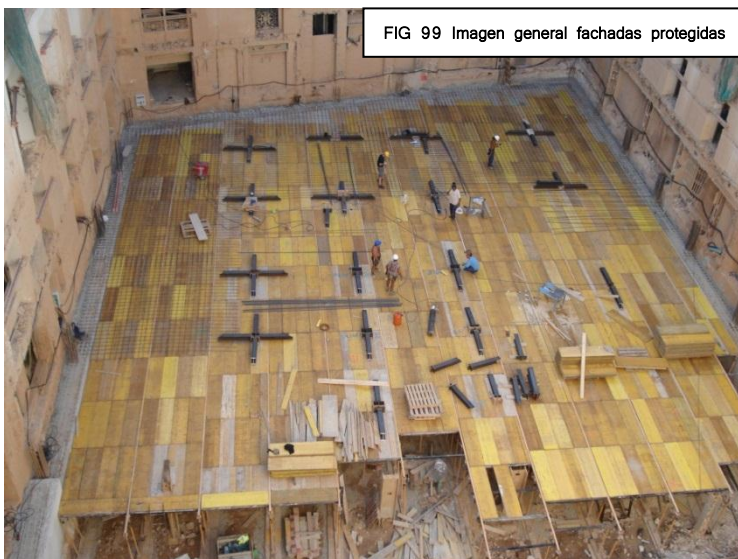
La empresa Freyssinet calculó, suministró e instaló el pretensado en cada uno de los cuatro forjados. En total se actuó sobre una superficie de 4.400 m².

Estudio comparativo No adherente - Adherente

Después de la elección de la solución pretensada, se plantea la disyuntiva entre el sistema postesado no adherente o postesado adherente, lo que exigía un estudio comparativo de ambas soluciones.

El sistema no adherente tiene la ventaja de no requerir inyección posterior al tesado, con las facilidades de ejecución que esto supone; sin embargo, con este sistema, en Estado Límite Último sólo se puede disponer de la tensión media de pretensado en servicio más un cierto incremento, compatible con la deformación global entre anclajes. Esto puede llevar a un incremento de la armadura activa requerida, especialmente en el caso de cargas elevadas, como ocurre en este edificio.

En el sistema de postesado con tendones adherentes se hace necesaria la inyección posterior a la operación de tesado; pero, en contrapartida, se puede disponer de una mayor capacidad resistente de la armadura activa con la consiguiente disminución de cuantías respecto del sistema anterior.

5.2.1 Aspectos principales del proyecto

La ejecución de las losas postesadas tenía una particularidad, las 3 fachadas protegidas del edificio y la restante ser una medianera ya construída, no permitían el acceso al tesado de cualquier anclaje activo que pudiese situarse en canto de forjado.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Por ello en aquellos casos en los que no era posible situar los anclajes activos en los huecos de escalera, ascensor, ventilación y/o tragaluces se recurrió al anclaje patentado tipo M.



Los espesores de losa variaron entre los 32-35 cm. en función de las cargas solicitadas, manteniendo las luces máximas conseguidas en todos ellos gracias al pretensado en 11 metros.

Se emplearon hormigones de resistencia características de 35MPa, realizándose el tesado a 5 días.

Los anclajes activos empleados fueron 4C15, 7C15, 5F15 y 4M15.

Los anclajes tipo C y F se tesaron con gato monocordón, y los M con multicordón. Los anclajes pasivos se resolvieron con anclajes estándar por adherencia tipo bulbo.

Para el caso de los anclajes tipo M, se emplearon un total de 161 unidades tipo 4M15, repartidas entre los 4 forjados. Los anclajes M se caracterizan por una facilidad de puesta en obra y de tesado sin recurrir a las salidas en ángulo habituales con los anclajes tradicionales. Están constituidos por dos conjuntos de tendones uno activo y otro de retenida que se tesan.

5.2.2 Proceso constructivo de ejecución de losas postesadas

La construcción de cada una de las losas postesadas se puede esquematizar en las siguientes fases:

- 1.- Montaje del encofrado
- 2.- Replanteo de tendones
- 3.- Montaje de la armadura pasiva inferior y refuerzo a punzonamiento
- 4.- Colocación de las vainas y cajetines para los anclajes activos
- 5.- Enfilado de tendones y anclajes activos/pasivos
- 5.- Montaje de la armadura pasiva superior, colocación tubos de purga
- 6.- Hormigonado

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

- 7.- Tesado
- 8.- Inyección de lechada

5.2.2.1.- Montaje del encofrado

Se utilizó el sistema de **encofrado horizontal** ULMA modelo RAPID. Este es un sistema modular recuperable de fácil y rápido montaje adecuado para la ejecución de este tipo de losas.



FIG 101 Encofrado planta losas

Permite el montaje previo de la red de acero y la posterior colocación del tablero.

Asimismo permite recuperar el material de tablero sin desmontar la red que soporta las cargas y las transmite a los puntales.

El encofrado, formado por un enlucado continuo, garantiza la seguridad de los trabajadores en el montaje, la colocación del ferrallado y el hormigonado.

La planta de aproximadamente 1000m². se encofraba en **5 días con un equipo formado por 5 operarios.**



FIG 102 Remate perimetral del encofrado

Se presentaba un inconveniente, al estar la planta rectangular limitada a los 4 lados por las fachadas protegidas y de medianera, debían rematarse 2 lados de encofrado con correas de madera y retales de tablero pues el sistema no ajustaba a la superficie del recinto.

