

115
2ij

"EL CONCRETO PRESFORZADO"

ARQ. JOSE LUIS CALDERON CABRERA

ARQ. LUIS ENRIQUE OCAMPO ESPARZA

ARQ. ARNOLDO DEL MORAN MIRAZO

lic. Arquitectura

VICTOR JOSE HOYOS PARRAO

P. E. T. 1

U. N. A. M.

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CAPITULO I.- EL CONCRETO PRESFORZADO

- I.1.- INTRODUCCION
- I.2.- NOCIONES GENERALES
- I.3.- VARIEDADES DE CONCRETO PRESFORZADO
 - I.3.1.- Concreto Presforzado con Cables Pretensados
 - I.3.2.- Concreto Presforzado con Cables Postensados
- I.4.- ELEMENTOS DEL PRESFUERZO
 - I.4.1.- Cables Activos
 - I.4.1.1.- Cables Pretensados
 - I.4.1.2.- Cables Postensados
 - I.4.2.- Conductos Longitudinales que Contienen los Cables
 - I.4.3.- Anclajes
 - I.4.3.1.- Anclajes Pasivos
 - I.4.3.2.- Anclajes Activos
 - I.4.4.- Inyección
 - I.4.4.1.- Finalidad de la Inyección
 - I.4.4.2.- Componentes de la Inyección
 - I.4.4.3.- Características y Recomendaciones Generales.
- I.5.- VENTAJAS DEL CONCRETO PRESFORZADO: PERSPECTIVAS FUTURAS

CAPITULO II.- LOS MATERIALES

- II.1.- INTRODUCCION
- II.2.- EL CONCRETO
 - II.2.1.- Generalidades
 - II.2.2.- Influencia de las Temperaturas Extremas
 - II.2.3.- Deformaciones Diferidas: Retracción y Fluencia
 - II.2.3.1.- Retracción
 - II.2.3.2.- Fluencia
- II.3.- LOS ACEROS
 - II.3.1.- Generalidades y Tipología
 - II.3.2.- Tratamientos de los Aceros
 - II.3.2.1.- Empleo de Aleaciones Apropriadas: Aceros Naturales Duros
 - II.3.2.2.- Tratamientos Térmicos
 - II.3.2.2.a.- Temple
 - II.3.2.2.b.- Patentado
 - II.3.2.2.c.- Martempering
 - II.3.2.2.d.- Revenido
 - II.3.2.2.e.- Envejecimiento Artificial
 - II.3.2.3.- Tratamientos Mecánicos
 - II.3.2.3.a.- Calibrado
 - II.3.2.3.b.- Tratamientos en Frío
 - II.3.2.3.c.- Preestirado
 - II.3.2.3.d.- Estabilización
 - II.3.2.4.- Conclusiones

- II.3.3.- Relajación y Fluencia
 - II.3.3.1.- Definiciones
 - II.3.3.2.- Factores que Afectan a la Relajación
 - II.3.3.2.a.- Condiciones de Tensado
 - II.3.3.2.b.- Temperatura
 - II.3.3.2.c.- Tratamientos
 - II.3.3.3.- Leyes de la Relajación
- II.3.4.- Resistencia a la Fatiga
 - II.3.4.1.- Generalidades
 - II.3.4.2.- Estudio de la Fatiga
- II.3.5.- Corrosión Bajo Tensión
 - II.3.5.1.- Situación del Problema
 - II.3.5.2.- Estudio del Fenómeno
 - II.3.5.3.- Medidas de Protección

CAPITULO III.- LAS ACCIONES

- III.1.- INTRODUCCION
- III.2.- CONCEPTO DE ACCION
- III.3.- CLASIFICACION CUALITATIVA DE LAS ACCIONES
 - III.3.1.- Clasificación de las Acciones Según su Variación en el Tiempo
 - III.3.1.1.- Acciones Permanentes
 - III.3.1.2.- Acciones Variables
 - III.3.1.3.- Acciones Accidentales
 - III.3.2.- Clasificación de las Acciones Según su Variación en el Espacio
 - III.3.3.- Clasificación de las Acciones Según su Naturaleza
- III.4.- CLASIFICACION DE LAS ACCIONES
 - III.4.1.- Descripción de la Clasificación
 - III.4.2.- Acciones Directas
 - III.4.2.1.- Acciones directas Permanentes
 - III.4.2.1.a.- Peso Propio
 - III.4.2.1.b.- Cargas Muertas
 - III.4.2.2.- Acciones directas Variables
 - III.4.2.2.a.- Acciones de Explotación o de Uso
 - III.4.2.2.b.- Acciones Climáticas
 - III.4.2.2.c.- Acciones del Terreno
 - III.4.2.2.d.- Acciones Debidas al proceso Constructivo
 - III.4.3.- Acciones Indirectas
 - III.4.3.1.- Acciones Indirectas Generales
 - III.4.3.1.a.- Acciones Sísmicas
 - III.4.3.2.- Acciones Indirectas que Actúan Sobre Elementos Hiperestáticos
 - III.4.3.2.a.- Acciones Reológicas
 - III.4.3.2.b.- Acciones Térmicas
 - III.4.3.2.c.- Acciones Producidas por Movimientos Impulsos
 - III.4.4.- Acciones Debidas al Presfuerzo

- III.5.- VALORES CARACTERISTICOS DE LAS ACCIONES
 - III.5.1.- Definición de Valor Característico
 - III.5.2.- Valores Característicos de las Acciones Directas
 - III.5.2.1.- Acciones Directas Permanentes
 - III.5.2.2.- Acciones Directas Variables

CAPITULO IV.- RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO Y LA EJECUCION

- IV.1.- RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO
 - IV.1.1.- Generalidades
 - IV.1.2.- Recomendaciones para la Disposición y Colocación de Cables
 - IV.1.2.1.- Cables Activos Postensados
 - IV.1.2.2.- Cables Pasivos
 - IV.1.3.- Inyección: Aspectos Particulares
 - IV.1.3.1.- Elección de la Mezcla de Inyección
 - IV.1.3.2.- Elementos para Realizar la Inyección
 - IV.1.4.- Zonas de Anclaje
 - IV.1.4.1.- Objetivos de las Varillas de Refuerzo
 - IV.1.4.2.- Dimensionamiento
- IV.2.- RECOMENDACIONES PARA LA EJECUCION
 - IV.2.1.- Generalidades
 - IV.2.2.- Precauciones Previas a la Colocación de los Cables
 - IV.2.3.- Colocación y Empalme de los Cables Activos
 - IV.2.3.1.- Colocación
 - IV.2.3.1.a.- Cables Pretensados
 - IV.2.3.1.b.- Cables Postensados
 - IV.2.3.2.- Empalme
 - IV.2.3.2.a.- Cables Pretensados
 - IV.2.3.2.b.- Cables Postensados
 - IV.2.4.- Vainas y Conductos
 - IV.2.4.1.- Trazado y Colocación
 - IV.2.4.2.- Empalmes
 - IV.2.5.- Precauciones
 - IV.2.5.1.- Precauciones Previas al Colado
 - IV.2.5.2.- Precauciones Durante el Colado
 - IV.2.5.3.- Precauciones Después del Colado
 - IV.2.6.- Realización del Tensado
 - IV.2.6.1.- Consideraciones Generales
 - IV.2.6.2.- Proceso de Tensado
 - IV.2.6.3.- Precauciones
 - IV.2.6.3.a.- Antes del Tensado
 - IV.2.6.3.b.- Durante el Tensado
 - IV.2.6.3.c.- Después del Tensado

- IV.2.7.- Ejecución de la Inyección
 - IV.2.7.1.- Plazo para la Realización de la Inyección
 - IV.2.7.2.- Preparación de los Conductos antes de la Inyección
 - IV.2.7.3.- Preparación de la Mezcla
 - IV.2.7.4.- Realización de la Inyección
 - IV.2.7.5.- Reinyección
 - IV.2.7.6.- Precauciones en Tiempo Frío

CAPITULO V.- MONTAJE

- V.1.- INTRODUCCION
- V.2.- SELECCION DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
 - V.2.1.- Trabes
 - V.2.1.1.- Situación Física de la Obra
 - V.2.1.1.a.- Elementos Pretensados
 - V.2.1.1.b.- Elementos Postensados
 - V.2.1.2.- Conocimiento de la Topografía del Lugar
 - V.2.1.2.a.- Trabes Coladas en Sitio
 - V.2.1.2.b.- Trabes Coladas en Mesas de Trabajo
 - V.2.1.3.- Evaluación de los Medios
 - V.2.2.- Lozas
 - V.2.2.1.- La Rapidez de Ejecución
 - V.2.2.2.- La Solución de Grandes Claros
- V.3.- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE
 - V.3.1.- Trabes
 - V.3.2.- Elementos precolados

CAPITULO VI.- SISTEMAS DE PRESFUERZO

C A P I T U L O I

E L C O N C R E T O P R E S F O R Z A D O

I.1.- INTRODUCCION

El concreto presforzado ha surgido de la búsqueda consciente de una alternativa que permitiera superar ciertas dificultades encontradas - por la técnica del concreto armado.

Así, su origen no podrá calificarse de más o menos azaroso, - como lo fuera el de su directo antecesor. Resulta difícil aceptar el hallazgo de Monier -jardinero francés del siglo XIX- al lograr fabricar macetas de concreto armado con telas metálicas, como producto de una investigación fundamentada.

Por el contrario, el concreto presforzado representa la culminación de un proceso de innegable trascendencia científica. La idea básica del concreto presforzado es hacer frente a la sollicitación de flexión con un material compuesto -acero para las tensiones, concreto para las compresiones-, que se había probado incapaz de proporcionar soluciones viables a ciertos problemas constructivos.

La comunidad técnica se plantea el reto de optimizar el aprovechamiento del binomio concreto/acero. Las herramientas de las que se valdrá para ello son un mejor conocimiento de las propiedades de los materiales y, principalmente, un enfoque conceptual que en modo alguno se puede calificar de elemental: la idea de introducir en la estructura antes de su puesta en carga un estado de tensiones -o, si preferimos, de deformaciones- de signo opuesto al que producirán las cargas, con la finalidad de compensarlo total o parcialmente.

El camino recorrido por esta feliz concepción teórica, hasta convertirse en una técnica constructiva viable se encontrará con numerosos y variados obstáculos, tanto tecnológicos como de otra índole.

No debemos olvidar que un proceso científico-técnico del carácter del que nos ocupa, por su condición de evolución dirigida de una técnica ya existente, se enfrenta permanentemente con una doble exigencia: pre-

servar virtudes y eliminar defectos. El éxito del concreto presforzado no - habría sido posible de no haber conservado esencialmente -con el lógico cambio de escala- las dos grandes ventajas del concreto armado: su extraordinaria adaptabilidad a toda clase de formas estructurales y, ante todo, la sobresaliente economía que introduce frente a otras soluciones resistentes.

Tipológicamente, sabemos que en el arco las solicitaciones - principales son de compresión, mientras que en la viga hay que considerar en primer lugar la flexión. Como ya hemos dicho, la sollicitación de flexión - produce una zona tensionada en la sección, que hará necesario disponer varillas de acero (masivamente si nuestra pieza pretende salvar grandes claros)- para resistir los esfuerzos de tensión. El peso propio del concreto armado se convertía así en el obstáculo principal que encontraban las vigas de grandes claros. No resulta extraño que históricamente este campo hubiera estado dominado por las soluciones metálicas.

Este inconveniente se superó finalmente precomprimiendo al - concreto -en algunos casos con gatos, en los más valiéndonos de varillas de acero de alta resistencia-, poniendo así en práctica la idea generatriz de la nueva técnica del concreto presforzado.

La idea del presfuerzo es antiquísima. Basta recordar el - proceso de la ejecución manual de los toneles, donde al calar los arcos se producen precompresiones circunferenciales en las' duelas, uniéndolas estrechamente. La rueda de una bicicleta, como el aire comprimido de los neumáticos, son muestras distintas de la aplicación del principio de presfuerzo: - someter a un material, incapaz de resistir sollicitaciones en un cierto sentido, a esfuerzos iniciales de sentido contrario.

La primera propuesta de presforzar el concreto se remonta a 1886, año en que el norteamericano P.H. Jackson registra una patente donde - propone el empleo de tirantes presforzados provistos de anclajes de rosca o de cuña.

Los primeros éxitos prácticos los obtuvo K. WETTSTEIN, en 1919, con sus "tablones elásticos de concreto". Con objeto de alcanzar una resistencia del concreto lo más alta posible, WETTSTEIN utilizó inicialmente como acero alambres de cuerda de piano, con una resistencia de 14,000 a 20,000 kg/cm². Pronto advirtió que carecía de sentido introducir los alambres sin tensión. En consecuencia, los tensó hasta un punto próximo a su límite elástico, colocándolos próximos a la superficie. Con notable intuición, pensó que la adherencia concreto/acero 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 "tablones de concreto" así fabricados, con espesores de 6 a 50 mm y longitudes de 2 a 6 m, con 50 cm de anchura, se caracterizaban por su gran elasticidad. Así, los tablones de 2 m podían flexionarse hasta formar un cuarto de círculo, recuperando su forma inicial una vez descargados.

A partir de estos primeros logros, se sucedieron diversas innovaciones que a lo largo de los años han ido decantando tras salvar la prueba de la experimentación y la utilización práctica en la actual técnica del concreto presforzado.

I.2.- NOCIONES GENERALES

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

El concreto presforzado no es un material mixto: en esencia, se trata de concreto que, gracias a un tratamiento mecánico inicial -una pre-solicitación del concreto 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.

El fenomeno puede explicarse claramente mediante el esquema de la figura I.1.

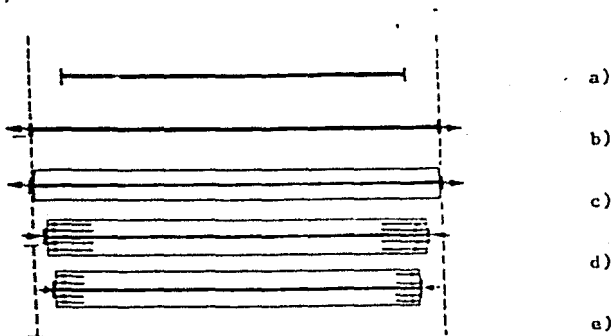


Figura I.1

- a) Los cables de acero estan sin tension alguna.
- b) Se tensan los cables hasta una fracción de su limite elastico.
- c) Manteniendo externamente la tension de los cables, la pieza se ha colado; el concreto aun no esta sometido a tensiones.
- d) El concreto ha fraguado. Los cables han sido liberados de sus coacciones exteriores, anclandolos en la pieza de concreto, y tienden a acortarse, recuperando su longitud inicial, pero los anclajes y la adherencia acero/concreto coartan su desplazamiento. El esfuerzo transferido por el acero al concreto lo comprime. El concreto se ha presforzado.
- e) Bajo la compresion a la que esta sometido, el concreto se acorta por fluencia. Como consecuencia del secado y endurecimiento se produce un acortamiento adicional -de retraccion-, traduciendose al acortamiento total en una perdida de tension de los cables.

Para obtener un presfuerzo ~~eficaz~~ será necesario utilizar - acero de alto límite elástico, que admita una deformación elástica varias - veces mayor que el acortamiento total del concreto, de modo que se conserve un alto porcentaje de la fuerza inicial del presfuerzo. La fuerza de tensión a la que se someten los cables es el presfuerzo que actúa sobre el elemento de concreto; por tanto, no ocasionará reacciones de apoyo en las estructuras isostáticas.

I.3.- VARIEDADES DE CONCRETO PRESFORZADO

De acuerdo a lo ya establecido, se diferencian dos tipos de aceros en el concreto presforzado: cables activos son los de acero de alta resistencia mediante los cuales se introduce el presfuerzo; varillas pasivas son las varillas habituales del concreto armado, asociadas a las anteriores.

Según la fase del proceso de ejecución en la que se introduce el presfuerzo en los cables activos, se distinguen dos tipos de concreto presforzado:

- Concreto presforzado con cables pretensados.
- Concreto presforzado con cables postensados.

I.3.1.- CONCRETO PRESFORZADO CON CABLES PRETENSADOS

Es el tipo idóneo para prefabricación.

El proceso de ejecución, esquematizado, es el siguiente:

- Tensado de los alambres -pretensado-, y anclaje de los mismos en los extremos de la bancada de fabricación (Figura I.2).
- Colado de la pieza o piezas.

- Cuando el concreto alcanza en su fraguado una resistencia determinada, se cortan los alambres entre piezas, con lo que el presfuerzo se transfiere de los alambres al concreto. Los alambres se anclan por simple adherencia, no requiriéndose ningún otro dispositivo de anclaje.

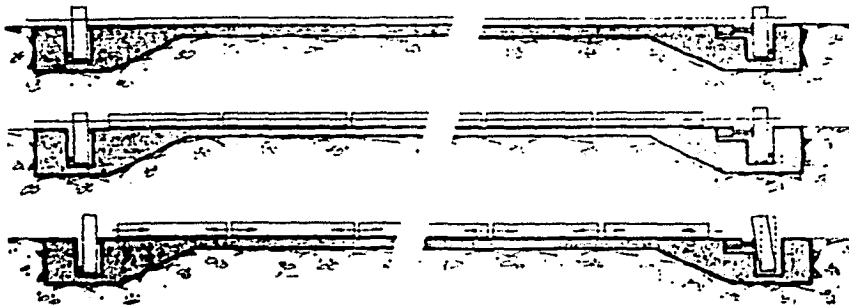


Figura I.2

Este procedimiento es muy indicado para el taller, y en general para claros inferiores a 25 m, 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, empleando cables pretensados no hay pérdidas por rozamiento.

Empleando aislantes, como muestra la Figura I.3, podemos localizar el presfuerzo en zonas concretas, lo cual nos permite una gran flexibilidad de diseño.

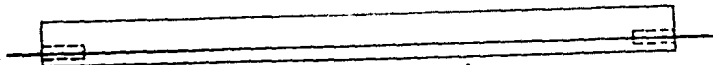


Figura I.3

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 los cables a la resistencia a cortante de la pieza.
- Requiere mucha mano de obra, por lo que resulta antieconómico.