Con esto se demoraba y por consiguiente encarecía el montaje del encofrado.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

5.2.2.2- Replanteo de los tendones.

Una vez montado el encofrado horizontal y colocados los parapastas de cada uno de los huecos interiores se procedía al replanteo de los tendones de acuerdo a los planos facilitados por la empresa Freyssinet.

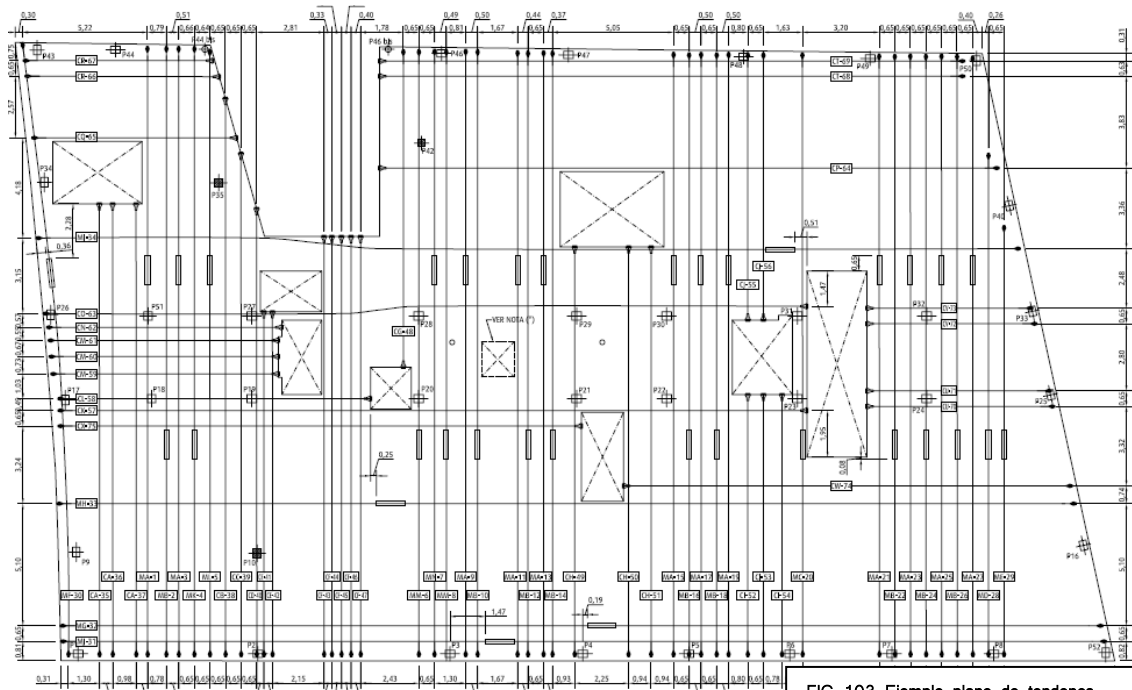


FIG 103 Ejemplo plano de tendones

Se planteaba ahora un inconveniente importante a tener en cuenta en esta fase, cualquier **perforación para instalaciones** que se plantease en un futuro debía de estar localizada en el momento del trazado pues en ningún caso se podía correr el riesgo de cortar algún tendón.



FIG 104 Pasatubos instalaciones

Para ello se replanteaba la tabiquería y cerramientos de todas las viviendas, se marcaban las bajantes y se colocaba un tubo de PVC a modo de pasamuro.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN



FIG 105 Replanteo líneas tendón, alturas y pasatubos

El replanteo consistía en el marcado con tiralíneas de la alineación de cada uno de los tendones según los planos de planta.

Al mismo tiempo mediante un spray marcador se marcaba la ubicación del “pate” o “silla” así como la altura que debía alcanzar cada tendón en cada tramo, según los planos de trazado de tendones. Fig. 105

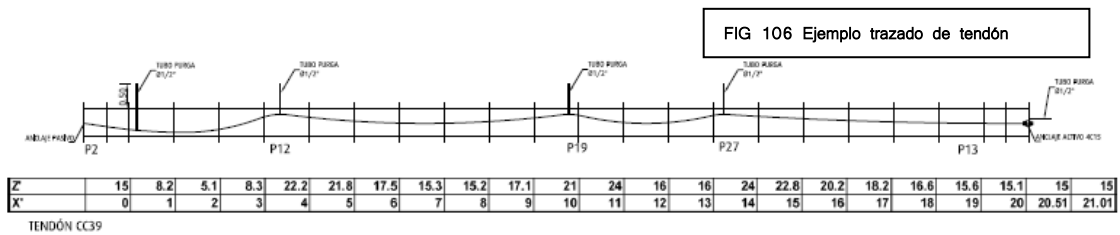


FIG 106 Ejemplo trazado de tendón

Z	15	8.2	5.1	8.3	22.2	21.8	17.5	15.3	15.2	17.1	21	24	16	16	24	22.8	20.2	18.2	16.6	15.6	15.1	15	15
X'	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	20.51	21.01

TENDÓN CC39



FIG 107 Alineaciones de tendones replanteadas

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

FIG 108 Trabajos de replanteo

5.2.2.3.- Montaje de la armadura pasiva inferior y refuerzo a punzonamiento

Una vez ejecutados todos los replanteos se procedía al montaje de la armadura inferior y los refuerzos a punzonamiento.

Puesto que la armadura base de la losa eran diámetros homogéneos según la planta e inferiores a 16mm. (diámetro límite para una cizalla manual eléctrica), se optó por el suministro de malla electro soldada y barras sueltas para los refuerzos correspondientes, así se optimizaban tiempos de montaje.



FIG 109 Montaje armadura pasiva inferior

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

FIG 110 Trabajos con la armadura inferior

Problemática refuerzos a punzonamiento

Puesto que las losas postesadas fueron recalculadas por la empresa Freyssinet y el resto de la estructura, incluidos los pilares, estaban calculados por otra ingeniería aparecieron disconformidad en la dimensión de los mismos.

Así la empresa **Freyssinet** de sus recálculos proponía **descuelgues** como solución al refuerzo a punzonamiento.

Esta solución fue rechazada en todo momento por la promotora y Freyssinet optó por un diseño de refuerzo a base de base de chapas metálicas y barras corrugadas que evitasen los cuelgues de las losas. Algunos incluso encamisaban parte del soporte de hormigón con chapas metálicas adheridos mediante morteros a base de resinas. *Ver Anexo Planos*



FIG 111 Acopio refuerzos a punzonamiento

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN



FIG 112 Refuerzo a punzonamiento, encamisado

5.2.2.4.- Colocación de las vainas y anclajes activos



FIG 113 Trabajos montaje vainas

La vaina se soporta mediante una punta de redondo de 6-8mm. amarrada mediante alambre a un “pate” o “silla”. Esta punta se coloca a la altura marcada previamente según el trazado de cada tendón.

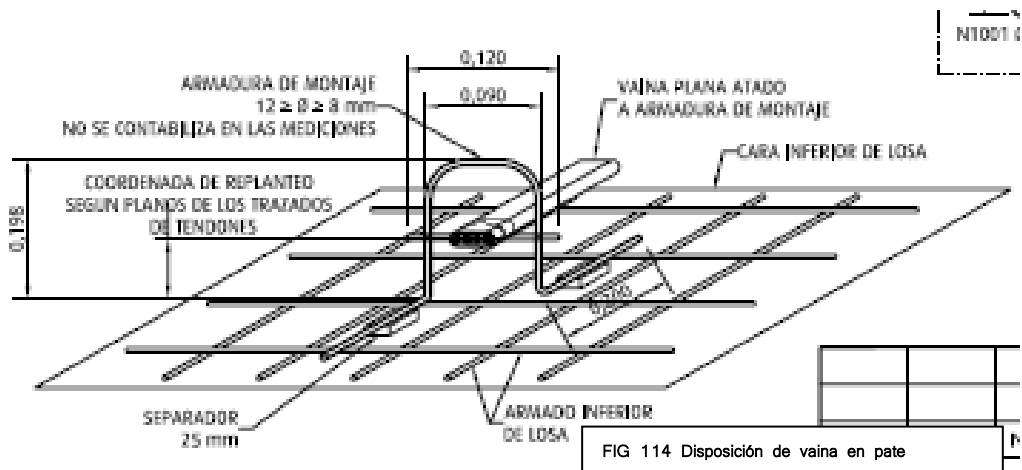


FIG 114 Disposición de vaina en pate

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Las vainas se suministran con una longitud de 4m. y se van solapando en sus extremos.

La unión entre vainas se refuerza o sella con cinta adhesiva para evitar que el hormigón fresco entre en su interior.



FIG 115 Disposición vainas, sellado, encuentro con refuerzos

Colocación de cajetines

Dependiendo del modelo de anclaje se instala un tipo de cajetín. El cajetín se puede definir como el recinto donde se ubica el anclaje activo, donde posteriormente se emplazarán los gatos para el tesado de los cables.