En la actualidad, se recurre en ocasiones a recubrir los extremos de las varillas con papel engrasado, con análogo propósito. Se ha demostrado, empero, que este procedimiento conlleva problemas potenciales de contaminación química.

En ocasiones, será necesario acudir a soluciones del tipo indicado en la Figura I.4, que permiten aproximarnos al trazado ideal.

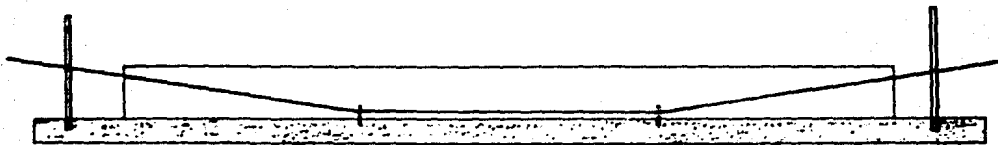


Figura I.4

Son los cables pretensados 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.

I.3.2.- CONCRETO PRESFORZADO CON CABLES POSTENSADOS

En este procedimiento se cuela primero la pieza, disponiendo conductos o ductos para alojar los cables activos, que sólo se tensan cuando el concreto ha adquirido la resistencia suficiente para soportar el presfuerzo. Las piezas así fabricadas se llaman de concreto presforzado con cables postensados.

El orden de las operaciones del proceso de ejecución será - ahora el siguiente:

- Disposición de las varillas pasivas dentro de la cimbra, así como de los cables activos sin tensar, introducidos en conductos longitudinales llamados ductos.
- Colado de la pieza, y fraguado del concreto.
- Con el concreto ya endurecido, una vez alcanzadas unas resistencias determinadas, se tensan los cables activos -postensado- y se anclan.
- Los conductos se podrán:
 - a) Rellenar con una inyección (cuya naturaleza se tratará más adelante), procedimiento que nos conduce a la situación de -cables adherentes-.
 - b) Rellenar de algún producto protector probablemente inofensivo, no coartando el libre deslizamiento de los cables (sometidos a un tratamiento anticorrosivo) en su interior -cables no adherentes-.

Los cables adherentes quedan solidarizados al concreto desde el momento en que se inyectan y quedan impedidos los deslizamientos entre ambos materiales (ver I.4.4.1).

Si existen cables activos no adherentes, éstos no pueden solidarizarse con el resto de la sección.

I.4.- ELEMENTOS DEL PRESFUERZO

Nos referimos ahora brevemente al material y a las operaciones empleadas para la realización de una pieza en concreto presforzado con cables postensados.

Esencialmente, nuestros elementos serán:

- Los cables activos y pasivos.
- Los conductos longitudinales que contendrán los cables.
- Los anclajes.
- La inyección.

Cada uno de estos elementos admitirá diferentes realizaciones técnicas que, junto con los procedimientos de puesta en práctica, constituirán los diversos sistemas de presfuerzo que existen en la actualidad.

I.4.1.- CABLES ACTIVOS

Son de acero de alta resistencia, y sirven para introducir el presfuerzo, y se dividen en tres tipos:

- Alambres
- Barras
- Cables

Asimismo se denomina tendón a la unidad de cables a efectos de cálculo, esto es, al conjunto de cables de presfuerzo que se alojan en un mismo conducto.

I.4.1.1.- CABLES PRETENSADOS

Los cables activos pretensados están constituidos, generalmente por alambres.

Como el anclaje definitivo de estos cables se hace por adherencia con el concreto, deben poseer unas características adherentes mínimas que garanticen este tipo de anclaje y las hagan adecuadas para su utilización en la forma prevista. Por eso, se recomiendan las cableadas o las constituidas por alambres grafilados u ondulados, en vez de lisos. En el caso de emplear alambres lisos, que éstos sean de diámetros pequeños (iguales o inferiores a 7 mm), en los cuales la relación entre su perímetro y sección es mayor que en los alambres gruesos, por lo que presentan, proporcionalmente, una mayor superficie de contacto con el concreto, lo que favorece la adherencia.

I.4.1.2.- CABLES POSTENSADOS

Los cables postensados se disponen generalmente en el interior del concreto y deberán poder deslizarse libremente durante la puesta en tensión (la compresión se produce solamente si es posible el acortamiento del concreto, por lo que será preciso velar por todos los medios porque nada impida el acortamiento de la estructura en la dirección del presfuerzo). En consecuencia, habrán de ser dispuestos antes del colado (o bien enfilados tras el mismo) en conductos longitudinales (ductos) que desemboquen en las paredes libres de la pieza, para permitir la puesta en tensión de los cables activos.

Una vez fraguado y endurecido el concreto (i.e., alcanzada una resistencia prefijada), se sujetarán los cables mediante **gatos**, los cuales vendrán a apoyarse sobre el concreto. Acto seguido, se ejercerá mediante estos gatos la tensión de presfuerzo sobre los cables, logrando comprimir así la pieza de concreto.

Cada uno de los cables tensados debe ser **anclado** para poder liberar los gatos. Será preciso proteger de la corrosión a los cables activos ya tensados. En la mayor parte de los casos, realizaremos esta protección mediante una **inyección**, que proporcionará una adherencia acero/concreto, quedará únicamente por realizar una **operación de acabado** consistente en proteger el anclaje y los alambres que sobresalgan del concreto.

I.4.2.- CONDUCTOS LONGITUDINALES QUE CONTIENEN LOS CABLES

Existen dos métodos principales de materializar estos conductos. El más primitivo consiste en disponer en la pieza, antes del colado, barras de acero ordinario recubiertas de plástico o caucho, que se retiran cuando el concreto lleva uno o dos días de fraguado. Este procedimiento ofrece un doble inconveniente: por una parte, solamente puede emplearse cuando el trazado es rectilíneo o de poca curvatura; por otra, el rozamiento que se producirá en conductos tan rudimentarios ocasionará pérdidas de presfuerzo del orden del 100% superiores a las obtenidas con conductos metálicos o plásticos.

Todo ello hace que el método en cuestión haya sido abandonado casi por completo, en favor del procedimiento actual, según el cual se dispondrán antes del colado, siguiendo el trazado de los tendones, ductos metálicos de un espesor de la lámina que varía entre 0.2 y 1.5 mm.

Conviene destacar la importancia del papel que juegan los ductos en los elementos presforzados. La buena ejecución de estos elementos depende, en gran medida, de la correcta colocación de los ductos y de la buena elección del tipo de ellos que se vaya a utilizar, tipo definido por sus características geométricas y resistentes (diámetro, espesor de la lámina, corrugas, etc.). Ambos factores influyen en el buen colado del elemento. Debe recordarse que un gran número de fallas y problemas que se presentan, tanto durante la construcción como en el posterior comportamiento de la pieza, son motivados por una defectuosa colocación de los ductos.

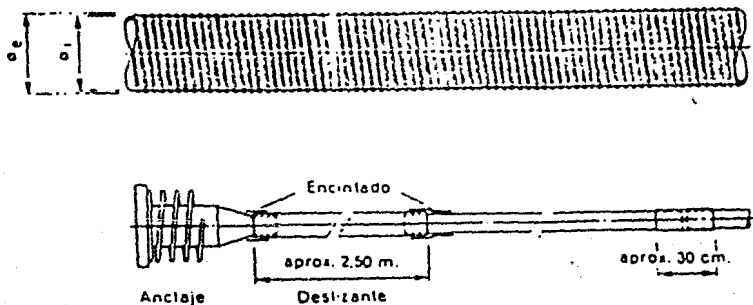


Figura I.6

Los ductos pueden ser lisos, pero es mucho más ventajoso emplear modelos que presenten nervaduras anulares, como las de la Firuga I.6. - Tales nervaduras aumentan grandemente su rigidez transversal, reduciendo el riesgo de aplastamiento total o parcial del ducto. Este aplastamiento aumentaría las pérdidas de presfuerzo por rozamiento en el mejor de los casos. En el peor, podría llegar a bloquear el conducto, produciendo graves inconvenientes.

Esta rigidez transversal debe estar acompañada por la flexibilidad longitudinal suficiente para seguir sin dificultad los trazos curvos. - Ambas características se conjugan en el ducto metálico habitual, constituido por una hoja nervada enrollada helicoidalmente (**flejes helicoidales**) (1).

El ducto deberá ser estanco; en caso contrario, podrá verse obstruido por filtraciones de cemento, con lo cual se ocasionarían taponamientos en los mismos.

De igual forma que los metálicos, también se emplean ductos de material plástico.

Generalmente se disponen los cables ya enductados en la cimbra. Los trazados curvos deberán evitar cualquier tipo de quiebres, sumamente perjudiciales por su perversa influencia en el rozamiento. Salvo casos excepcionales, es mejor evitar siempre adoptar formas complicadas bajo pretexto de mejorar la resistencia.

Cuando se cuele con los ductos vacíos, será preciso introducir posteriormente los cables en la operación de **enfilado**. Esta se realiza mecánicamente, facilitando el deslizamiento de los cables mediante dispositivos de rodamiento colocados en el extremo de la pieza de concreto.

(1) La corrugación permite que la inyección envuelva por completo a los alambres, excepto en pequeñas superficies de contacto, y da origen a la adherencia por cizallamiento ducto/concreto.

Los ductos pueden ser lisos, pero es mucho más ventajoso emplear modelos que presenten nervaduras anulares, como las de la Firuga I.6. - Tales nervaduras aumentan grandemente su rigidez transversal, reduciendo el riesgo de aplastamiento total o parcial del ducto. Este aplastamiento aumentaría las pérdidas de presfuerzo por rozamiento en el mejor de los casos. En el peor, podría llegar a bloquear el conducto, produciendo graves inconvenientes.

Esta rigidez transversal debe estar acompañada por la flexibilidad longitudinal suficiente para seguir sin dificultad los trazos curvos. - Ambas características se conjugan en el ducto metálico habitual, constituido por una hoja nervada enrollada helicoidalmente (**flejes helicoidales**) (1).

El ducto deberá ser estanco; en caso contrario, podrá verse obstruido por filtraciones de cemento, con lo cual se ocasionarían taponamientos en los mismos.

De igual forma que los metálicos, también se emplean ductos de material plástico.

Generalmente se disponen los cables ya enductados en la cimbra. Los trazados curvos deberán evitar cualquier tipo de quiebres, sumamente perjudiciales por su perversa influencia en el rozamiento. Salvo casos excepcionales, es mejor evitar siempre adoptar formas complicadas bajo pretexto de mejorar la resistencia.

Cuando se cuele con los ductos vacíos, será preciso introducir posteriormente los cables en la operación de **enfilado**. Esta se realiza mecánicamente, facilitando el deslizamiento de los cables mediante dispositivos de rodamiento colocados en el extremo de la pieza de concreto.

(1) La corrugación permite que la inyección envuelva por completo a los alambres, excepto en pequeñas superficies de contacto, y da origen a la adherencia por cizallamiento ducto/concreto.

Cuando se introduzcan alambres en un mismo ducto -especialmente en trazados que presenten curvaturas de diverso signo- se emplean dispositivos separadores con el doble fin de distribuir los cables uniformemente en el interior de la vaina y de disminuir en lo posible el rozamiento.

Los ~~separadores~~ no son otra cosa que láminas de acero de poca dureza, de diámetro ligeramente inferior al interior del ducto, con perforaciones longitudinales distribuidas regularmente, por las que pasarán los alambres. Los contornos de entrada y salida de estas perforaciones se deberán redondear, para evitar las fuertes concentraciones de tensiones.

Las **características exigibles** a los ductos son las siguientes:

- Estanqueidad durante el colado y la inyección.
- Flexibilidad que les permita adaptarse fácilmente al trazado definido en el proyecto.
- Posibilidad de efectuar, con facilidad, empalmes que permitan alcanzar - cualquier longitud sin pérdida de las demás características.
- Resistencia al aplastamiento, deformaciones por golpes, efectos de vibrado y casos similares.
- Posibilidad de conseguir su acoplamiento estanco con los elementos del anclaje.
- Para la elección del diámetro del ducto, deberá tenerse en cuenta si los cables activos se van a colocar ya enductados, o si por el contrario se va a proceder a su enfilado una vez situado el ducto.

I.4.3.- ANCLAJES

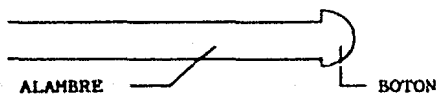
Se puede decir que la piedra angular del presfuerzo es el sistema de anclaje de los cables en el concreto.

Los cables suelen ser muy difíciles de sujetar por el alto límite elástico del acero empleado.

El anclaje tendrá la doble función de transferir al concreto el presfuerzo, y de preservar el estado tensional de los cables activos logrando así mantener el estado de presfuerzo a lo largo de la vida útil de la pieza.

Fundamentalmente, podemos distinguir:

- **Anclajes activos:** son los que se sitúan en los extremos de los tendones por los cuales se efectúa el tensado. Los tipos más corrientes son los de cuñas, cabezas botoneadas, rosca, etc., (ver I.4.3.2.).



- **Anclajes pasivos:** son los que se sitúan en los extremos de los cables por los que no se realiza el tensado. Pueden ser accesibles según se realice el colado del anclaje después o antes de tensar el tendón, respectivamente.

Los anclajes pasivos suelen ser más sencillos que los activos, ya que no es necesario aplicar en ellos ningún mecanismo; sin embargo, también pueden utilizarse los mismos anclajes activos como pasivos.

I.4.3.1.- ANCLAJES PASIVOS

Los anclajes pasivos son los que se sitúan en el extremo de los cables activos por el que no se realiza el tensado.

Pueden ser **inaccesibles** o **accesibles** según se realice el colado del anclaje antes o después del tensado del tendón.

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

- Anclajes pasivos **por adherencia**.
- Anclajes pasivos **semiadherentes**.
- Anclajes pasivos **no adherentes**.

En los primeros, el presfuerzo se transmite al concreto por la adherencia entre éste y los cables del tendón en él embebidos; en los semiadherentes, parte de la fuerza se transmite por adherencia de los cables al concreto y el resto por apoyo directo del anclaje sobre el concreto. En los anclajes no adherentes, todo el presfuerzo se transmite por apoyo directo del anclaje, igual que en los anclajes activos.

Cuando se utilice este último tipo de anclaje pasivo, 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 tensado.

Los 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 todo el presfuerzo al concreto, por lo que en el extremo de la pieza existe una determinada longitud a lo largo de la cual el presfuerzo no es totalmente efectivo.

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 los cables formas en espiral u onduladas para aumentar su adherencia con el concreto.

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

I.4.3.2.- ANCLAJES ACTIVOS

Los **anclajes activos** son los que se sitúan en los extremos de los tendones desde los que se realiza el tensado. Por consiguiente, deben tener la forma adecuada para poder aplicar sin dificultad el gato de tensado.

Todos los elementos que constituyen el anclaje deberán someterse a un control efectivo y riguroso y fabricarse con una tolerancia tal que, dentro de un mismo tipo, sistema y tamaño, todas las piezas resulten intercambiables. Además deben ser capaces de absorber, sin menoscabo para su efectividad, las tolerancias dimensionales establecidas para las secciones de los cables.

Deberán poderse fijar de un modo eficaz a la cimbra o molde, de tal forma que no se descoloquen durante el colado y vibrado de la pieza, y permitirán su perfecto ampalme a los ductos o conductos para evitar escapes de lechada de inyección por las juntas.

Los anclajes que no se suministren unidos ya a los tendones correspondientes, deben entregarse convenientemente embalados para que no sufran daños durante su transporte, manejo en obra y almacenamiento. Análogamente si se suministran unidos ya a los tendones, deberán protegerse también adecuadamente para evitar que se deterioren.

Los tipos de anclajes activos más utilizados en la actualidad son los de: cuñas, cabezas botoneadas, rosca, etc.

En los anclajes de cuña, unas veces la cuña, dividida en sectores, rodea el alambre o cable (cuñas exteriores). (Sistemas Freyssinet PSC, VSL, CTT, etc.). La superficie interior de la cuña suele ser entonces dentada. Otras veces, la cuña va situada en el centro, rodeada por los alambres (cuñas interiores), (Sistema Primitivo de Freyssinet, Barrado, etc.) (ver Capítulo VI).

Otro de los tipos utilizados es el anclaje por medio de cabezas botoneadas en frío o en caliente, en los extremos de los alambres, que transmiten el presfuerzo al concreto a través de una pieza perforada de apoyo. (Sistemas BBR, Prescón, P.Z., etc.). Ver Capítulo VI.

Si se utilizan barras como cables activos, el anclaje se hace, normalmente, roscando su extremo por laminado en frío o por botoneado en caliente. En algunos casos se emplean barras con un corrugado especial, que constituye al propio tiempo la rosca. El anclaje se completa con tuercas y placas de apoyo. (Sistemas Dywidag, Mac Alloy, etc.). Ver Capítulo VI.

La mayor parte de los dispositivos empleados como anclajes activos pueden también utilizarse como anclajes pasivos.

I.4.4.- INYECCION

La inyección es la operación consistente en rellenar los conductos de presfuerzo con un producto adecuado para proteger los cables activos contra la corrosión. Salvo en el caso de productos de inyección no adherentes, esta operación sirve además para asegurar la adherencia de dichos cables al concreto de la pieza.

I.4.4.1.- FINALIDAD DE LA INYECCION

Los objetivos principales de la inyección son:

- a) Rellenar completamente el espacio existente entre el conducto y los cables activos, a fin de **protegerlos de la corrosión.**
- b) **Establecer la adherencia** entre los cables activos y el concreto que rodea el conducto.

Los tendones alojados en conductos en el interior del concreto tienen asegurada su protección, en parte por el propio concreto de la pieza y en parte por la inyección que debe rellenar totalmente dichos conductos.

El establecimiento de la adherencia proporciona una distribución más uniforme de las eventuales fisuras y mejora la resistencia a rotura de las piezas sometidas a flexión.