DESPIECE DE CAJETÍN ANCLAJE 4C15

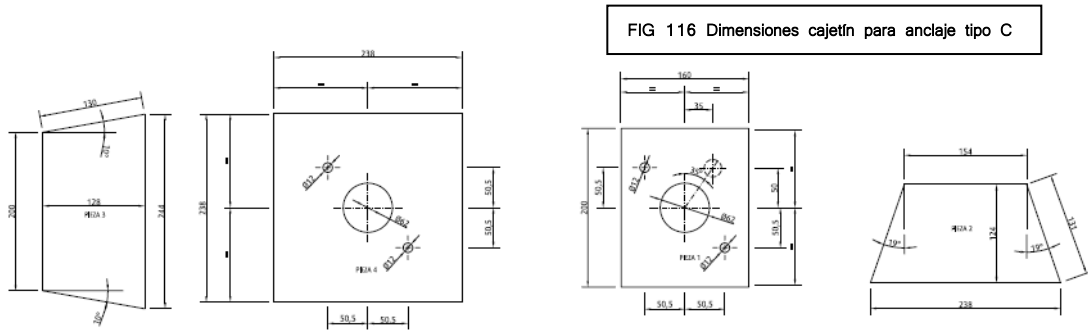


FIG 116 Dimensiones cajetín para anclaje tipo C

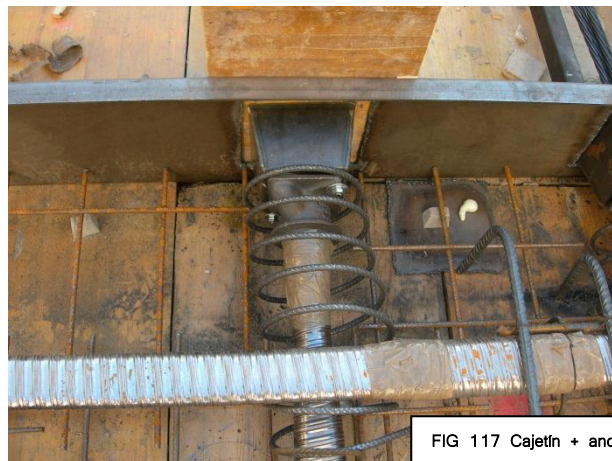
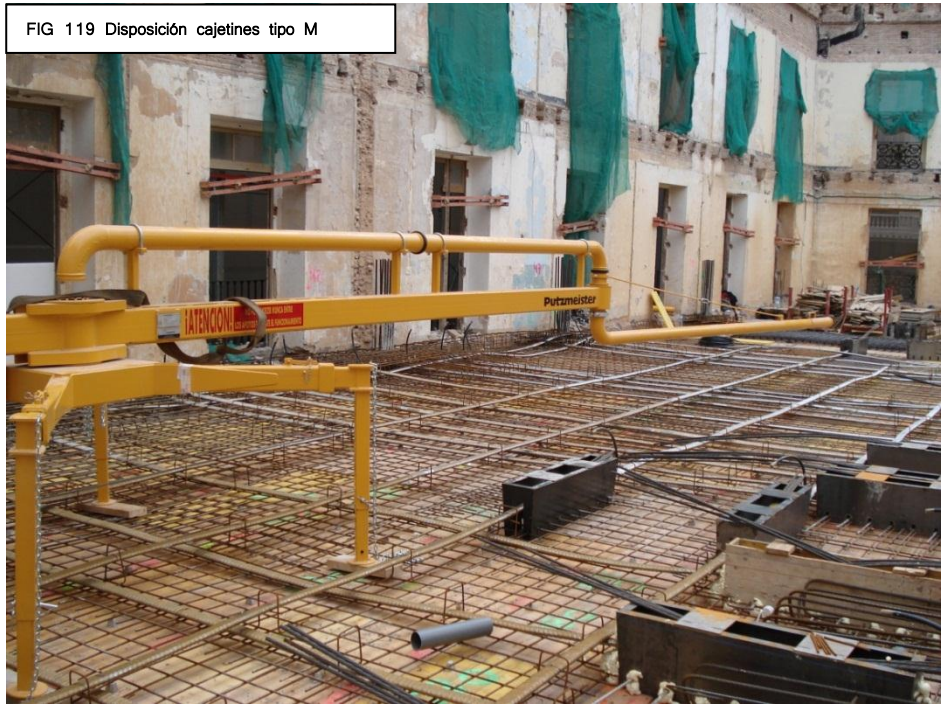
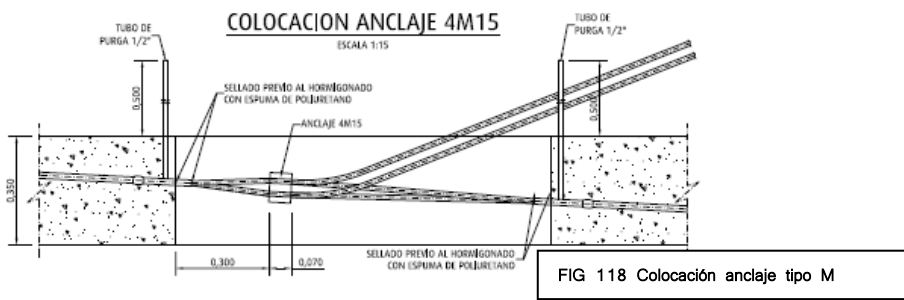
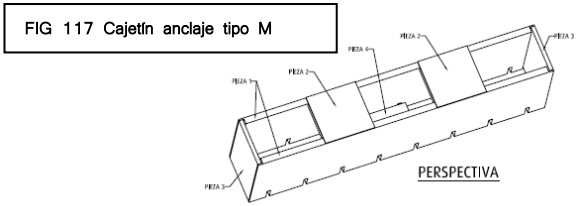


FIG 117 Cajetín + anclaje activo

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Para los anclajes tipo M se utiliza otro sistema de cajetín según la fig.117. *Ver anexo planos*



5.2.2.5.- Enfilado de tendones y colocación de anclajes activos/pasivos

Esta operación se realiza, siempre que es posible, **previamente al hormigonado** para **evitar los riesgos de un posible abollamiento** o rotura de la vaina durante el hormigonado, lo que impediría la operación del enfilado.

vez montada la bobina de cordón en la devanadora se procederá al enfilado mediante enfiladora, según el esquema de la tabla 121.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

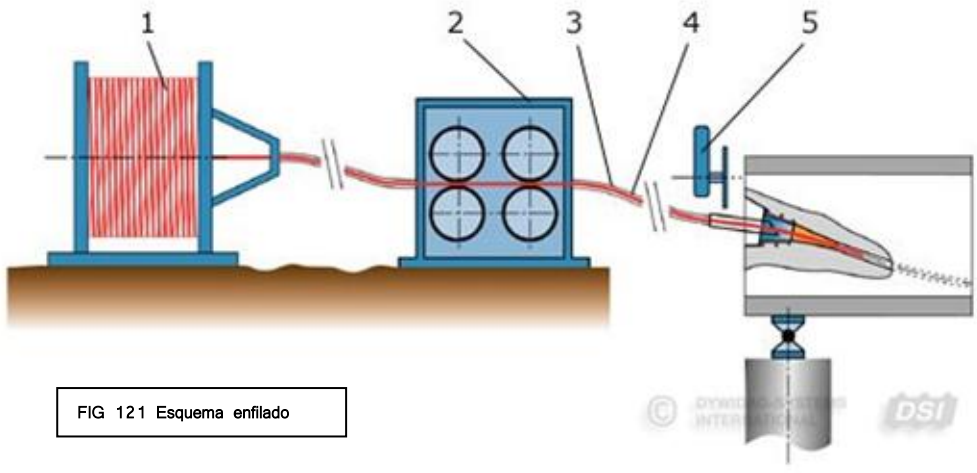


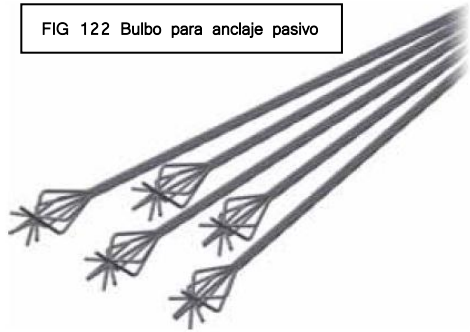
FIG 121 Esquema enfilado

- 1.- Bobina
- 2.- Equipo de empuje o lanzacables
- 3.- Torón o cordón de acero
- 4.- Vaina
- 5.- Dispositivo de corte

Una vez cortado el cordón se procede a la elaboración en obra del bulbo para el anclaje pasivo.

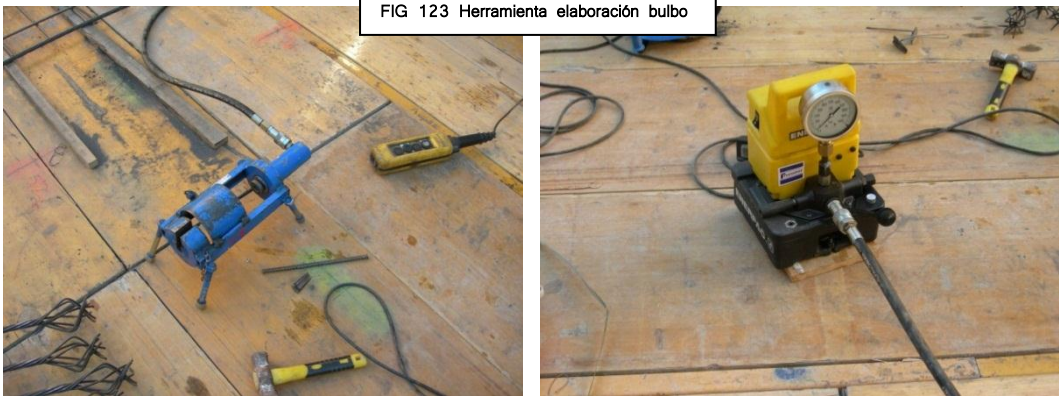
El anclaje pasivo de este proyecto es del tipo que se muestra en la fig.122.

FIG 122 Bulbo para anclaje pasivo



Para su elaboración se emplea la herramienta de la fig.123 que ejerce en el extremo del cordón una pequeña compresión que configura el mismo en forma de bulbo.

FIG 123 Herramienta elaboración bulbo



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

En el extremo de cada cable se coloca una **pieza metálica en forma de bala** que evita que se desfleje y dañe la vaina.

FIG 124 Pieza tipo "bala" para enfilado



El especialista enfila el número de cordones previstos en el proyecto con la sobre-longitud necesaria para su posterior tesado.

Finalmente, cortado el cable y hecho el bulbo del anclaje se procede a introducir el cordón en el interior de la vaina.

Antes se ha dispuesto alrededor del anclaje activo un refuerzo de armadura pasiva y con forma helicoidal, según cálculo. Fig.124.



FIG 125 armadura para refuerzo anclaje pasivo



A continuación se colocan los anclajes activos, atornillados en el interior de los cajetines y se sellan debidamente para evitar el hormigón en su interior.

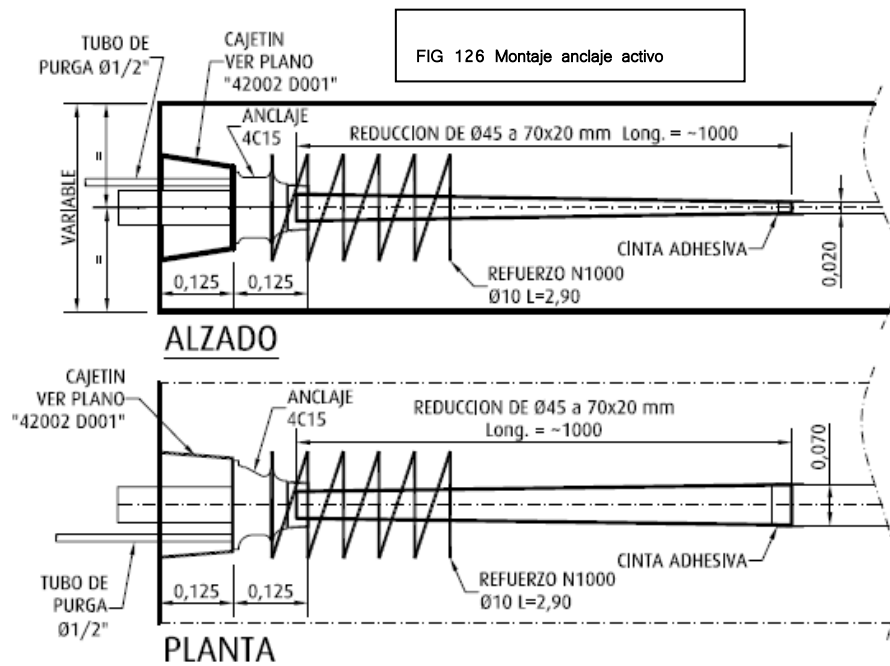


FIG 126 Montaje anclaje activo

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**5.2.2.6.- Montaje de la armadura pasiva superior, colocación tubos de purga**