I.4.4.2.- COMPONENTES DE LA INYECCION

En general, se emplearán **lechadas de cemento**, cuyos componentes son cemento, agua y, en su caso, aditivos.

En aquellos casos en los que la sección de los conductos sea excepcionalmente grande (diámetro mayor de 15 cm) podrán utilizarse morteros con una proporción de arena, en peso, referida al cemento, no superior al 30%. En condiciones normales, no se recomienda la utilización de morteros, por la mayor dificultad de conseguir con ellos una adecuada inyección, ya que si bien puede reducirse la retracción, aumenta en cambio el riesgo de formación de tapones en los conductos mientras se inyecta.

I.4.4.3.- CARACTERISTICAS Y RECOMENDACIONES GENERALES

Las **calidades generales** que la inyección deberá poseer son las siguientes:

- ser suficientemente fluida en el momento de la operación;
- al mismo tiempo, tener la consistencia precisa, sin aumentar agua, y presentar la menor retracción posible al fraguar;
- alcanzar, tras su endurecimiento, alta resistencia mecánica, necesaria para la adherencia;
- en los climas fríos, tener suficiente resistencia a la helada; y
- no contener ningún producto susceptible de corroer los cables.

Estos resultados se obtendrán:

- realizando la inyección mediante bombeo a presión suficiente (del orden de 5 a 6 kg/cm²);
- cuidando la composición de la inyección: dependerá de la longitud de los conductos a inyectar, de su trazado, de la naturaleza de sus paredes, y de la cuantía de cables;
- añadiendo a la inyección agentes expansivos en pequeñas cantidades; y
- reduciendo la relación agua/cemento.

Con ductos de gran longitud, y elevadas cuantías, será preciso inyectar lechada de cemento (Portland salvo especial justificación), añadiendo eventualmente algún producto plastificante.

Con bajas cuantías, trayectos cortos y poco curvados, se empleará mortero, elaborado con arena silícea muy pura y fina.

Los agentes expansivos deberán emplearse con suma prudencia, cuidándonos de excesos reprobables.

La relación agua/cemento deberá ser pequeña, más aún cuando se desee obtener buena resistencia a la helada. De cualquier modo, es difícil descender de 0,40 empleando lechadas, o de 0,45 utilizando morteros.

Los agentes expansivos favorecen la resistencia a la helada.

Han de proibirse terminantemente los aceleradores de fraguado que contengan cloruros, así como cualquier aditivo no sancionado por la experiencia.

La resistencia a compresión simple a 28 días, conservando las probetas en una atmósfera del 70% de humedad relativa, no será inferior a los 300 kg/cm².

Los puntos de inyección y respiraderos de los conductos serán escogidos juiciosamente: respiraderos en todos los puntos altos y puntos de inyección -cuando los ductos sean de gran longitud- en todos los puntos bajos.

Los ductos serán lavados con agua abundante y limpiados con aire comprimido antes de comenzar la inyección. No se detendrá el bombeo hasta que se observe salir abundantemente la inyección por los respiraderos.

Por último, es preciso recordar que se deberá inyectar en el plazo más breve posible -como máximo un mes- una vez tensados los cables.

I.5.- VENTAJAS DEL CONCRETO PRESFORZADO: PERSPECTIVAS FUTURAS

Pese a ser un tema que ya ha sido comentado en diversos aspectos, resumimos seguidamente los hechos esenciales.

- 1) El concreto presforzado posee **mayor durabilidad**, consecuencia de la estricta limitación de la aparición y abertura de las fisuras del concreto (cuando no se impone su ausencia absoluta), factor que redundará en una

mejor protección del acero contra la corrosión. También influye favorablemente el más cuidadoso control de ejecución que esta técnica siempre precisa.

- 2) El concreto presforzado está especialmente capacitado para recuperar su forma inicial cuando cesa la carga que lo deforma. Incluso las fisuras que producen bajo la actuación de cargas excepcionales pueden llegar a cerrarse, cuando éstas desaparecen.
- 3) La **resistencia a fatiga** del concreto presforzado es muy superior a la que presentan otros materiales constructivos, superando incluso la de las estructuras metálicas normales en construcción (remachadas o soldadas).

Al ser la tensión de trabajo de los cables activos del orden de seis veces superior a la tensión de trabajo de las varillas de una pieza de concreto armado, la fracción de la tensión de trabajo que supondrá el incremento de tensión causado por una sobrecarga periódica de influencia fundamental en la resistencia a la fatiga será mucho menor, obviamente, en el concreto presforzado.

Este hecho lo hace especialmente indicado para estructuras solicitadas cíclica y dinámicamente, como es el caso de los puentes de ferrocarril.

- 4) **Economía:** el correcto empleo del concreto presforzado ahorra del 15 al 30% de concreto, con relación al concreto armado, gracias a la cooperación total de la sección. El ahorro de acero es mucho más marcado (del 60 al 80%) debido al elevado límite elástico de los aceros de presfuerzo.

El alto grado de utilización de los materiales en el concreto presforzado exige un conocimiento profundo de sus propiedades y un cuidado especial tanto en el cálculo como en la ejecución, características que lo hacen especialmente apto para la prefabricación.

- 5) **Menor deformabilidad.** Las deformaciones en elementos de concreto presforzado son del orden de una cuarta parte de las producidas en concreto armado, para piezas de igual sección sometidas a idénticas solicitaciones.

Estas deformaciones tan pequeñas permiten al proyectista diseñar estructuras de gran esbeltez, y dan como resultado pequeñas amplitudes de vibración.

Por todas estas razones, el concreto presforzado se emplea con gran profusión en el refuerzo de obras existentes, ya sean de ladrillo, puentes de concreto, metálicos, etc.

C A P I T U L O I I

L O S M A T E R I A L E S

II.1.- INTRODUCCION

En este capítulo se pretende pasar revista a las propiedades fundamentales de los materiales que vamos a utilizar trabajando con concreto presforzado.

La exposición intenta aprovechar al máximo los conocimientos de la técnica del concreto armado que previsiblemente posee el lector.

El tratamiento del **concreto**, en consecuencia, resulta bastante sucinto, pues procura sacar a la luz exclusivamente aquellos aspectos donde nos vamos a encontrar con novedades. Las cuales no abundarán, en vista de la gran similitud de problemas y objetivos entre concretos destinados a ser "armados" y a ser "presforzados". Ello está en consonancia con la concepción unificadora de ambas técnicas que se va imponiendo día a día.

De esta forma, pasamos a estudiar los **aceros**. En el título de II.3 comienza y termina la pretendida generalidad, puesto que lógicamente nuestro análisis de "los aceros" ha de limitarse a los **aceros de cables activos, de alto límite elástico**, característicos del concreto presforzado.

Siendo los aceros de cables pasivos absolutamente análogos a los ya utilizados en concreto armado, no se les dedica atención alguna. Igualmente ocurre con las varillas transversales y estribos.

II.2.- EL CONCRETO

II.2.1.- GENERALIDADES

El concreto empleado en las obras de concreto presforzado es un material totalmente análogo al normalmente utilizado en la técnica del concreto armado.

Por esta razón, en este capítulo haremos referencia exclusivamente a los aspectos singulares que difieran de lo habitual en concreto armado

En lo concerniente a las **propiedades mecánicas** del concreto **revisaremos únicamente algunos conceptos** relativos a la resistencia a **compresión simple** y a **tensión**, al **diagrama tensiones/deformaciones**, y al **módulo de elasticidad longitudinal**.

En cuanto a sus **propiedades físicas**, merece la pena repasar con algún detenimiento las consecuencias de las temperaturas extremas sobre el concreto.

Para concluir, será preciso ampliar en cierta medida los conocimientos sobre **retracción y fluencia** ya adquiridos, puesto que estos problemas cobran nueva importancia en el concreto presforzado.

Antes de comenzar el desarrollo de estas cuestiones, queremos reseñar aquí las únicas novedades específicas que habrá que tener en cuenta trabajando con concreto presforzado.

La primera y más importante consiste en que **la resistencia a compresión simple** f'_c del concreto empleado en obras de concreto presforzado habrá de ser **igual o superior a los 250 kg/cm²**.

En segundo lugar, el empleo de **aditivos**, estará sometido a un control mucho más riguroso que cuando tratamos con concreto armado. El peligro de **corrosión de los cables**, nos obliga a **tómar todo tipo de precauciones**. Cuando los cables se anclan exclusivamente por adherencia, queda prohibido el uso de **aditivos aireantes**, pues perjudican la adherencia acero/concreto.

II.2.2.- INFLUENCIA DE LAS TEMPERATURAS EXTREMAS

Quando el **concreto está ya endurecido**, las **heladas** lo atacan del mismo modo que a una **pedra natural**.

Su **porosidad** y su **grado de saturación en agua** determinarán su comportamiento frente a la helada. La mejor garantía de resistencia la proporciona la **gran compacidad**, habitual en los cuidadosos concretos empleados en presfuerzo.

En cuanto a las **altas temperaturas** es útil recordar que, de forma aproximada (1):

- a temperaturas **inferiores a los 100°C**, el concreto no sufre
- a una temperatura de **150°C mantenida durante largo tiempo**:
 - La resistencia a compresión disminuye algo
 - la resistencia a tensión disminuye mucho
- a temperaturas **entre 150°C y 250°C**, **mantenidas durante periodos cortos**, la resistencia a tensión disminuye, sin verse afectada la resistencia a compresión.
- a temperaturas **entre 300°C y 500°C**, la resistencia a compresión disminuye aproximadamente un 20%. La resistencia a tensión puede desaparecer completamente.
- a temperaturas **superiores a los 500°C** comienza la deshidratación y destrucción del concreto.
- a temperaturas **entre 900°C y 1000°C**, la deshidratación es total, y sobreviene la destrucción completa del concreto.

En el proyecto de las estructuras en concreto presforzado es necesario tener en cuenta los movimientos térmicos. Ello se podrá hacer:

- bien disponiendo las oportunas juntas de dilatación;
- o bien tomando en consideración los esfuerzos que aparecen, si la estructura no tiene completa libertad de movimientos.

(1) **Cours élémentaire de technologie du béton**, Centro de Formación de Tecnología del Hormigón, Bélgica 1971, citado por Montoya, Meseguer y - - Morán, Hormigón Armado, Pág. 98, Madrid 1981.

La baja **conductividad térmica** del concreto (aproximadamente $1,1 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$, cuarenta veces inferior a la del acero) hace que el efecto de las temperaturas extremas penetre muy lentamente en la masa de concreto, -incluso en estructuras expuestas a la intemperie.

II.2.3.- DEFORMACIONES DIFERIDAS: RETRACCION Y FLUENCIA

Las definiciones convencionales de retracción y fluencia - -son, como sabemos, las siguientes:

- la **retracción** es el acortamiento del concreto -descargado- que tiene lugar durante su endurecimiento.
- la **fluencia** es el aumento en el tiempo de las deformaciones relativas bajo tensiones permanentes.

Ahora bien, la separación entre retracción y fluencia es - convencional: normalmente, las deformaciones diferidas del concreto -cargado o descargado- deberían ser consideradas como dos aspectos diferentes de un - único fenómeno físico.

Si el concreto está **tratado térmicamente** y para cálculos que no requieran gran precisión, baste saber que la fluencia y la retracción de - un elemento de concreto, cuando el presfuerzo ha sido introducido inmediatamente tras un tratamiento térmico, disminuyen si el concreto ha sufrido un - curado al vapor.

Cuando la relación entre la resistencia al final del curado con la obtenida a 28 días es mayor de 0.60, se puede estimar la mencionada - reducción en un 30% con relación a un concreto de características idénticas endurecido naturalmente.

La **variabilidad de las condiciones ambientales** en las que se encuentran las estructuras constituye otra causa de inseguridad.

¿Cuáles son las consecuencias estructurales de las deformaciones diferidas?

De forma general, sus efectos se consideran únicamente en los estados límites de utilización, a saber:

- en el estado límite de deformación, cuando las deformaciones diferidas del concreto producen un aumento de las flechas;
- en el estado límite de fisuración, cuando las deformaciones diferidas del concreto producen una variación del estado tensional.

Por el contrario, como ocurre con todas las demás deformaciones impuestas, tal influencia se ve considerablemente reducida cuando nos aproximamos a un estado límite último, por las grandes deformaciones anelásticas del concreto y del acero.

II.2.3.1.- Retracción

Las deformaciones finales de retracción no se alcanzan hasta transcurrido largo tiempo -del orden de dos a tres años, para piezas de espesores normales. Pero el fenómeno es relativamente rápido al comienzo; aproximadamente una cuarta parte de la retracción se efectúa en 7 días, una tercera parte en 14 días, la mitad en un mes y las tres cuartas partes en seis meses -siempre refiriéndonos a espesores normales-.

Pasemos revista a los factores principales que influyen en la retracción final.

En primer lugar, varía inversamente al porcentaje de humedad relativa (siendo muy importante en climas muy secos); asimismo, varía inversamente al espesor de las piezas.

La retracción aumenta con la cantidad de agua y con la relación agua/cemento, con la presencia de finos o de impurezas en los agregados (arcillas en agregados mal lavados), y disminuirá al aumentar el tamaño de los agregados, o cuando aumente la compacidad del concreto.

También aumenta con la temperatura.

Es obvio que las pérdidas de tensión de los cables -consecuencia fundamental de la retracción, en lo que nos ocupa- no serán producidas - más que por la parte de retracción que quede por efectuarse en el instante de la puesta en tensión de los mismos. Por consiguiente, cuando trabajemos con cables pretensados será preciso contar íntegramente la retracción para evaluar las pérdidas.

La velocidad a la cual evoluciona la retracción depende fundamentalmente de la velocidad de evaporación del agua. De aquí que se alcance el equilibrio final más rápidamente en la superficie de las piezas que en el seno de la masa de concreto; en consecuencia, se producen tensiones internas -tensionando la superficie- que pueden llegar a ser muy importantes en piezas de gran espesor.

Si se introduce el presfuerzo lo suficientemente pronto, podrán limitarse los efectos de estas tensiones internas, produciendo acortamientos unitarios superiores a los de la retracción. Esto no siempre resulta posible, de modo que es necesario, de cualquier modo, tratar de reducir los efectos de la retracción, suprimiendo, en lo posible, los impedimentos a la libre contracción del concreto -cuidando el diseño de las cimbra, de forma que se puedan retirar lo antes posible, empleando apoyos de neopreno en piezas con sustentaciones indeformables, disponiendo articulaciones provisionales, juntas constructivas, etc.-.

Se debe evitar también superponer capas de concreto con gran diferencia de edad.

Se contrarrestan los malos efectos de la retracción, lógicamente, con los diversos procedimientos de curado del concreto: riego de las superficies, empleo de envolturas humedecidas -sacos, plásticos, etc.- pinturas de protección y demás.

Por último, vale la pena advertir que un concreto endurecido al aire, y posteriormente sometido a la acción del agua total o parcialmente (piezas prefabricadas sumergidas, presas, conducciones) experimenta, de forma

inversa, un hinchamiento. De cualquier modo, no recupera sus dimensiones - iniciales: parte de la retracción es irreversible.

II.2.3.2.- Fluencia

Desde nuestro punto de vista, nos interesa especialmente la repercusión que pueda tener sobre la fluencia el instante de la introducción del presfuerzo.

Se debe evitar realizar esta introducción demasiado pronto, - para evitar fuertes deformaciones diferidas. En la práctica, se podrá efectuar el presfuerzo cuando la resistencia del concreto alcance los 2/3 de la resistencia a 28 días. Se obtendrán resultados satisfactorios imponiendo - que la compresión máxima no sobrepase el 45-50% de la resistencia del concreto, en el momento en cuestión. En esta regla de buena práctica se tiene ya en cuenta que las tensiones de los cables son en este momento un 20-25% superiores a las definitivas -por efecto de las pérdidas que tendrán lugar posteriormente- y que en general no actuarán más que parte de las cargas permanentes -favorables en lo que concierne a la compresión máxima ejercida sobre la fibra más presforzada en vacío-.

Evidentemente tendrá interés emplear cementos de endureci- - miento rápido, para obtener lo antes posible las resistencias que permiten - la introducción del presfuerzo.

Por último, recordaremos que la modificación del estado ten- sional provocado por las deformaciones impuestas (estado de coacción), en - relación con lo tratado al comienzo de este apartado, proviene de la apari- ción de deformaciones elásticas complementarias que se suman a la deforma- ción impuesta, de manera tal que la deformación total sea compatible con las ligaduras internas o externas del sistema, considerado como un conjunto geo- métricamente continuo.

Según se imponga exclusivamente la compatibilidad con las ligaduras internas o, igualmente, con las externas, el estado de coacción se -

puede manifestar tanto sobre las secciones o elementos de la estructura como sobre su sustentación.

En consecuencia, en lo concerniente a la fluencia es preciso advertir que la sola aparición de deformaciones impuestas de fluencia (de las cuales se admite su relación lineal con las deformaciones elásticas) no modifica el estado tensional de una estructura hiperestática con sustentaciones rígidas sometidas a acciones externas producidas por cargas (al menos, si se deprecia la cierta heterogeneidad introducida por los cables).

Recíprocamente, el estado de deformaciones de una estructura de este tipo no se ve modificado por la fluencia lineal cuando se encuentra sometida a acciones externas producidas por deformaciones impuestas.

II.3. - LOS ACEROS

II.3.1.- GENERALIDADES Y TIPOLOGIA

Los aceros empleados en concreto presforzado son, por un lado, aceros de alta resistencia (**cables activos**), que empleados bajo tensión, introducirán el presfuerzo; por otro, aceros no tensionados, que podrán ser aceros dulces o aceros semiduros de adherencia mejorada (**cables pasivos**, - estribos y **zunchados**).

Estos últimos, siendo idénticos a los empleados en concreto armado, no serán tratados aquí; nos remitiremos a cualquier obra general sobre la materia.

Los **cables activos** han de tener como característica principal un elevado límite elástico.