Previo al montaje de la armadura superior se procede al sellado de los cajetines para evitar que el hormigón fresco acceda al interior y dificulte los trabajos de tesado.

Se utiliza para el sellado espuma de poliuretano. Fig.127



A continuación se procede al montaje de la armadura superior.



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Finalmente se colocan los tubos de purga en el interior de las vainas y a cada extremo del tendón.

En el **extremo del anclaje activo**, por donde se instala el gato hidráulico para el tesado, se fija mediante una abrazadera y alambre.



En el **extremo del anclaje pasivo**, por donde purga la inyección, es útil el empleo de la espuma de poliuretano que además de fijar el tubo sellará la entrada de hormigón en el interior de la vaina.



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**5.2.2.7.- Hormigonado**

El volumen de hormigón a verter y los tiempos disponibles para el vertido obligaban la puesta en obra del hormigón mediante bombeo.

Debido a las fachadas protegidas y a la ubicación del edificio en pleno centro de la ciudad, se planteaban excesivas dificultades para la instalación de una autobomba.

Se instaló por tanto una **bomba estática** en el interior de la obra para el vertido del hormigón.



FIG 131 Bomba estática, bombeo hormigón

Para la distribución horizontal del hormigón en las plantas altas se instaló un distribuidor como el de la fig. , tipo “pulpo”



FIG 132 Distribución horizontal hormigón

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Para las juntas de hormigonado se utilizó **armadura metálica “nervometal”**



FIG 133 Juntas de hormigonado, nervometal

Las juntas de hormigonado permitían además de disponer de más de una jornada de hormigonado, **mejorar la organización de obra**, pues al no disponer de zonas de acopio para materiales y herramientas, con el hormigón endurecido del primer vertido se disponía del mismo para esta función.



FIG 134 Organización de obra sobre hormigón endurecido

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

FIG 135 Durante el vertido del hormigón



FIG 136 Trabajos de terminación del hormigón



APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**5.2.2.8.- Tesado**

Una vez hormigonado y desencofrado el especialista procede a la colocación de las cabezas de anclajes y cuñas.

El **preacuñado** es una manera de empujar las cuñas individual y simultáneamente con un dispositivo hidráulico a una carga predeterminada. No se depende entonces del inseguro asentamiento de las cuñas simplemente por arrastre.

El proceso de tesado comienza una vez alcanzada la resistencia del hormigón mediante la preceptiva rotura de probetas y comunicada esta por la Obra al especialista.

FIG.137 Bomba hidráulica del equipo de tesado

El equipo de tesado consiste en una serie de gatos y cilindros hidráulicos así como bombas hidráulicas para alcanzar la carga de tesado deseada.

Las capacidades de los gatos oscilan entre los **250 kN a 15.000 kN**.

Los cilindros hidráulicos son altamente sofisticados, pero de sencillo manejo. Emplean un conjunto de tubos con dispositivos de agarre automáticos que guían los torones de forma segura a través del cilindro hidráulico. Este diseño posibilita controlar el proceso de tesado con la mayor fiabilidad y a la vez minimizar las pérdidas de carga por asiento de las cuñas, al hacer uso del potente dispositivo de preacuñado. Los cilindros hidráulicos posibilitan **sobretensar y relajar los torones**, de forma que se compensen las pérdidas por fricción y se maximicen los esfuerzos de tesado a lo largo de todo el tendón.



FIG. 138 Gato de tesado del equipo

Cada cilindro hidráulico tiene una **válvula de descarga de presión** por motivos de seguridad, que se activa para limitar la presión hidráulica en caso de defecto de la bomba hidráulica. Para poder chequear la operación de tesado existe una conexión hidráulica adicional situada sobre el cilindro hidráulico para conectar un manómetro calibrado.

Los tendones tesados se pueden destensar con cuñas especiales y una configuración especial del gato. Las bombas hidráulicas pueden equiparse con un dispositivo adecuado de control remoto.

El proceso de tesado se realiza siguiendo las indicaciones del **programa de tesado** confeccionado previamente. *Ver anexo programa de tesado*

Durante la operación de tesado el **especialista registra** en el correspondiente parte los **distintos escalones de carga y alargamiento** de toda la operación.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

Los aparatos de medida están calibrados, asimismo los alargamientos se miden con una precisión no inferior al 2% del recorrido total.

Los anclajes tipo C y F se tesaron con gato monocordón.



FIG 139 Tesado gatos F con gato monocordón



FIG 140 Anclajes tipo C ya tesados

y los tipo M con multicordón.
Para el manejo del gato se emplea la pluma hidráulica de la fig.



FIG 141 Pluma hidráulica para gato multicordón

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN



FIG 142 Preparación gato multicordón

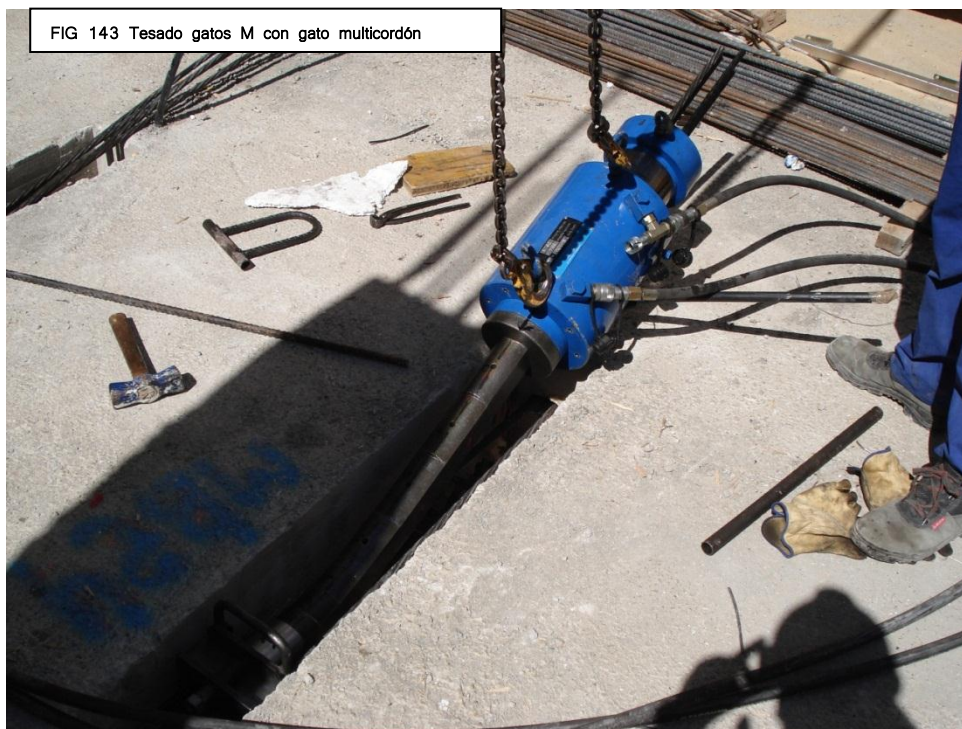


FIG 143 Tesado gatos M con gato multicordón

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**5.2.2.9.- Inyección de la lechada**

La **durabilidad de la obra postensada** depende fundamentalmente del éxito de la operación de inyección de la lechada de cemento.

El cemento, una vez fraguado, cumple la función de hacer de elemento de unión entre hormigón y tendón a la vez que garantiza una protección anticorrosiva primaria y permanente para el acero de tesado.

La inyección está basada en una lechada tixotrópica y plastificada utilizando un equipo de inyección a presión.

La inyección se ejecuta siempre desde un punto bajo del tendón.



FIG 144 Equipo de inyección

Éste puede ser uno de los anclajes siempre y cuando disponga de una caperuza con su correspondiente manguera de inyección o encontrarse a lo largo del tendón utilizando una boca de inyección intermedia.

Se debe cuidar la preparación de la inyección: composición, amasado y tamizado.

Previamente se limpian las vainas con aire comprimido.

La **presión del bombeo** puede oscilar entre 3 y 7 atmósferas.

Se redacta y archiva el informe de inyección.



FIG 145 Cemento para la lechada

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**6. ASPECTOS ECONÓMICOS. CONCLUSIONES**

Una de las justificaciones de la solución de elementos estructurales con hormigón postesado, es la que habla de la reducción en materiales como hormigón y acero corrugado.

Pese a esto, cuando se habla de economía en el empleo del postesado no se puede enfocar como un mero ahorro en coste de materiales ya que la mayor parte del costo total de la estructura no derivará de la propia ejecución.

La economía, al utilizar hormigón postesado, debe entenderse como un ahorro a lo largo de la vida útil de la estructura.

Este trabajo de documentación y síntesis permite concluir que esta tecnología no ofrece, en principio, obstáculos técnicos para su desarrollo puesto que **tanto el diseño como el cálculo se realizan según bases conocidas**. A esto debe añadirse los 40 años que esta tecnología lleva utilizándose satisfactoriamente en otros países, lo que ha permitido validar los criterios de diseño, la metodología de cálculo y los diferentes procesos constructivos.

A pesar de todo existe en nuestro país una serie de **obstáculos** que impiden su difusión:

- El que no exista en este momento **ningún texto legal dedicado a esta tipología de forjado** se une.
- La **tendencia conservadora de constructoras y oficinas técnicas** que rechazan proyectar estructuras pretensadas para la edificación.
- El **desconocimiento general** de las posibilidades que ofrece esta tecnología.