Se utilizan aceros con 0,6-0,9% de carbono, que en general contienen un poco de manganeso (del orden del 0,6%) y de silicio (del orden del 0,2%). Los contenidos de fósforo y azufre están severamente limitados.

Tipológicamente, se pueden distinguir de la siguiente manera:

- **Tendón:** conjunto de cables de presfuerzo alojados dentro de un mismo conducto; en los estudios teóricos se considera como un sólo cable. También recibe el nombre de unidad de tensión. En algunos casos, si bien impropiamente se le denomina cable.
- **Alambre:** producto de sección maciza, de pequeño diámetro y de gran longitud, que se suministra en rollos. (Constituyen los cordones; suelen ser lisos y estirados en frío).
- **Barra:** producto de sección maciza, que se suministra solamente en forma de elementos rectilíneos.
- **Cable:** conjunto formado por cordones arrollados helicoidalmente alrededor de un núcleo central o alma que actúa como soporte.

El diámetro de alambres más utilizado es el de 7 mm. Normalmente se emplean para fuerzas inferiores a las 150 toneladas.

El sistema de presfuerzo de más amplia difusión es el que emplea cordones de 12,7 y 15,2 mm (0,5 y 0,6 pulgadas). Con ellos se consiguen fuerzas de valores muy amplios (desde 100 hasta más de 1000 toneladas por tendón), y con distribución prácticamente continua.

Las barras para presfuerzo se emplean poco y en sistemas muy específicos. Las razones son varias:

- su rigidez no permite un trazado que se aparte de los grandes radios de curvatura.
- Al suministrarse en elementos rectilíneos, se limita naturalmente su longitud.

II.3.2.- TRATAMIENTOS DE LOS ACEROS

Estudiaremos ahora los métodos que la técnica metalúrgica pone a nuestra disposición para la **obtención de aceros de alta resistencia.**

Volvamos a insistir en el concepto que nos ha llevado a necesitar tales altas resistencias.

Desde un punto de vista estrictamente teórico, lo único indispensable es que nuestros cables admitan un gran alargamiento elástico al ser tensados. Recordemos que esto se debía a que, siendo inevitable la pérdida de parte de este alargamiento por diversas circunstancias (acortamiento total del concreto, penetración de cuñas, fluencia del acero, etc.) esta pérdida tendría menor importancia relativa cuanto mayor fuera el alargamiento elástico conseguido al presforzar.

Nuestro problema es limitar el valor relativo de estas pérdidas de alargamiento -es decir, pérdida de presfuerzo- a tiempo infinito. - Si, por la causa que sea, no logramos nuestro objetivo, el presfuerzo será inviable.

Con este inconveniente se toparon los primeros intentos históricos de realizar piezas en concreto presforzado. Debido a la deficiente calidad de los aceros entonces disponibles, al cabo de un breve periodo de tiempo -dos o tres años, a lo sumo- los inevitables acortamientos de la pieza habían devorado el excesivo alargamiento elástico inicial de los cables, con lo que el presfuerzo desaparecía completamente.

Quedaba por delante un largo proceso de investigación tecnológica. Ya hemos tratado, siquiera someramente, los resultados obtenidos en lo que respecta al concreto, por un lado, y a elementos fundamentales como los anclajes, por otro, amén de hacer referencia a los progresos experimentados por la técnica de ejecución. Estudiaremos ahora cuales han sido los avances en el campo de los aceros.

Aceptada la necesidad de obtener estos grandes alargamientos elásticos, un simple vistazo a la Ley de Hooke nos señala dos únicos caminos para conseguirlos:

- aumentar la resistencia del acero (i.e. su tensión admisible); y
- disminuir su módulo de elasticidad.

Pronto se verá que el segundo de los caminos apuntados conduce a resultados bien mezquinos, ya que se encontrará que los módulos de elasticidad de los aceros varían normalmente dentro de un intervalo muy limitado: entre 2.15 y $1.90 \cdot 10^6$ kg/cm². ¿Se puede ir más lejos? Arredondo (1980) considera que no se debe descender nunca de los $1.75 \cdot 10^6$ kg/cm².

Quedará abierto exclusivamente el camino de aumentar las resistencias, lo cual conducirá a intensas investigaciones -ciertamente fértiles, como veremos- en el campo de los tratamientos para obtener aceros de alta tensión de rotura.

No podremos nunca olvidar que diversas necesidades constructivas y de seguridad nos obligan a imponer un límite superior a la resistencia utilizable. el acero debe conservar una ductilidad mínima, que se estimará valiéndonos del valor del alargamiento de rotura y de los resultados de los ensayos de doblado.

Es forzoso exigir esta ductilidad, pues tendremos que afrontar el problema del doblado de los cables y de las sollicitaciones en los puntos de anclaje. La ductilidad del acero, además, nos permite disponer de un margen de seguridad en caso de cargar excesivamente la estructura: la rotura, en vez de ser repentina, vendrá anunciada por deformaciones extraordinarias, lo que nos permitirá la evacuación de la construcción, e incluso el intento de su reparación y reforma.

Hecha esta importante especificación, pasemos a estudiar los métodos básicos para obtener altas resistencias:

- 1) el empleo de aleaciones apropiadas: ello nos dará **aceros naturales duros**.
- 2) el empleo de **tratamientos térmicos**.
- 3) el empleo de **tratamientos mecánicos**.

Estos métodos se podrán emplear de forma aislada, o en combinación. Eventualmente, podrán verse completados mediante tratamientos de **envejecimiento o estabilización**.

Vamos a analizarlos individualmente, ya que su conocimiento resultará indispensable para extraer máximo provecho de las diversas propiedades y características de los aceros.

II.3.2.1.- Empleo de Aleaciones Apropriadas: Aceros Naturales Duros

Tienen como **componentes fundamentales C, Si y Mn** en unas proporciones que oscilan alrededor de los valores 9.7%, 9.5% y 1.0% respectivamente.

En esta categoría figuran particularmente las barras cuyas resistencias oscilan entre 90 y 130 kg/mm^2 y su diámetro puede ser hasta de 30 mm; pero puede tratarse de alambres en la misma resistencia, con diámetros de hasta 12 mm, suministrados en carretes.

Al emplearse aceros brutos de laminación, sin tratamiento alguno, es difícil -por las limitaciones inherentes al proceso de laminación- que los alambres satisfagan las tolerancias previstas.

Será necesario tomar todo género de precauciones en todas las fases de la fabricación para eliminar al máximo las impurezas (P, S, N_2 y O_2), con el fin de obtener la mejor textura superficial, garantizar una excelente homogeneidad de las propiedades mecánicas y obtener un hilo perfectamente recto después de desenrollarlo de los carretes.

II.3.2.2.- Tratamientos Térmicos

De forma genérica, están constituidos por las combinaciones de diferentes operaciones: **calentamiento**, **enfriamiento (temple)** y, en ciertos casos, **recalentamiento (revenido)**.

La estructura de los aceros obtenidos dependerá de la temperatura a la que se realizan estas operaciones, así como de sus duraciones respectivas.

En el caso del temple, influirá también la velocidad a que se realiza.

Las operaciones elementales, por tanto, admitirán ser representadas en el **plano temperatura/tiempo**. En la Figura II.1 ilustramos así - con escala logarítmica de tiempo- los tratamientos principales:

- temple
- patentado
- martempering
- revenido

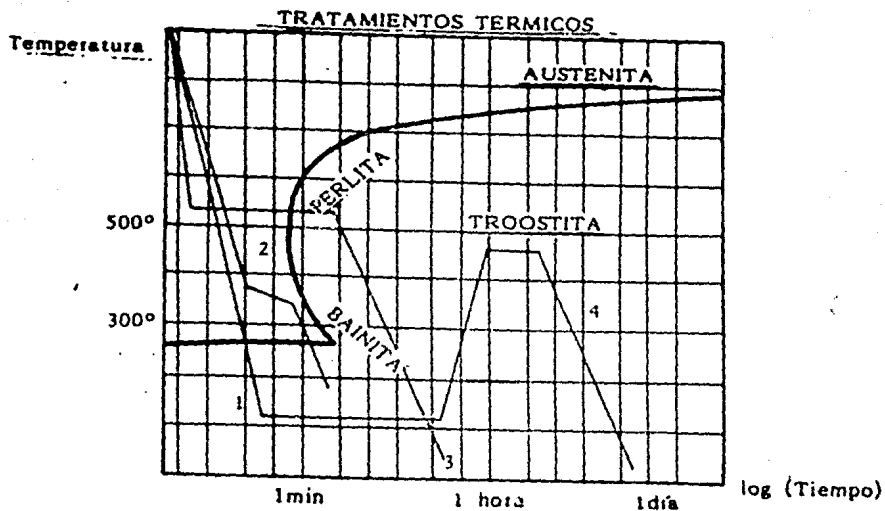


Figura II.1

El efecto general de estos tratamientos es aumentar el módulo de elasticidad y el límite elástico.

Conseguiremos diagramas de acero duro, no soldables y muy sensibles al calor.

II.3.2.2.a.- Temple

El temple consiste en un enfriamiento rápido hasta la temperatura ambiente. Provoca fuertes tensiones internas, y la aparición de constituyentes de gran dureza y enorme fragilidad (dominio martensítico). El temple es seguido normalmente por un revenido a temperatura entre 400 y 500°C, de duración suficiente para conseguir su objetivo: reducir las tensiones internas y la fragilidad.

II.3.2.2.b.- Patentado

El patentado o temple isotérmico, se realiza a una temperatura superior a la de la temperatura de aparición de la martensita, mantenida durante un tiempo suficiente (de aquí la denominación de isotérmico) para alcanzar el estado estable en toda la masa de material a esta temperatura.

II.3.2.2.c.- Martempering

El martempering es un temple isotérmico en etapas, con un escalón final a una temperatura superior a la de aparición de la martensita, permitiendo obtener la uniformización de la temperatura en la masa; a continuación se enfría el material en el dominio martensítico y, por último, se concluye generalmente con un revenido.

Es el tratamiento que más eleva la tensión de rotura (hasta un 15 ó 16%).

II.3.2.2.d.- Revenido

El **revenido** es un tratamiento térmico que se da a los aceros después del temple, con objeto de mejorar las características de las piezas templadas. En el revenido, la pieza templada se somete a un calentamiento a temperatura inferior a la crítica, seguida de un enfriamiento, generalmente - al aire y en ocasiones en agua o aceite. Disminuirá la fragilidad del material.

II.3.2.2.e.- Envejecimiento Artificial

Un último tratamiento térmico habitual, no recogido en la Figura II.5, es el **envejecimiento artificial**. Consiste en un calentamiento a una temperatura inferior a los 300°C, que aumenta el límite elástico f_y . Si el acero ha sido deformado en frío previamente, este tratamiento preserva - sus restantes cualidades.

II.3.4.3.- Tratamientos Mecánicos

Son los siguientes, de forma general:

- **calibrado,**
- **tratamientos en frío,**
- **preestirado,**
- **estabilización.**

Realizaremos una breve descripción de cada uno de ellos.

II.3.2.3.a.- Calibrado

El **calibrado** es el más sencillo de todos los tratamientos mecánicos: consiste simplemente en obligar al material a pasar por unos rodillos y produce una pequeña reducción de la sección del producto.

II.3.2.3.b.- Tratamientos en Frío

Se trata de operaciones que reducen fuertemente los diámetros y modifican al mismo tiempo las propiedades mecánicas. En efecto, endurecen el diagrama tensiones/deformaciones, aumentan el límite elástico, la resistencia y la dureza, y disminuyen la ductilidad y el alargamiento de rotura.

Estas operaciones son:

- el **laminado en frío**;
- el **trafilado**, que consiste en obligar al material a atravesar unos rodillos en uno o varios pasos, que le produce una fuerte reducción de sección;
- el **estirado simple en frío**, que consiste sencillamente en un alargamiento por tensión que producirá una deformación permanente. Como se verá más adelante, este tratamiento endurece el diagrama tensiones/deformaciones y puede disminuir la relajación del acero;
- otros tratamientos en frío como el **relaminado**, el **retorcido** y el **martillado**. El alambre puede recibir igualmente algún tipo de impresión mediante laminado, destinada a aumentar su adherencia (**ombalado**, **grafilado**, etc.).

II.3.2.3.c.- Preestirado

Con este término se denomina la operación que consiste en someter el acero a una tensión igual o superior a la tensión inicial del proceso de relajación (véase II.3.3), y mantenerla constante durante un cierto tiempo.

La **influencia del preestirado** ha sido objeto de investigación en numerosos estudios.

Como recoge Sánchez Gálvez [1975] no existe unanimidad sobre los efectos del preestirado. En todo caso -señala el autor citado- la influencia del preestirado es pequeña y puede resumirse indicando que reduce la pérdida de tensión en un valor aproximadamente igual al que se produciría por relajación durante el tiempo de duración del preestirado. Esta reducción se mantiene con el tiempo, por lo que su importancia relativa disminuye.

II.3.2.3.d.- Estabilización

En último lugar, hacemos referencia a este tratamiento, que fue aplicado industrialmente por primera vez por la Somerset Wire Company.

Consiste en someter a los alambres simultáneamente a una tensión superior a la de utilización y a una temperatura adecuada. Según los informes experimentales de esta empresa, la relajación a altas temperaturas de los aceros se reduce por este método a los valores usuales a temperaturas ordinarias e incluso a valores inferiores, como consecuencia de su estirado previo.

II.3.2.4.- Conclusiones

Los tratamientos térmicos pueden preceder o seguir a los tratamientos mecánicos, o bien ser intercalados entre diferentes fases de un tratamiento mecánico. De este modo, se pueden intercalar templees entre las diferentes etapas de un trefilado para devolverle al alambre la ductilidad necesaria.

La combinación de estos diferentes tratamientos mecánicos y térmicos y su orden de sucesión, permiten obtener una gran variedad de productos.

El proyectista solamente debe juzgar los resultados de estos productos. Le será por tanto esencial:

- a) precisar las características en base a las cuales debe enjuiciarse al producto;
- b) según su experiencia, fijar los márgenes a los que tales características se deberán ajustar.

Las **características esenciales**, antes de entrar en refinamientos, son las siguientes: la forma del diagrama tensiones/deformaciones, y las magnitudes ligadas a esta forma (la resistencia y el alargamiento en rotura); el orden de relajación, la fragilidad, la susceptibilidad a la corrosión, el estado de la superficie y su dureza.

II.3.3.- RELAJACION Y FLUENCIA

II.3.3.1.- Definiciones

La **relajación** de los aceros es el fenómeno de pérdida de tensión que sufren los cables activos; cuando sometidos a una tensión inicial dada, se mantiene constante su deformación; su consecuencia es, por tanto, una deformación plástica diferida, que aumentará a la par que la tensión disminuya.

La **fluencia** es la denominación que daremos a la deformación que el acero experimenta sometido a tensión constante.

Fluencia y relajación son pues manifestaciones del mismo fenómeno contemplado desde criterios diferentes.

Por tanto, en lo sucesivo nos referiremos únicamente a la **relajación**, siendo nuestras observaciones aplicables al fenómeno general.

El fenómeno es más acusado en sus primeros momentos; para tiempos mayores su importancia decrece progresivamente, aunque no se ha comprobado que llegue a detenerse; ni siquiera los ensayos más largos han podido detectar una completa estabilización de la tensión con el tiempo.

El fenómeno de la relajación de los aceros de presfuerzo ha sido objeto de extensas investigaciones. Se han realizado gran número de ensayos, que nos permiten conocer actualmente la forma de las leyes de la relajación con gran aproximación, hasta tiempos del orden de los 15 años, correspondientes a los ensayos de máxima duración efectuados.

II.3.3.2.- Factores que Afectan a la Relajación

En este apartado vamos a analizar uno a uno los factores que tienen influencia sobre el fenómeno de la relajación. Son los siguientes:

- las condiciones de tensado,
- la temperatura,
- los tratamientos que haya recibido el acero.

II.3.3.2.a.- Condiciones de tensado

Sobre los efectos de la **velocidad de tensado** no todos los autores están de acuerdo. Se cree que su influencia es despreciable para tensiones iniciales menores del 70-80% de la carga unitaria máxima f_{max} , pero tiene bastante importancia para tensiones iniciales comprendidas entre el 80 y el 95% de la carga unitaria máxima. Se piensa que las altas velocidades de tensado aumentan las pérdidas por relajación.

El efecto de la **tensión inicial** ha sido muy estudiado. Junto con la temperatura, es el que tiene mayor influencia en el fenómeno de la relajación. Lo fundamental a retener es lo siguiente:

- Existe un **parámetro de tensiones** en torno al 50% de la tensión de rotura, por debajo del cual no se detectan pérdidas por relajación.
- Por encima de dicho parámetro, la relajación crece rápidamente con la tensión inicial. De cualquier manera, la tensión remanente al cabo de un tiempo dado sigue siendo mayor cuando la tensión inicial es más elevada.

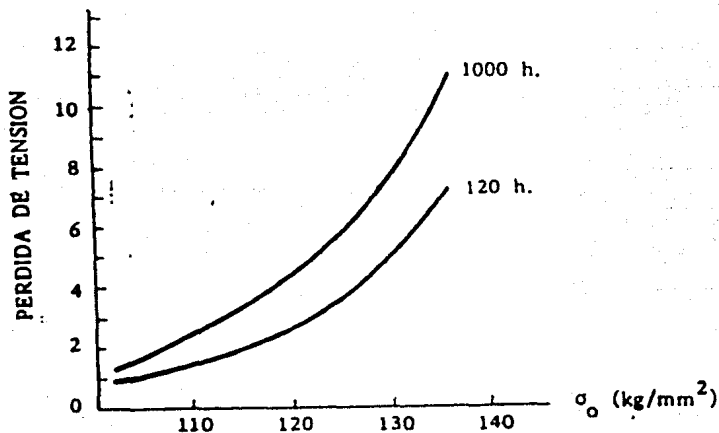


Figura II.2

La Figura II.2 ilustra la influencia de la tensión inicial t_0 sobre la relajación.

II.3.3.2.b.- Temperatura

Es el factor de primordial importancia. Conviene tener en cuenta que:

- por debajo de 0°C las pérdidas por relajación son insignificantes,
- para temperaturas superiores a la ambiente, la temperatura acelera las pérdidas por relajación.

Todos los autores coinciden en que la temperatura acelera las pérdidas de relajación.

Resumimos los resultados de diversos ensayos de relajación a temperaturas superiores a la ambiente en la Figura II.3. Han sido realizados simultáneamente con alambre estabilizado y envejecido.

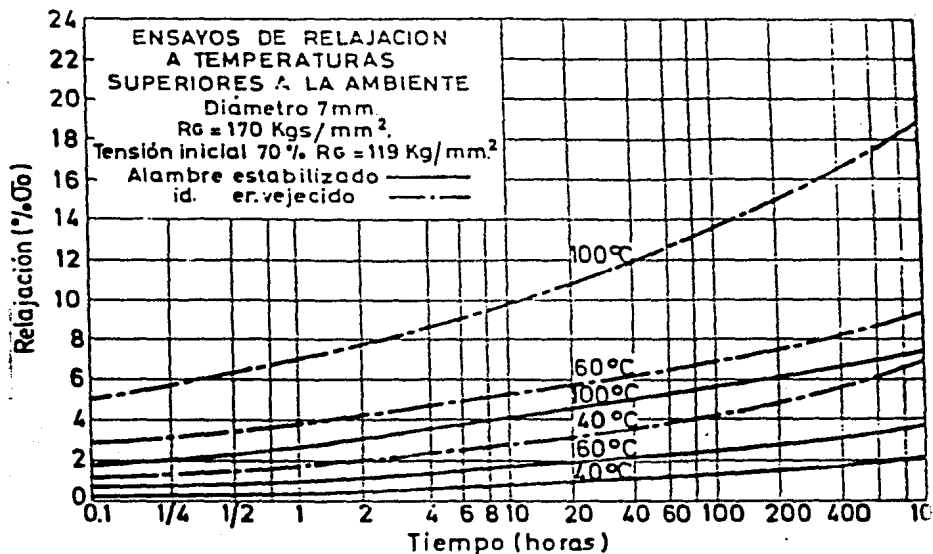


Figura II.3

II.3.3.2.c.- Tratamientos

Los tratamientos a los que se haya sometido el acero influirá igualmente sobre la relajación:

- el tratamiento de **envejecimiento** tiene efectos irregulares sobre la relajación, según la temperatura y la duración del tratamiento.

El evjecimiento:

- reduce la relajación para tensiones iniciales bajas,
- aumenta la relajación para tensiones iniciales altas

- el tratamiento de **estabilización** reduce la relajación considerablemente - en su fase inicial. En cuanto a sus efectos a largo plazo, se desconocen en rigor por falta de datos experimentales.

A temperaturas superiores a la ambiente, como se ve en la Figura II.3, los alambres estabilizados tienen una relajación notablemente menor que los envejecidos, al menos a corto y medio plazo.

La Figura II.4 recoge curvas de relajación de aceros idénticos sometidos a diferentes tratamientos.

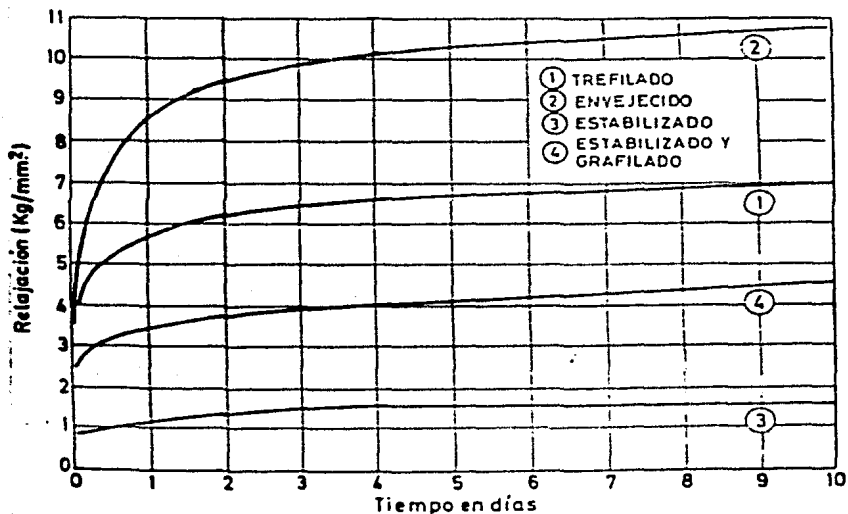


Figura II.4

II.3.3.3.- Leyes de la Relajación

Debido a la mencionada falta de resultados empíricos a largo plazo, para el cálculo de las pérdidas por relajamiento se recurre generalmente a extrapolar los datos obtenidos a corto plazo -que son muy numerosos-.

Se han propuesto gran cantidad de fórmulas, cuya precisión nunca supera el 10%. Ello no nos debe producir rechazo, puesto que el propio fenómeno de relajación presenta dispersiones medias del orden del 16%.

II.3.4.- RESISTENCIA A LA FATIGA

II.3.4.1.- Generalidades

La **rotura por fatiga** de un material es una rotura producida por la repetición frecuente de sollicitaciones que no alcanzan el valor de su resistencia ante sollicitación estática.

Como ya se ha apuntado, los problemas de fatiga en el concreto presforzado son de mucha menor importancia que en el concreto armado, - - pues las variaciones tensionales que sufren los cables activos son relativamente mucho más pequeñas (es inaudito que superen un diez por ciento de la tensión de servicio).

Podemos apoyar nuestra afirmación valiéndonos del análisis de un sencillo ejemplo.

Consideremos la sección de un elemento de concreto presforzado. Descontando del presfuerzo el efecto de las cargas permanentes, el estado tensional es el representado en la Figura II.5.a. La fibra más comprimida -la inferior- soporta 150 kg/cm^2 .

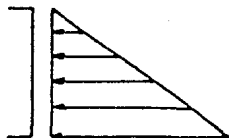


Figura II.5.a

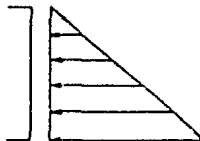


Figura II.5.b

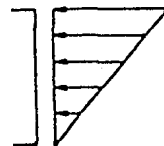


Figura II.5.c

Estimemos como valor normal de las pérdidas a t_{∞} unos 20 kg/cm^2 . La Figura II.5.b ilustra el estado tensional definitivo de la sección, bajo la acción del peso propio y de las cargas permanentes.

Al actuar la sobrecarga máxima, desaparece la compresión en la fibra inferior (según se refleja en la Figura II.5.c). Tomando un coeficiente de equivalencia $n=6$, podemos calcular sencillamente la variación de tensión que sufre con ello la armadura activa:

$$\Delta t_p = 130 \cdot 6 = 780 \text{ kg/cm}^2$$

Trabajando con una tensión base de unos 10000 kg/cm^2 en los cables activos -valor perfectamente habitual- la amplitud de la variación tensional, por lo tanto, resulta ser de un siete a un ocho por ciento.

Estos son los valores normales para el concreto presfuerzoado.

Por el contrario, trabajando con concreto armado la misma variación absoluta supondría una variación relativa entre el 30% y el 40%, en razón de la tensión de trabajo de las varillas del mismo (entre cuatro y cinco veces inferior a la de los cables de presfuerzo).

Se evidencia así la razón del mejor comportamiento en fatiga de las estructuras de concreto presfuerzoado.

En cualquier caso, en obras sometidas a cargas alternadas de frecuencia rápida, es preciso prestar atención particular al problema.

II.3.6.2.- Estudio de la Fatiga

Vamos a analizar brevemente el fenómeno de la fatiga en los aceros de presfuerzo.

No se dispone aún de una normativa internacional unificada.-
Diversos organismos están investigando activamente este tema.

Es preciso comenzar cualquier análisis por la **cuantificación de la resistencia a la fatiga**. Existen dos tendencias principales:

- a) fijar una carga máxima o mínima, y un número de ciclos (normalmente $2 \cdot 10^6$) y exigir que el acero soporte una amplitud mínima de variación de la sollicitación. Es el criterio seguido por CEB y EURONORMA.
- b) fijar las cargas máxima y mínima (o el intervalo de oscilación) y exigir que el acero resista un número mínimo de ciclos. Es el criterio de la ASP.

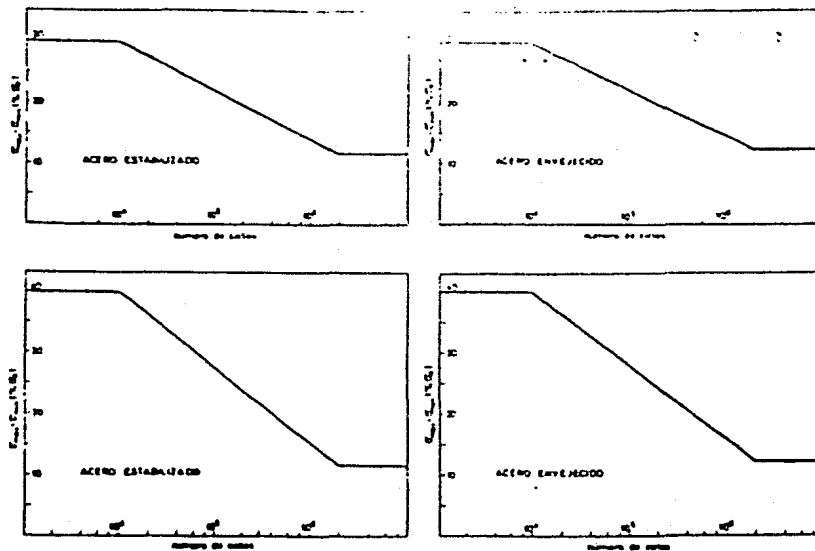
La **amplitud y duración** de los ensayos se han fijado más o menos arbitrariamente. Las amplitudes ($t_{max} - t_{min}$) suelen variar alrededor de los 200 MPa, calculados estimando las previsible en la práctica.

La duración de $2 \cdot 10^6$ ciclos está elegida más caprichosamente.

Para el cálculo, el Comité Europeo propone unos diagramas - simplificados - **curvas de Wöhler** - que se reproducen en la Figura II.6.

Será de gran importancia estudiar el comportamiento del sistema tendón/anclaje, cuando este último se encuentre sometido a fatiga. En este campo la normativa es particularmente escasa. CEB, FIP y ASP han adoptado para ensayos de fatiga de aceros de presfuerzo, la propuesta de norma - RILEM 8.1.38. La normativa ISO al respecto (ISO/R373 e ISO/R1099) es excesivamente poco específica.

Se puede afirmar de forma general que la resistencia a fatiga será mejor en los aceros de alto límite proporcional, de nuevo basándonos en la menor amplitud de la variación relativa de tensión.



Curvas simplificadas de Wöhler (propuesta CEB)

Figura II.6

Resumimos a continuación las consecuencias más importantes a las que llega:

- el valor mínimo de la tensión del ciclo, dentro de los valores usuales, tiene poca influencia sobre el fenómeno,
- La amplitud del ciclo presenta una influencia destacada,
- no se observa comportamiento frente a la fatiga claramente diferenciado entre los dos tipos de acero ensayados, envejecido y estabilizado,
- influencia sobre la fatiga de los anclajes comerciales: el anclaje reduce drásticamente el umbral de oscilaciones que es capaz de resistir el acero (órdenes de magnitud de la oscilación: 5% de f_{rot} , con el anclaje; 14% de f_{rot} , sin el anclaje).

M. Elices apoya, en base a estos hechos, la tesis de que es necesario exigir unas características de fatiga del acero y, además, otras menos restrictivas al **conjunto tendón/anclaje**.

Es fundamental tener todo esto presente en el proyecto, a fin de disponer de anclajes, conectores, etc..., en secciones donde la oscilación de tensiones sea mínima.

II.3.5.- CORROSION BAJO TENSION

III.3.5.1.- Situación del Problema

El problema de la **corrosión bajo tensión** es uno de los más importantes que se encuentran en el empleo del concreto presforzado. Se trata de un inconveniente específico de este material.

Estas características -singularidad y gravedad- tienen reflejo en sus importantísimas consecuencias técnicas y económicas.

Mientras que prevenir la corrosión bajo tensión, con las técnicas actuales, es comparativamente sencillo y económico, el tratamiento de una estructura que la sufra por imprevisión, temeridad o cicatería del proyectista puede ser tan difícil como costoso, si el proceso se encuentra en una fase avanzada.

La corrosión bajo tensión, por consiguiente, merece el más atento de los estudios. Afortunadamente, la propia gravedad del problema lo ha hecho objeto de concienzudas investigaciones -que aún continúan-, las cuales nos permiten contar con sólidos conocimientos sobre los mejores métodos de prevenirlo y, en su caso, combatirlo.

Por suerte, no basta la existencia de tensiones en el material y el efecto simultáneo de un agente corrosivo para dar lugar a la corrosión bajo tensión. Esta es un fenómeno muy complejo, cuya aparición está ligada a los tres supuestos siguientes:

- a) **susceptibilidad del material** a la corrosión bajo tensión,
- b) **acción de un agente corrosivo**,
- c) **presencia de tensiones** en el material.

Como es evidente, la corrosión metálica se puede producir en un material aunque su estado tensional sea nulo. Insistiremos, sin embargo, en que el fenómeno se agrava alarmantemente cuando el acero se encuentra sometido a altas tensiones.

II.3.5.2.- Estudio del Fenómeno

La corrosión del acero es un **proceso electrolítico**, provocado por ciertos productos químicos en presencia de la humedad y del oxígeno. La oxidación superficial es relativamente poco temible. Cuando se producen ataques locales más profundos, por el contrario, la tensión de rotura puede descender dramáticamente. Ello es debido a las elevadas concentraciones de tensiones que se pueden producir en puntos singulares, así como a la disminución de la sección resistente.

Así pues, las roturas se producen generalmente en las zonas previamente alteradas de los alambres, donde las tensiones propias remanentes se suman a las debidas al esfuerzo longitudinal de tensión. Además aparecen con preferencia en los puntos más bajos de los cables, o junto a los separadores, ya que allí se acumula la humedad y aumenta la concentración de los ataques químicos.

Especialmente peligrosas son las sustancias químicas que, sorteando la barrera protectora del concreto, desencadenan el proceso de corrosión del acero. Entre ellas están los cloruros y, en general, todos los haluros a excepción de los fluoruros. El cloruro cálcico -empleado antiguamente como aditivo, regulador del comienzo de fraguado y protector contra las heladas- muestra desde este punto de vista inclinaciones particularmente peligrosas.

Si la pieza de concreto presforzado es curada al vapor -como es habitual en prefabricación-, los efectos de los cloruros se desatarán con singular violencia.

La corrosión en el concreto presforzado, por suerte, es bastante infrecuente, gracias a que se trata de una material cuyo proyecto, - ejecución y control se realizan habitualmente con sumo cuidado.

Si se llega a producir, por nuestra negligencia o mala fortuna, el proceso será a la vez veloz y gravísimo.

De la velocidad con que evolucionará será responsable, como ya hemos dicho la alta tensión a la que en servicio están sometidos los cables activos. De su peligrosa gravedad, la gran importancia relativa - que tendrá la disminución de sección en las zonas de corrosión, por los pequeños diámetros que son de uso habitual.

Final característico de estos peligrosos ataques es la rotura frágil repentina, con los efectos que se pueden fácilmente suponer.

La susceptibilidad de los aceros a la corrosión bajo tensión sólo pueda ser determinada en general mediante largos y penosos ensayos - y, sobre todo, observando su comportamiento en la práctica. No todos los agentes atacantes producen la corrosión bajo tensión. La rapidez con la que el ataque culminará en la rotura depende mucho del agente agresor.

Los principales agentes corrosivos son los nitratos -y, posiblemente, los nitritos-, los cloruros, y algunos ácidos.

Habida cuenta de la importante influencia negativa de la tensión, tendremos que intentar que las tensiones propias sean las menores - posibles. Hay que tener muy presente que se pueden producir tensiones locales peligrosas bien durante la fabricación del alambre, bien por tratamientos posteriores inadecuados, si se maneja éste sin la debida precaución. En especial, se recomienda derrochar cuidado en el desarrollo y - colocación de los alambres.

La corrosión avanza profundamente en los puntos en los que - la estructura interna presenta localmente un bajo contenido en carbono. - Los alambres estirados se comportan mejor ante la agresión que los alambres mejorados.

Se ha confirmado mediante ensayos esta diferencia de comportamiento entre alambres estirados y mejorados -con la mayor propensión de estos últimos a la rotura frágil-.

En consecuencia, la prudencia nos indica que el empleo de alambres mejorados deberá ser muy cuidadoso, protegiéndolos de impurezas químicas y extremando precauciones para mantenerlos secos, sobre todo una vez introducidos en los ductos.

Su protección definitiva contra la corrosión -mediante inyección u otro método- no debería demorarse más de ocho días tras el tensado.

Un fenómeno asociado que merece especial atención es la acritud por absorción de hidrógeno. Al decapar la superficie de los aceros -con ácidos durante el proceso de fabricación, se forma hidrógeno. El hidrógeno puede volver al acero extremadamente frágil, cuanto más hidrógeno se haya absorbido. Sus efectos se empiezan a dejar notar, para peor, con las más leves concentraciones.

Los alambres deben ser protegidos, por lo tanto, de la acción de cualquier ácido. Los más peligrosos son el ClH , H_2SO_4 , H_3PO_4 , etc. A este respecto, no sólo hay que temer la presencia de ácidos libres; tan temibles como ellos son los productos que los contienen o pueden liberarlos: petróleo crudo, humos, gases de fermentación (SH_2), etc.

El azufre, combinado con agua, formará ácido sulfhídrico - H_2S - que atacará los cables de forma despiadada. El H_2S se encuentra también en gases de instalaciones depuradoras de aguas residuales, así como resultado de cualquier proceso de putrefacción. Igualmente indeseables son los humos ricos en anhídricos sulfurosos y sulfúricos.

II.3.5.3.- Medidas de Protección

¿Qué medidas de protección están a nuestro alcance?