Como **conclusión** se sintetizan a continuación las **ventajas técnicas y económicas** que proporciona el uso del hormigón postesado en losas de edificación:

- **Reducción** no sólo la **deformabilidad instantánea** sino también la **diferida**. Las fuerzas introducidas por el pretensado equilibran las cargas exteriores, lo que a efectos prácticos, es como si estas se redujeran considerablemente,
- Dado que el pretensado requiere materiales de alta resistencia (aceros de alto límite elástico, hormigón de resistencias superiores a 30 MPa), la **capacidad resistente de las piezas sometidas a flexión** aumenta notablemente.
- Al encontrarse la estructura comprimida a edades tempranas, **disminuyen los efectos de la retracción del hormigón** y por lo tanto se puede aumentar la **separación o incluso eliminar las juntas de dilatación**.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

- Conlleva una **reducción de cantos, espesores, armaduras pasivas** y, en general, de peso propio con respecto al hormigón armado, lo que permite, a su vez, aumentar las luces a cubrir. **Ahorro económico considerable en coste de materiales**
- Es posible, gracias al efecto de cosido, construir por tramos, reutilizar equipos y solidarizar posteriormente los elementos construidos.
- Al completar el tesado de una planta la estructura ya es auto-resistente por lo que permiten un **descimbrado o desapuntado más precoz** que las de hormigón convencional derivando en una notable **reducción de los tiempos de ejecución y costes**. La posibilidad de empezar los trabajos de albañilería con anterioridad, hace que la solución postesada sea excelente para un proyecto con unos plazos de ejecución ajustados.
- La estructura se encuentra permanentemente comprimida, **por consiguiente la estructura ofrece un óptimo comportamiento a la fisuración, resultan elementos más rígidos, durables y estancos**. Demostrando así tener un mejor comportamiento frente al fuego que los forjados reticulares y que las alveoplacas.
- **Alta resistencia a la fatiga**, ya que la amplitud de los cambios tensionales en el acero activo, bajo cargas alternadas, son muy reducidos.
- **Mayores luces** con mayores esbelteces de las losas que permiten ahorro de hormigón reduciendo el peso propio de la estructura. **Se puede reducir hasta un 30% el canto de la losa sin disminuir la capacidad portante**.
- El **menor peso propio de los forjados**, hace que las solicitaciones sísmicas sean de menor entidad. La reducción de peso propio del forjado disminuye la carga total que llega a la cimentación. Además teniendo en cuenta su gran ductilidad hace el comportamiento sísmico sea notablemente superior al de una estructura de hormigón convencional.
- **Mayor resistencia al punzonamiento** debido a un apropiado trazado de los tendones a su paso por los soportes.
- Al estar la estructura comprimida a edades tempranas, disminuyen los efectos de la retracción del hormigón repercutiendo en un **aumento de las distancias entre juntas de dilatación**, pudiendo incluso eliminar alguna.

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN**7. BIBLIOGRAFÍA****Publicaciones:**

G. Corres Peiretti y J.C. Arroyo Portero. **Estructura de edificación, postesada y sin juntas.** Una apuesta de futuro. Artículo central del nº218 de la revista Hormigón y Acero editada por ACHE. Pags. (55-61)

Pere Ossó y Iván Lima. **Forjados con postesado bidireccional en aparcamientos.** Quaderns d'estructures nº 21. Diciembre 2005.

Pere Ossó y Iván Lima. **Forjados postesados. Tipologías/Rangos de utilización/Predimensionamiento.** Quaderns d'estructures nº 22. Febrero 2006.

H.Corres, J.Romo y J.Torrigo. Centro comercial Avenida de las Provincias. Fuenlabrada. Losas postesadas adherentes con vaina oval. Realizaciones de edificación, del nº 213 de la revista Hormigón y acero editada por ACHE. Pags (3-28)

J.A.Llombart (Estudio de ingeniería y proyectos EIPSA. Madrid). **El postesado en edificación.** Revista HORMIGÓN Y ACERO publicada por ACHE. (Asociación científica técnica del hormigón estructural) pags.(129-141)

Fritz Leonhardt. **Estructuras de hormigón armado** Vol.5 (Hormigón Pretensado)

Fernando Sánchez-Carlos González. **Curso de hormigón pretensado.** Vol.1 Fundamentos.

ATEP. **Recomendaciones para el proyecto y construcción de losas postesadas con tendones no adherentes HP-96.** Manual de la ATEP (Asociación Técnica Española de Pretensado).

Recomendaciones. Normativa nacional e internacional.

EHE 08. **Instrucción de hormigón estructural**

R-1 Post-Tensioning Institute 1988. **Diseño de Losas Poestesadas.** Ed. Limusa, México

Catalogos comerciales

Freyssinet. El pretensado en edificación. <http://www.freyssinet.es>

VSL-CTT Stronghold. Forjados postesados. <http://www.ctt-stronghold.com/>

MK4. Forjados postesados <http://www.mekano4.com>

Diwidag systems international. Sistema diwidad de postesado con cable adherente [http:// www.dywidag-sistemas.com/](http://www.dywidag-sistemas.com/)

APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POSTESADO EN EDIFICACIÓN

8. ANEJOS

8.1 Planos

Se adjuntan planos de la obra ejecutada en Valencia con losas postesadas, y que ha sido objeto del apartado 5 del trabajo.

8.1.1. Ejemplo plano distribución armadura activa

8.1.2. Ejemplo plano armadura pasiva inferior

8.1.3. Ejemplo plano armadura pasiva superior

8.1.4. Ejemplo plano alzados armadura activa

8.1.5. Ejemplo plano refuerzo a punzonamiento 01

8.1.6. Ejemplo plano refuerzo a punzonamiento 02

8.2 Recepción de ejecución de las losas

Igualmente se adjunta documento de recepción de ejecución de las losas del edificio en cuestión, facilitado por la ingeniería Freyssinet a la constructora.