En primer lugar, la inyección. Esta debe realizarse cuanto antes, una vez tensados los tendones.

Será muy agradecida por el acero, de cualquier modo, una celosa protección hasta el mismo momento del tensado.

Los aceros -alambres y cables- serán expedidos de fábrica - perfectamente secos y protegidos de la lluvia. Se almacenarán en locales - resguardados, donde la humedad relativa no supere el 60%.

Se puede conseguir una protección provisional con diversos - productos (e.g. nitrito de diciclohexilaruonio, aceite soluble).

La protección definitiva se consigue mediante la inyección.- El mecanismo de protección entra en vigor, de forma simplificada, según sigue: en primer lugar, se forma una capa de carbonato cálcico (poroso) alrededor del cable. Acto seguido se produce hidróxido ferroso que, reaccionando con el agua de amasado, origina hidróxido férrico (insoluble), el cual - colmata los poros del carbonato cálcico. La envoltura así creada protege - completamente el acero.

En cementos, aditivos y agragados -así como en el agua de - amasado se perseguirá con sumo cuidado el menor indicio de existencia de cloruros.

Para asegurar una debida protección, el concreto deberá ser homogéneo y uniforme, compacto y durable.

El cemento preferible siempre es el Portland. En cualquier caso, no se deben utilizar jamás mezclas de cementos diferentes, ni emplear cementos expansivos ni retractivos.

Los **agregados** porosos o deleznablees están prohibidos, como - es lógico. Cuidar su granulometría siempre será un trabajo retribuido con - justicia. Y, desde luego, nunca será mal empleado el tiempo a la hora de - vigilar la presencia de sales solubles.

También en el **agua** las sales son totalmente indeseables. El director de obra actuará en consecuencia.

En cuanto a los **aditivos**, serán probadamente inofensivos, en caso de emplearse.

La experiencia actual está **en contra de la dosificación con elevadas cantidades de cemento**. Lo aconsejable en el contenido de cemento es de 400 kg por m^3 de concreto como máximo. Incluso en prefabricación es **desaconsejable** sobrepasar el límite último de los 500 kg por m^3 .

La relación agua/cemento debe ser moderada, no excesivamente baja. La consistencia deseable es la plástica, para asegurar una compactación óptima.

Los cables deben ser de acero uniforme de la misma calidad. Tendrán la mayor sección posible, y su cuantía será la adecuada. Emplear los máximos recubrimientos posibles incrementará la seguridad frente al riesgo de corrosión.

Por último, el **curado** será realizado con minuciosidad extrema. Se evitará tanto el conformarse con una desecación superficial como el tolerar variaciones ambientales de las condiciones.

Cuando se pretenda acelerar el curado mediante el calor, se tendrá en cuenta que la temperatura acelerará los procesos de corrosión.

Guyon [1966] sostiene que el temor a la corrosión ha sido **exagerado en los medios técnicos**, y expresa su convicción de que con buenas prácticas constructivas y aceros adecuados el riesgo es prácticamente nulo, "o, si se prefiere, del mismo orden de magnitud que cualquier otro riesgo de la construcción".

Cuestiona la validez de los ensayos citados anteriormente, sosteniendo que el método utilizado en los mismos no daba resultados representativos. Estos ensayos se realizaron con alambres puestos en flexión mediante enrollado, y sumergidos en baños de nitrato de amonio a 105°C. Los aceros se clasificaron según el tiempo transcurrido hasta su ruptura. Guyon aduce que esta clasificación hará referencia en todo caso al tiempo durante

el cual el alambre puede permanecer desprotegido, el cual es posible que dependa efectivamente del tratamiento mecánico (martilleo o batido de su superficie). No se puede admitir, por el contrario, que esta clasificación refleje cualidades intrínsecas del acero (como su proporción de constituyentes frágiles).

Concluye Guyon insistiendo en que está fuera de lugar el discriminar los aceros -por temor a la corrosión- basándonos exclusivamente en el tratamiento mecánico que hayan sufrido; el tratamiento térmico que lo sigue tiene una importancia mucho mayor.

Es fundamental retener un hecho: **cualquiera que sea su naturaleza un acero tensionado, carente de protección alguna, se romperá infaliblemente** (ensayos de Duminy, Rouen 1951).

Se producirán roturas de la misma naturaleza si los cables se dejan desnudos en el interior de vigas de sección en cajón. En un principio, se había creído que la protección contra la intemperie era suficiente. Esto es falso: es preciso impedir la renovación del oxígeno, lo cual sólo se pueda obtener con un revestimiento del alambre.

Volvemos con ello a la fundamental importancia de la inyección y de la presteza a la hora de realizarla.

Quede esto como lección básica a extraer de estas ideas elementales sobre el proceso de corrosión bajo tensión de los cables activos.

C A P I T U L O I I I

L A S A C C I O N E S

III.1.- INTRODUCCION

Este capítulo comienza a sentar las bases primordiales - del método de cálculo que se va a desarrollar.

En esta unidad se trata de obtener, de acuerdo con una clasificación que facilite el proceso de cálculo, jerarquizándolo y haciéndolo metódico y sencillo, los valores en bruto de las diversas acciones que solicitarán a la estructura.

Ello hace evidente la importancia que tendrá el disponer de bases sólidas para realizar el desarrollo subsiguiente.

En el apartado III.2, comenzamos por introducir el concepto de **acción**. Inmediatamente surge nuestra principal necesidad: disponer de una **clasificación de las acciones** que racionalice el proceso de cálculo de las mismas, introduciendo un orden riguroso. En este terreno, las posibilidades son muy diversas. En III.3, presentamos al lector una clasificación cualitativa de las acciones.

Presentada y discutida la clasificación, sólo resta proporcionar criterios generales -muy brevemente- para el cálculo de los valores - en bruto a los que hacemos referencia: los denominados **valores característicos**.

III.2.- CONCEPTO DE ACCION

Una **acción** es un conjunto de:

- **fuerzas concentradas o repartidas** (lo que denominaremos **acciones directas**), o bien.
- **deformaciones impuestas o impedidas** (lo que llamaremos **acciones indirectas**).

Aplicadas a una estructura y debidas a una misma causa.

Conceptualmente, la acción es la causa de las fuerzas o las deformaciones. Ahora bien, en la práctica únicamente podemos introducir en los cálculos las fuerzas o las deformaciones.

Consideraremos que una **acción** es única si es estocásticamente independiente, tanto en el espacio como en el tiempo, de cualquier otro - conjunto de fuerzas o de deformaciones impuestas o impedidas que actúe sobre la estructura.

En muchas ocasiones nos resultará cómodo distinguir entre:

- los **elementos** de una acción (o acciones elementales), que pueden considerarse como independientes, y
- los **componentes** de una acción, las cuales no pueden ser tratadas independientemente.

Para facilitar la determinación de las solicitudes de cálculo, puede ser oportuno reagrupar diversas acciones elementales análogas en una sola acción compuesta, o bien disociar ciertas acciones como suma o diferencia de varias componentes.

III.3.- CLASIFICACION CUALITATIVA DE LAS ACCIONES

Dedicaremos este apartado a introducir la clasificación cualitativa utilizada por el **Comité Euro-Internacional del Concreto**.

Los criterios básicos para la clasificación de las acciones son los siguientes:

- según su **variación en el tiempo**,
- según su **variación en el espacio**,
- según su **carácter estático o dinámico**.

Existen, naturalmente, otros criterios de clasificación, que se utilizan con menor frecuencia. Por ejemplo, podemos clasificar las acciones en limitadas o ilimitadas, de corta o larga duración, dependientes o independientes de las actividades humanas, etc.

A continuación, analizaremos brevemente las diversas clasificaciones a las que da lugar la aplicación de los criterios principales - arriba enumerados.

III.3.1.- CLASIFICACION DE LAS ACCIONES SEGUN SU VARIACION EN EL TIEMPO

En esta clasificación consideremos:

- acciones permanentes,
- acciones variables,
- acciones accidentales.

III.3.1.1.- Acciones Permanentes

Son aquéllas cuyas variaciones son raras, o bien despreciables frente a su valor medio. También se consideran como acciones permanentes aquéllas cuya variación tiene lugar en un único sentido, tendiendo hacia un determinado valor límite.

Las acciones permanentes comprenden:

- el peso propio de las estructuras (salvo durante ciertas fases de la construcción, eventualmente),
- el peso de toda superestructura prevista,
- las fuerzas ejercidas por la presión del terreno, excluyendo los efectos de las cargas móviles aplicadas sobre el suelo,
- el presfuerzo,
- las deformaciones impuestas por el método constructivo,
- las acciones resultantes de la retracción del concreto.

En ciertos casos, se consideran como acciones permanentes las fuerzas resultantes de la presión del agua.

Los asientos de apoyo, evaluados en función de los métodos y de las informaciones de los que se disponga, se consideran en general como acciones permanentes.

III.3.1.2.- Acciones Variables

Son aquéllas cuyas variaciones son frecuentes o continuas, o bien no monótonas, y no despreciables frente a su valor medio.

Las acciones variables comprenden:

- las cargas de explotación, es decir, las cargas debidas a la utilización y a la ocupación de la estructura,
- el peso propio de las estructuras durante ciertas fases de la construcción,
- las cargas de montaje,
- todas las cargas móviles y sus efectos,
- las fuerzas resultantes del viento, de la nieve, de la helada, de los movimientos sísmicos en las regiones corrientemente expuestas a los mismos, del agua en general, y de los efectos térmicos.

III.3.1.3.- Acciones Accidentales

Son aquéllas cuya probabilidad de ocurrencia -en una magnitud significativa- sobre una estructura dada, durante el periodo de referencia establecido, es pequeña, pero cuya importancia puede ser considerable para ciertas estructuras.

Cuando se quiere asegurar la resistencia de la estructura frente a las acciones accidentales, normalmente se asignan a éstas valores nominales, por lo común extraídos de reglamentos, normas, códigos o documentos contractuales.

Las acciones accidentales comprenden las fuerzas resultantes de choques, explosiones, hundimientos del terreno, avalanchas de tierra, rocas o nieve, tornados o movimientos sísmicos en las regiones que normalmente no se encuentran expuestas a estos fenómenos.

No se tomarán en cuenta más que cuando el valor estimado de la fuerza cumpla las condiciones siguientes:

- en primer lugar, no ser despreciable,
- en segundo lugar, no ser tan importante que resulte irrazonable pretender asegurar la integridad de la estructura sin tener en cuenta la supuesta acción accidental.

III.3.2.- CLASIFICACION DE LAS ACCIONES SEGUN SU VARIACION EN EL ESPACIO

Para definir los casos de carga a considerar, las acciones se dividen en dos grupos:

- **acciones fijas**, cuya distribución sobre la estructura está definida sin ambigüedad por parámetros deterministas y, eventualmente, mediante un parámetro aleatorio. La magnitud de una acción fija puede variar con el tiempo.
- **acciones libres**, que pueden tener una distribución arbitraria cualquiera sobre la estructura, respetando limitaciones espaciales prefijadas.

III.3.3.- CLASIFICACION DE LAS ACCIONES SEGUN SU NATURALEZA

- **acciones estáticas**, que no producen una aceleración significativa ni sobre la estructura, ni sobre ninguno de sus elementos,
- **acciones dinámicas**, que producen una aceleración significativa sobre la estructura.

El hecho de que una acción sea considerada -o no- como dinámica depende de la respuesta de la estructura, aunque el carácter dinámico esté en relación con las variaciones de la acción en el tiempo.

En ciertos casos, la magnitud de la acción depende del comportamiento de la estructura.

De forma general, la mayor parte de las acciones pueden ser consideradas como acciones estáticas, tomando en cuenta los efectos dinámicos mediante una mayoración de la magnitud de las acciones.

Cuando no es éste el caso, puede ser necesario, para tener en cuenta la respuesta dinámica de la estructura, llevar a cabo un tratamiento especial del problema.

III.4.- CLASIFICACION DE LAS ACCIONES

En este apartado procuraremos describir y analizar la clasificación de acciones.

La clasificación seguida, notoriamente asistemática, distingue entre:

- **acciones directas,**
- **acciones indirectas, y**
- **acciones producidas por el presfuerzo.**

El criterio que ha inspirado esta división es claramente el de agrupar las acciones en "unidades de cálculo".

En consecuencia, carece del rigor formal de la clasificación cualitativa presentada en III.3, compensando esta deficiencia con el mayor pragmatismo de su aproximación.

En nuestra opinión, es preciso utilizar esta clasificación, más que juzgarla, teniendo en cuenta estas características, y guardarnos muy bien de exigirle extremo rigor conceptual.

Se trata, ante todo y sobre todo, de una herramienta práctica destinada a facilitar la organización del proceso de cálculo de las diversas acciones.

Realizado este juicio global, comenzamos por su descripción.

III.4.1.- DESCRIPCION DE LA CLASIFICACION

De acuerdo a lo establecido, las distintas acciones capaces de producir estados tensionales en una estructura o elemento estructural de **concreto presforzado** se clasifican en los siguientes grupos:

I.- ACCIONES DIRECTAS: acciones provocadas por la aplicación de cargas. -

Se subdividen en:

- **PERMANENTES (G):** Acciones que actúan en todo momento y son constantes en posición y magnitud. Tendremos:
 - el peso propio del elemento resistente,
 - las cargas muertas, cargas que gravitan sobre el elemento resistente.
- **VARIABLES (Q):** Acciones externas a la obra en sí. Según su origen podrán ser:
 - de explotación o de uso:
 - frecuentes: $\psi \cdot Q$
 - infrecuentes: $(1 - \psi)Q$ con $0 < \psi < 1$ (1)
 - climáticas,
 - del terreno,
 - debidas al proceso constructivo

II.- ACCIONES INDIRECTAS: acciones originadas por fenómenos que imponen deformaciones o imprimen aceleraciones a la estructura. Pueden tener diverso origen:

(1) $\psi = \frac{\text{sobrecargas frecuentes}}{\text{sobrecargas totales}}$, según la Instrucción (artículo 37.1 de la EP-80). Ha de estar definido en la Instrucción de cargas aplicable en cada estructura. En la actualidad, lo habitual es estimarlo.

- reológicas.
- térmicas.
- por movimientos impuestos.
- sísmicas.

III.- ACCIONES DEL PRESFUERZO: producidas por el sistema de fuerzas que el cable activo transmite al concreto que lo rodea.

Este sistema de fuerzas está constituido por:

- fuerzas concentradas en los anclajes de los tendones (F , medida en toneladas),
- fuerzas normales a los tendones, resultantes de la curvatura o cambio de dirección de los mismos (n , medida en toneladas/metro), - - siendo:

$$n = \frac{P(x)}{r}$$

- fuerzas tangenciales debidas al rozamiento y a la adherencia (t , - medida en toneladas/metro), siendo:

$$t = n' \mu$$

donde:

$P(x)$ es el presfuerzo existente en cada sección de abscisa x del trazado,

r es el radio de curvatura del trazado en cada punto considerado,

μ es el coeficiente de rozamiento entre el cable y el concreto, o el ducto en caso de existir.

En la Figura III.1, valiéndonos como ejemplo de un elemento lineal genérico, se representa el sistema de fuerzas descrito.

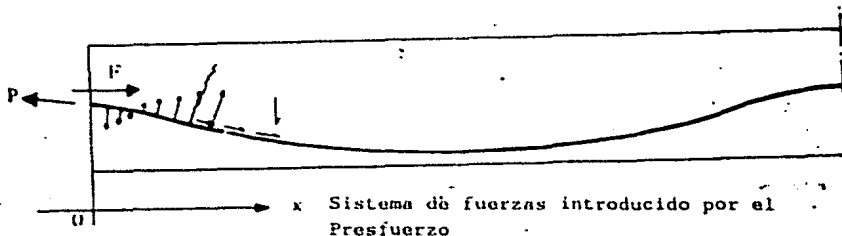


Figura III.1

A continuación, comentaremos la clasificación establecida, - al menos en sus dos primeros grupos: acciones directas e indirectas. Como - indicamos en la introducción a este capítulo.

III.4.2.- ACCIONES DIRECTAS

El criterio de división seguido distingue entre:

- acciones directas permanentes, y
- acciones directas variables.

III.4.2.1.- Acciones Directas Permanentes

Se consideran las siguientes:

- peso propio
- cargas muertas

III.4.2.1.a.- Peso Propio

Es el dimensionamiento de un elemento estructural, el peso - propio es dato y resultado a la vez. Por consiguiente, su consideración ri-

gurosa -precisa cuando su importancia relativa sea grande dentro del conjunto de solicitaciones- hace necesario un proceso de cálculo interactivo.

En estructuras metálicas, e incluso en elementos verticales de concreto armado, se acostumbra despreciar el peso propio siempre y cuando sea notablemente inferior a las cargas permanentes.

Por el contrario, en elementos de concreto presforzado el peso propio deberá ser considerado siempre.

III.4.2.1.b.- Cargas Muertas

Son las cargas permanentes que no se consideran como elementos estructurales de la sección (por ejemplo, pavimento de un puente, etc.).

III.4.2.2.- Acciones Directas Variables

Se consideran variables las siguientes acciones directas:

- de explotación o de uso,
- climáticas,
- del terreno,
- debidas al proceso constructivo.

III.4.2.2.a.- Acciones de Explotación o de Uso

Estas cargas no siempre son gravitatorias; también deben considerarse dentro de este grupo cargas tales como la del viento sobre muros de protección, la acción del oleaje en diques, el empuje del terreno sobre muros de contención, etc.

III.4.2.2.b.- Acciones Climáticas

Se trata de acciones como la nieve, el viento, etc., pero no las acciones térmicas, ya que éstas producirán esfuerzos en la estructura - cuando la libre deformación de la misma se encuentre coartada.

Por tanto, las acciones térmicas merecen, como hemos visto, - la calificación de acciones indirectas (véase III.4.3.2.c.).

III.4.2.2.c.- Acciones del Terreno

La acción del terreno sobre una estructura es doble: peso - como sólido- y empuje -como materia no rígida-. En cuanto a su carácter, - existen múltiples opiniones.

III.4.2.2.d.- Acciones Debidas al Proceso Constructivo

Algunos elementos de la estructura pueden estar sometidos a mayores solicitaciones durante la construcción que a lo largo de su explotación. Esto es particularmente frecuente en elementos de grandes claros en los que el uso del concreto presforzado está en especial indicado.

Cuando se prevean situaciones de este género, se harán objeto de un estudio especial.

III.4.3.- ACCIONES INDIRECTAS

Se pueden clasificar atendiendo al siguiente criterio:

- si generan esfuerzos para cualquier tipo de elemento,
- si generan esfuerzos exclusivamente en elementos hiperestáticos.

III.4.3.1.- Acciones Indirectas Generales

Como hemos indicado, generarán esfuerzos sobre cualquier estructura o elemento estructural, independientemente de si se trata de casos isostáticos o hiperestáticos.

Se tratará de acciones que impriman aceleraciones a la estructura: explosiones, movimientos sísmicos, etc.

III.4.3.1.a.- Acciones Sísmicas

Son las acciones producidas por las aceleraciones transmitidas a las masas de la estructura por los movimientos sísmicos.

III.4.3.2.- Acciones Indirectas que Actúan Sobre Elementos Hiperestáticos

Se consideran los siguientes tipos entre las acciones indirectas que generan esfuerzos únicamente en las estructuras o elementos estructurales hiperestáticos:

- acciones reológicas,
- acciones térmicas,
- acciones producidas por movimientos impuestos.

III.4.3.2.a.- Acciones Reológicas

Son las acciones por deformaciones cuya magnitud es función:

- del tiempo
- del material de la estructura

La naturaleza de los fenómenos que las originan -retracción, fluencia, etc.- se ha tratado en detalle en el Capítulo II, dedicado al estudio de los materiales.

III.4.3.2.b.- Acciones Térmicas

Están producidas por las deformaciones originadas por variaciones de temperatura.

Su valor será función de:

- la temperatura y las leyes de su distribución,
- las condiciones de fijación del elemento analizado,
- las propiedades del material.

III.4.3.2.c.- Acciones Producidas por Movimientos Impuestos

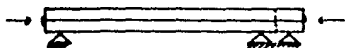
Los movimientos causantes de este tipo de acciones indirectas pueden ser los producidos por descensos diferenciales de los apoyos de la estructura como consecuencia de asentamientos del terreno de cimentación, o bien movimientos intencionados o accidentales de tales apoyos.

III.4.4.- ACCIONES DEBIDAS AL PRESFUERZO

Desde el punto de vista estático, estas acciones deben ser tratadas como fuerzas exteriores que se equilibran internamente, no dando lugar en los sistemas isostáticos a ninguna nueva reacción (Figura III.2.a.). En estructuras hiperestáticas, sin embargo, pueden aparecer reacciones (Figura III.2.b.) e incluso, si el presfuerzo se aplica impropriamente (Figura III.2.c.), podrían no aparecer tensiones en la pieza.

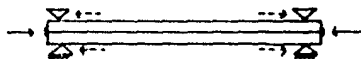
En este último caso -ejemplo de actuación equivocada- la pieza objeto del intento de presfuerzo tiene impedida la deformación en el sentido en que se introduce el presfuerzo. De este modo, es la sustentación la que absorbe el presfuerzo que no afecta al elemento.

Esta figura pretende llamar la atención sobre una condición indispensable para que se pueda hablar de presfuerzo: el elemento a presforzar ha de poder deformarse con completa libertad en el sentido de introducción del presfuerzo.



Presforzado de una estructura isostática.

Figura III.2.a



Intento de presfuerzo de una estructura indeformable.

Figura III.2.b.

Presfuerzo de una estructura hiperestática.

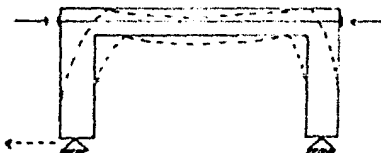


Figura III.2.c.

III.5.- VALORES CARACTERÍSTICOS DE LAS ACCIONES

Debemos distinguir, para todas las acciones, dos tipos de valores:

- el valor característico, y
- el valor ponderado o valor de cálculo.

La obtención del valor característico será el objeto del presente apartado, en lo referente a las acciones directas e indirectas.

El valor de cálculo de una acción se obtiene a partir del valor característico, ponderando éste mediante ciertos coeficientes -de ahí - que también se denomine valor ponderado al valor de cálculo-.

Recordemos la notación habitualmente empleada:

- para el valor característico, se emplea el subíndice k ,
- para el valor de cálculo, se emplea el subíndice d .

III.5.1.- DEFINICION DE VALOR CARACTERISTICO

El **valor característico** tiene en cuenta no sólo los valores extremos que alcanzan las acciones; sino también la dispersión que tales valores presentan en la realidad.

En ciertos casos, una misma acción podrá tener efectos desfavorables y favorables, según consideremos diversas hipótesis de agotamiento de la estructura. Será preciso discernir entonces cuándo ha de emplearse el valor característico máximo de dicha acción, y cuándo da lugar la consideración de su valor característico mínimo.

De manera general, se considera como valor característico de una acción aquel asociado a un nivel de confianza del 95%; esto es, aquel - valor cuya probabilidad de ser sobrepasado (**valor característico máximo** - $f_{k,max}$) o de no ser alcanzado (**valor característico mínimo** $f_{k,min}$) es igual a 0,05 durante la vida de servicio prevista para la estructura.

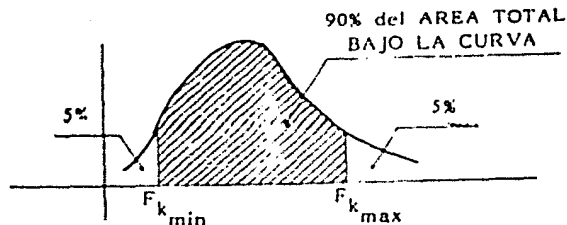


Figura III.3

En la Figura III.3, sobre la distribución probabilística de una acción genérica F , representamos los valores característicos máximo - $F_{k,max}$ y mínimo $F_{k,min}$.

¿En qué caso se empleará cada uno de ellos?

Normalmente se emplea el valor característico máximo $F_{k,max}$ cuando la acción de la que se trata es de efecto desfavorable en la situación concreta que se considera.

Análogamente, cuando el efecto de una acción sea favorable, será preciso utilizar su valor característico mínimo $F_{k,min}$.

Insistamos en que, en ocasiones, una misma acción pasa de actuar favorable a desfavorablemente, o viceversa, durante la vida de la estructura. En el análisis de las diferentes situaciones que surjan, este cambio de carácter habrá de ser tenido en cuenta a la hora de considerar sus valores característicos correspondientes.

Veamos un ejemplo en donde es preciso actuar de este modo.

Para el cálculo de una viga biapoyada, a efectos de su fabricación, y para situarnos del lado de la seguridad, se debería considerar el peso propio característico mínimo, pues el peligro es la rotura de la cabeza de compresión (fibra superior) debido al momento originado por el presfuerzo. Esta situación se representa en la Figura III 4.a.

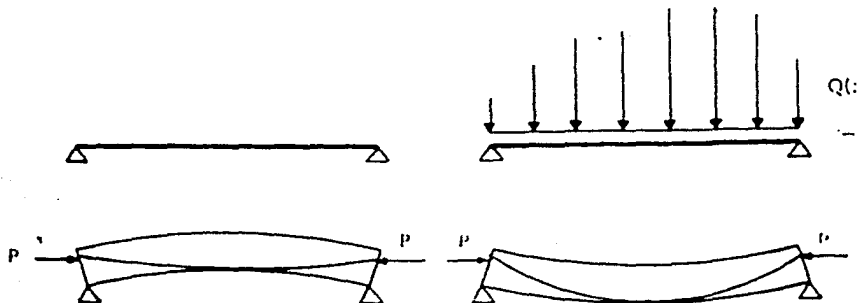


Figura III.4.a

Figura III.4.b

Sin embargo, al actuar las sobrecargas, el peligro está en el agotamiento de la fibra inferior (Figura III.4.b), por lo que deberemos considerar ahora el peso propio característico máximo.

III.5.2.- VALORES CARACTERISTICOS DE LAS ACCIONES DIRECTAS

Habiendo introducido el concepto de valor característico, estudiaremos a continuación los valores correspondientes a cada una de las acciones introducidas en III.4.2.

III.5.2.1. Acciones Directas Permanentes

El valor característico de las acciones producidas por las cargas se obtiene multiplicando el peso específico de los materiales por su volumen.

Con cuantías normales de varilla, los elementos de concreto armado y presforzado tienen un peso específico estimado de 2.5 toneladas/m³.

Lógicamente, en obras de concreto presforzado la carga permanente predominante será con frecuencia el peso propio de la estructura.

III.5.2.2.- Acciones Directas Variables

Los valores establecidos en las distintas normativas para las cargas variables de explotación o de uso y para las cargas climáticas serán considerados, a falta de indicación precisa, como valores característicos; es decir, como valores en los cuales ya se ha incluido la dispersión.

Cuando la acción del terreno resulta favorable para la hipótesis de carga considerada, no se tendrá en cuenta su empuje, salvo que exista la completa seguridad de que actuará permanentemente.

Tiene especial interés el empleo del **coeficiente de impacto** para considerar el efecto de las secciones que actúan o varían bruscamente.

En este caso, asimilamos el fenómeno al estudio del caso estático, multiplicando la carga estática característica por un coeficiente mayor que la unidad, denominado coeficiente de impacto.

Así,

$$F_{k,\text{dinámica}} = c \cdot F_{k,\text{estática}}$$

El coeficiente de impacto c (también denominado coeficiente de amplificación dinámica) depende de multitud de factores: la velocidad de variación de la carga, el período propio de vibración del elemento sobre el que se aplica la carga, sus dimensiones (especialmente su claro), etc.

Se determinará experimentalmente, por lo común.

Cuando debido al proceso de ejecución previsto para la estructura actúen sobre las mismas cargas debidas a equipo, maquinaria, materiales almacenados, etc., se tendrán en cuenta los valores característicos de estas cargas, sin olvidar que durante la construcción el funcionamiento resistente de parte o de totalidad de la estructura puede ser distinto del definitivo.

C A P I T U L O I V

**R E C O M E N D A C I O N E S
P A R A E L P R O Y E C T O
Y L A E J E C U C I O N**

IV.1.- RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO

IV.1.1.- GENERALIDADES

En las estructuras de concreto presforzado, la correcta definición del proyecto influye de manera especialmente decisiva en la ejecución y el comportamiento futuro de la obra. La complejidad de esta técnica deriva de los siguientes factores:

- la utilización de elementos distintos -cables activos y pasivos, concreto, anclajes, ductos, empalmes, etc.-,
- la introducción de esfuerzos considerables -a veces a edades muy tempranas del concreto-,
- la interferencia que normalmente se presenta entre los diversos tipos de cables, así como entre dichos cables y otros elementos,
- etc.

Parte importante de esta definición del proyecto es la que se refiere a la disposición de los cables, y de los restantes elementos, como pueden ser anclajes, empalmes, ductos, etc.

Se recomienda utilizar, si fuese posible, materiales normalizados y, dentro de éstos, los más usuales y de más fácil aprovisionamiento en el área en que se lleve a cabo la obra.

IV.1.2.- RECOMENDACIONES PARA LA DISPOSICION Y COLOCACION DE CABLES

Nuestro propósito es determinar las distancias libres que deben dejarse en los siguientes casos:

- entre los cables activos y pretensados,
- entre los cables activos y pretensados y los cables pasivos,
- entre los conductos de alojamiento de los cables activos postensados,
- entre estos conductos y los cables pasivos,
- entre estos conductos y los cables activos pretensados.

Entre las razones fundamentales que se han tenido en cuenta para ésto, destaca la necesidad de asegurar la transmisión de esfuerzos y la resistencia local del concreto. Para ello, resulta imprescindible que éste pueda penetrar entre los cables y rellenar completa y homogéneamente todos los espacios existentes en la pieza.

Si se utilizan vibradores internos, dichas distancias deberán permitir el paso de los mismos.

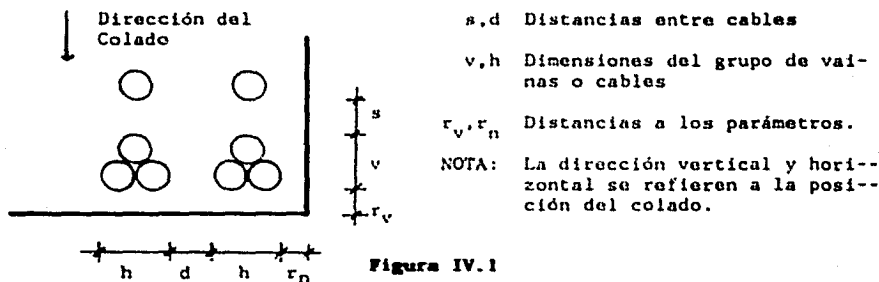
Se indican también las distancias mínimas recomendables desde los cables o conductos a los parámetros de la pieza. En este caso, a las razones expuestas en el párrafo anterior se añaden las exigencias de durabilidad de la estructura.

Algunos de los valores aquí recomendados son superiores a los mínimos fijados normalmente dado que en muchas ocasiones, adoptando los métodos usuales de puesta en obra y compactación del concreto, y teniendo en cuenta las tolerancias también recomendadas más adelante, pueda resultar más práctico y seguro adoptar valores superiores a los mínimos generales estrictos.

En lo que se refiere a la distancia entre cables, la designación que se hace de dirección horizontal y dirección vertical en una pieza es puramente convencional: se refiere a su posición real de colado, la cual, especialmente en el caso de elementos prefabricados, puede no coincidir con su posición definitiva en la estructura.

A efectos de distancias entre cables o conductos, se hacen intervenir tres variables:

- **Mínimo absoluto** de acuerdo con las tolerancias recomendadas y las dimensiones del vibrador, cuando se use.
- **Mínimo dependiente** de la configuración de los cables o conductos y en relación con la dirección de colado (véase la Figura IV.1).
- **Mínimo dependiente** del tamaño máximo del agregado.



A efectos de distancias a los parámetros (recubrimientos) se hacen intervenir también como variables el ambiente en que se encuentra la estructura y la sensibilidad de los cables a la corrosión. En algunos casos, ha sido posible establecer diferencias según la Clase en que se proyecta la estructura. Para concretos de alta calidad, es posible disminuir las citadas distancias.

Cuando la distancia del parámetro al cable más próximo es superior a 40 mm, hay que disponer una varilla suplementaria o de piel, con el fin de distribuir homogéneamente las tensiones superficiales en la pieza.

En ocasiones, para evitar esto, conviene limitar el tamaño máximo del agregado en función del recubrimiento deducido a partir de las otras limitaciones señaladas, en lugar de proceder a la inversa, ya que la consideración del tamaño máximo del agregado es la que suele condicionar que el recubrimiento alcance los valores más elevados.

Respecto a las condiciones ambientales en que vaya a colocarse la estructura, se distinguen tres situaciones:

Situación A: Corresponde a los casos de estructuras para interiores de viviendas u oficinas; estructuras con los parámetros debidamente protegidos; aquéllas que incluso puedan estar en ambientes de humedad relativa alta, pero en periodos cortos, etc.

Situación B: Corresponde a los casos de estructuras situadas a la intemperie en ausencia de gases agresivos y protegidas contra el agua o el hielo en estado de saturación; estructuras expuestas a condensaciones o fugas de agua; estructuras en contacto permanente con aguas no agresivas o con terrenos inocuos, etc.

Situación C: Corresponde a las estructuras situadas en ambientes químicamente agresivos, como pueden ser ciertos suelos, las atmósferas corrosivas de tipo industrial o la atmósfera marítima; estructuras expuestas a heladas intensas, a fuertes precipitaciones, a ciclos alternativos de humectación y desecación; estructuras en las que se requiera una determinada resistencia al fuego, etc.

Ya se comprende lo difícil que puede resultar, en la práctica, intentar asimilar las condiciones reales de la estructura a una de las situaciones mencionadas. Por tanto, en caso de duda o cuando se desconozca el destino que haya de darse al elemento en cuestión, se deberá ser prudente al hacer esta asimilación. Será recomendable entonces efectuar la comprobación de la estructura en una Clase más exigente que la que pudiera prescribirse, en casos similares, para una situación bien definida.

IV.1.2.1.- Cables Activos Postensados

Características de las Vainas y Conductos

Las vainas utilizadas en tendones adherentes que hayan de quedar embebidas en el concreto deberán ser metálicas; como ya vimos en el Capítulo I, se recomienda utilizar vainas corrugadas.

En casos especiales, podrán utilizarse otros tipos de vainas, siempre que cumplan las condiciones de resistencia y adherencia finales.

Si se utilizan vainas de plástico, habrá que considerar no sólo la disminución de adherencia de las mismas, sino también el aumento de las pérdidas de presfuerzo que pueden originarse en zonas de fuertes curvaturas, ante la posibilidad de que los cables activos se incrusten en la vaina que las contiene

Para una correcta inyección de las vainas, es recomendable que su diámetro interior sea de 5 a 10 mm superior al del tendón, y que la relación de áreas entre la sección interior de ducto y la del tendón (entendiendo por tal la de la figura convexa circunscrita al mismo) quede comprendida entre 1.5 y 2. No obstante, según sea el sistema de presfuerzo y el proceso constructivo, puede ser necesario aumentar estos valores.

Distancias entre Conductos o Entre Conductos y Cables Pasivos

Deberán ser al menos iguales al máximo de los valores que a continuación se indican (Figura IV.2):

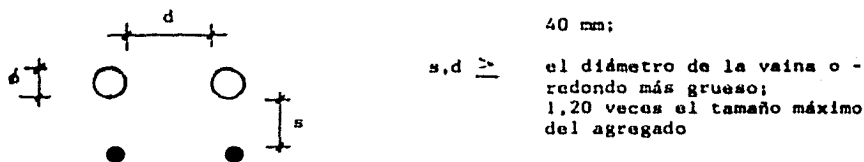


Figura IV.2

Las vainas podrán disponerse formando grupos de dos, tres, o hasta cuatro elementos tangentes. Para admitir estas disposiciones, deben cumplirse las siguientes condiciones:

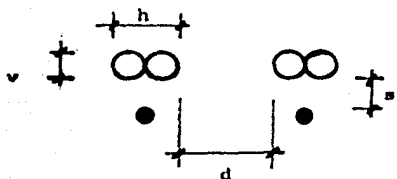
- que las vainas sean corrugadas; (ver Capítulo I)

- que se limite el número de vainas en el grupo a dos en horizontal y a no más de cuatro en su conjunto;
- que no dificulten el colado y pueda introducirse un vibrador interno normal;
- que la resistencia de cada vaina de un grupo le permita soportar, sin tener una deformación capaz de impedir la correcta inyección de la misma, - las acciones que en la partes curvas del trazado ejercerán las otras vainas del grupo, después de la puesta en tensión.

En general, no resulta recomendable utilizar grupos formados por más de dos elementos.

Las distancias, o espacios libres entre los grupos de vainas, o entre éstos y los cables pasivos, deberán ser por lo menos iguales al mayor de los valores que, para cada caso, a continuación se señalan:

- Grupos de dos elementos tangentes horizontal o verticalmente de tres elementos agrupados en triángulo, o de cuatro elementos agrupados en cuadrado (Figura IV.3).

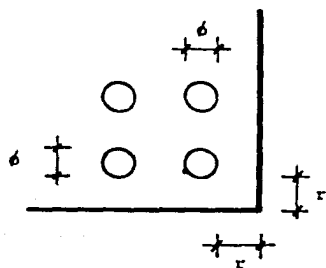


40 mm;
 $s, d \geq$ al mayor de los valores v o h ; --
 1,20 veces el tamaño máximo del agregado.

Figura IV.3

Distancias a los Parámetros

Según las condiciones ambientales en que vaya a encontrarse la estructura, las distancias mínimas entre los conductos aislados y las - cimbras o parámetros serán, cuando menos, iguales a las siguientes (véase - Figura IV.4).



En situación A o B:

40 mm;

$r \geq$ el diámetro del conducto;
1.20 veces el tamaño máximo del agregado

En situación C:

El proyectista fijará la distancia que debe adoptarse en cada caso, según el tipo de exigencia, y cuidando de que queden aseguradas la calidad y compactación del concreto.

Figura IV.4

Las distancias mínimas entre los grupos de vainas y las cimbras o paramentos deberán cumplir las condiciones siguientes (Figura IV.5).

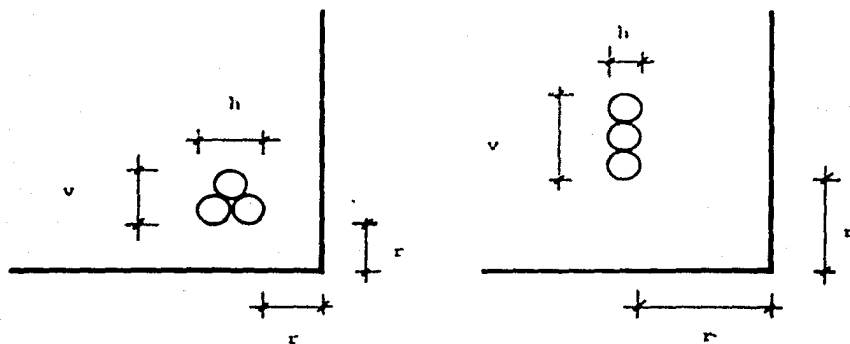


Figura IV.5

- Grupos de dos elementos tangentes horizontal o verticalmente de tres elementos agrupados en triángulo, o de cuatro elementos agrupados en cuadrado:

40 mm;

En situación A o B: $r \geq$ el mayor de los valores v o h ;
1.20 veces el tamaño máximo del agregado

En situación C: Como en el caso de vainas aisladas, deberá fijarla el proyectista.

No debe olvidarse que las distancias a los paramentos pueden venir condicionadas por los recubrimientos requeridos para otros tipos de cables (tales como los activos pretensados o los pasivos).

Trazado

La expresión más exacta y simple del trazado es la definición por puntos del eje del conducto, dando para cada punto sus tres coordenadas X,Y,Z, referidas a ejes conocidos.

Si el trazado tiene expresión matemática, deberá darse, pero sin omitir la definición por puntos.

Definido el trazado y el diámetro de la vaina, podrá deducirse la posición de aquellos puntos de los bordes del conducto que resulte necesario conocer para poder cumplir las exigencias tanto del proyecto como de la ejecución y control de la obra.

Normalmente, la definición del trazado del tendón se hace a partir del trazado del eje del conducto. Sin embargo, ello no implica la concordancia de los ejes de ambos elementos; en ciertos casos, esta falta de concordancia puede tener importancia en el cálculo, por la indeterminación del punto de aplicación del presfuerzo.

Al definir el trazado, se respetarán las exigencias de cada sistema de presfuerzo, en cuanto a disposición de los elementos de anclaje y empalme, longitudes rectas finales del tendón, radios mínimos recomendables, etc. (ver Capítulo VI).

Cables Activos Exteriores

Su empleo no es recomendable en general. Deberá recurrirse a ellos únicamente por razones especiales (refuerzo de elementos estructura-

les, sustitución de alambres, reparaciones, suspensión de elementos, etc.) y sólo en condiciones muy determinadas.

Como problemas planteados por la utilización de estos cables pueden citarse, entre otros, los que se originan:

- por la dificultad de su protección, toda vez que su recubrimiento, sea del material que sea, no queda presforzado, y ha de admitir el alargamiento correspondiente a la entrada en servicio del elemento construido;
- por las dificultades (rozamientos difíciles de determinar, elevación local de tensiones, etc.) creadas en los puntos de apoyo de estos cables.

Tratándose de casos muy particulares, es muy difícil establecer una normativa general. No podemos hacer más que recordar la existencia de estos problemas y llamar la atención sobre la necesidad de un cuidadoso estudio de los mismos.

Piezas con Cables Pretensados y Postensados

Como parece lógico pensar, deberán tenerse en cuenta las recomendaciones relativas a ambos tipos de cables.

A efectos de distancias libres, se recomienda adoptar el mayor de los valores deducidos de las consideraciones siguientes:

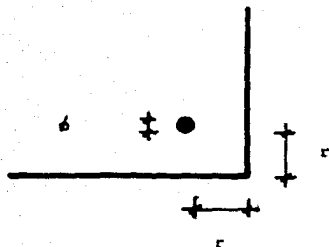
- los conductos no inyectados, aunque sea temporalmente, se pueden considerar para los cables pretensados en general, como en situación A;
- los cables pretensados se pueden considerar como cables pasivos respecto a los conductos de los postensados.

IV.1.2.2.- Cables Pasivos

Tanto para las distancias entre barras como para las distancias a los paramentos, las disposiciones a seguir son las habituales de concreto armado.

No es recomendable adoptar recubrimientos superiores a 40 mm, pudiendo exceptuarse los elementos colados con técnicas especiales y los enterrados.

En general, los recubrimientos recomendados para los cables pasivos no están afectados por los que deben cumplir los cables activos, dado que estos últimos vienen normalmente envueltos por los primeros. En caso contrario, deberán tenerse en cuenta las exigencias de los recubrimientos de dichos cables (véanse IV.1.2.1) por si fuesen determinantes (véase la Figura IV.6).



En situación A: r	15 mm; el diámetro; 1.20 veces el tamaño máximo del agregado.
En situación B: r	20 mm; el diámetro; 1.20 veces el tamaño máximo del agregado.
En situación C:	El proyectista fijará la distancia que debe adoptarse en cada caso, según el tipo de exigencia, y cuidando de que queden aseguradas la calidad y compactación del concreto.

Figura IV.6

IV.1.3.- INYECCION: ASPECTOS PARTICULARES

Las decisiones referentes a la inyección que han de adoptarse en el proyecto son, a grandes rasgos, las siguientes:

- las relativas al producto de inyección,
- las relativas a los elementos necesarios para llevarla a cabo.

IV.1.3.1.- Elección de la Mezcla de Inyección

Cualquiera que sea ésta, su finalidad es la de proteger los cables activos de la corrosión, como sabemos.

Se podrá elegir un producto de inyección:

- adherente,
- no adherente (generalmente con carácter provisional).

Según se haya considerado en el proyecto la utilización de cables activos adherentes o no (en un período determinado de la construcción o en la totalidad de la vida de la estructura).

Los productos de inyección adherentes estarán constituidos por lechadas o morteros de cemento. De forma resumida, deben cumplir las siguientes condiciones:

- el cemento será de tipo Portland, salvo justificación especial.
- el agua tendrá un pH mayor o igual que 7.
- en caso de utilizarse mortero, los agregados empleados estarán constituidos por granos silíceos y calcáreos, exentos de iones ácidos y de partículas laminares.

- el uso de aditivos probadamente inocuos para los cables deberá ser objeto de experimentación previa,
- la relación agua/cemento será la menor posible, teniendo en cuenta la fluidez que necesita la mezcla,
- la resistencia a compresión de la mezcla de inyección, medida a los 28 días de edad, será superior o igual a 300 kg/cm^2 .

Los productos de inyección no adherentes estarán constituidos en general por betunes, mástiques betuminosos, etc. Requerirán, como sus homólogos adherentes, ser ensayados previamente a su utilización, la cual suele ser de carácter temporal. En este caso, deberán ser fácilmente eliminables, con vistas a sustituirlos definitivamente por un producto de inyección adherente.

En cuanto a dosificaciones, características especiales, etc., es conveniente dirigirse al fabricante del sistema de presfuerzo utilizado y, en cualquier caso, emplear únicamente productos de óptima calidad, homologados por laboratorios técnicos autorizados.

IV.1.3.2.- Elementos para Realizar la Inyección

En el proyecto han de considerarse únicamente las **boquillas de inyección y respiraderos**, en los puntos bajos del trazado de los tendones y en los puntos altos.

En general, cada patente de presfuerzo dispone de las piezas especiales necesarias para su utilización como boquillas de inyección y respiraderos, debiendo seguirse escrupulosamente para su empleo las instrucciones facilitadas por el suministrador del sistema.

En los tendones de gran longitud se recomienda que además de los respiraderos situados en los puntos altos del trazado, se dispongan otros suplementarios a distancias prudentes.

Será conveniente disponer drenes en los puntos bajos del trazado, siempre que sea posible cerrarlos antes de proceder a la inyección. - Cuando el riesgo de heladas sea elevado, la experiencia recomienda colocarlos únicamente cuando puedan ser accesibles.

Se aconseja también disponer respiraderos en los puntos del trazado que presenten cambios bruscos de sección en las vainas (como es el caso de empalmes, trompetas de empalme, etc.). Estos tubos se prolongarán la longitud necesaria para que la exudación de la mezcla inyectada se produzca fuera del elemento de concreto.

IV.1.4.- ZONAS DE ANCLAJE

Estas zonas, como sabemos, son de vital importancia y responsabilidad. Comenzaremos estudiando los objetivos de las varillas de refuerzo, en función de las sollicitaciones que soportan, para pasar posteriormente a tratar diversos criterios de dimensionamiento de estos refuerzos.

IV.1.4.1.- Objetivos de las Varillas de Refuerzo

En las zonas de anclaje, se disponen varillas pasivas de refuerzo con las finalidades siguientes:

- recoger los **esfuerzos de tensión** que se desarrollan detrás de los anclajes sobre los planos que pasan por el eje del cable y que tienden a reventar el concreto. Se trata, por lo tanto, de **sumchar la cabeza de la pieza**.
- asegurar la **transmisión de esfuerzos de presfuerzo** a los anclajes, donde los esfuerzos son discontinuos, hasta una zona donde las tensiones se reparten según la ley de Navier. Se trata aquí de establecer un equilibrio general de la pieza en la zona de regulación de tensiones. Para ello se recurre al **sumchado del primer particular de tensiones** a que da lugar la introducción del presfuerzo, creada por cada tendón. Si el sistema de presfuerzo nos proporciona estas varillas locales ya normalizadas, podremos utilizarlas.

Para el zunchado de la cabeza de la pieza habrá que tener en cuenta los anclajes individuales (con sus varillas) de cada tendón, y el conjunto de anclajes existentes en la zona; las acciones localizadas, tales como reacciones de apoyo, etc., la posible interferencia de otros elementos - (vigas riostras, diafragmas, etc.), cualquier otra causa que pueda resultar determinante tanto para el cálculo de estas varillas como para fijar su posición.

Las cabezas de anclaje y las varillas pasivas de refuerzo antes citadas forman, por lo general, un conjunto denso y complejo que suele afectar a la facilidad de la ejecución, la calidad de la pieza y la presión de la fijación de los tendones.

El conjunto de varillas, al que se añade la presencia de los cajetines y cabezas de anclaje, de las boquillas de inyección y de los respiraderos, no debe crear espacios difíciles de colar, ya que ello daría lugar a la aparición de hoquedades.

Por tanto, todo exceso de varillas o mala disposición de las mismas, haciendo demasiado difícil el colado, puede ser tan nocivo como una insuficiente varilla de refuerzo.

De una manera general, y si la compactación del concreto es buena, la cabeza reforzada de la pieza debe resistir. Puede asegurarse que cuando la rotura se produce por compresión, la compactación del concreto detrás del anclaje ha sido defectuosa. Subrayamos así que la estabilidad de un anclaje dependerá en buena parte de la adecuada compacidad del concreto sobre el cual se apoya.

Todo ello, en el proyecto será preciso considerar los aspectos prácticos de la ejecución de estas zonas y definirlos con la precisión y detalle que su importancia y delicadeza requiere.

IV.1.4.2.- Dimensionamiento

En las zonas de anclaje de los cables no pueden aplicarse las hipótesis de la Resistencia de Materiales para el cálculo tensional.

Considerando aisladamente el efecto del presfuerzo, se admite que a partir de una cierta distancia h de la cara extrema donde se aplica el presfuerzo la distribución de tensiones se hace uniforme. La distancia h puede suponerse igual a la mayor dimensión de la sección transversal de la pieza.

En esta zona pueden aparecer tensiones elevadas, debiendo limitarse el valor de las mismas a fin de evitar la posible fisuración.

Para el cálculo de estas tensiones, puede recurrirse a la teoría de la Elasticidad, o a estudios experimentales.

El dimensionamiento de las zonas de anclaje debe ser realizado por el proyectista según los datos básicos suministrados por el fabricante del sistema de presfuerzo.

Cuando el número de alambres a anclar es elevado es necesario prolongar la vaina sobre el comienzo del abocinamiento hasta que la distancia entre alambres sea de 1 a 2 cm, ya que en caso contrario el concreto puede ser sobresolicitado en el comienzo del anclaje y resultar dañado.

IV.2.- RECOMENDACIONES PARA LA EJECUCION

IV.2.1.- GENERALIDADES

Las estructuras presforzadas son obras particularmente vivas, sometidas a grandes esfuerzos iniciales, como son los producidos por el presfuerzo, y en las que pueden desarrollarse, a lo largo del tiempo, fenómenos que atentan contra su seguridad, y que pueden evolucionar rápidamente, tales como los de corrosión bajo tensión, fluencia, relajación, etc.

La disminución en la calidad de los materiales prevista en el proyecto y una mala ejecución de la obra pueden ocasionar problemas de costosa y difícil reparación.

Por lo tanto, la obra debe ajustarse estrictamente a las dimensiones señaladas en el proyecto; y la calidad de los materiales no puede verse disminuida por un descuidado manejo o almacenamiento.

Es pues imprescindible que la ejecución cuidada y realizada con apego a las normas y buena práctica sea considerada como método habitual de trabajo.

IV.2.2.- PRECAUCIONES PREVIAS A LA COLOCACION DE LOS CABLES

Para su **suministro y transporte**, los alambres se dispondrán en rollos cuyo diámetro de bobinado no podrá ser inferior a 250 veces el del alambre, si éste es de grado R 2 o R 5, o a 550 mm si el alambre es de grado R 8. Las barras se suministrarán en trozos rectos y los cables en rollos o carretes de diámetro de bobinado no inferior a 600 mm.

En cualquier caso, no se admitirá en una misma bobina más de una longitud de fabricación.

Los cables activos se transportarán debidamente embalados y protegidos contra la humedad, deterioro, contaminación, grasas, etc.

Siempre será necesario evitar los golpes o cualquier otra - causa que pueda dañar la superficie de los cables.

Se almacenarán clasificados según tipos, clases y lotes de - que procedan.

Para evitar los riesgos de oxidación y corrosión, el ~~almacenamiento~~ se realizará en locales cerrados y al abrigo de la humedad.

En el almacén se adoptarán las medidas necesarias para impedir que los cables puedan ensuciarse o sufrir cualquier deterioro debido a - ataques químicos, operaciones de soldadura realizadas en sus proximidades, - etc.

Si, por causas especiales, durante un cierto periodo de tiempo los cables han de estar almacenados a la intemperie, deberán protegerse, por ejemplo, tapándolos con una lona y situándolos a una cierta distancia del suelo, sobre una cama de madera seca.

Los medios de protección de los cables deberán ser fácilmente eliminables con una simple limpieza con agua.

Después del almacenamiento, se comprobará que los cables se mantienen limpios, sin manchas de grasa, aceite, pintura, polvo, tierra, o cualquier otra materia perjudicial para su buena conservación y posterior adherencia. Su estado superficial será siempre objeto de examen antes de su colocación, con el fin de comprobar que los aceros no presentan síntomas de corrosión ni alteraciones o defectos superficiales aparentes, tales como puntos de soldadura, pliegues o dobleces.

En ningún caso deberán enderezarse los cables que presenten dobleces.

IV.2.3.- COLOCACION Y EMPALME DE LOS CABLES ACTIVOS

IV.2.3.1.- Colocación

IV.2.3.1.a.- Cables Pretensados

Al iniciarse la colocación de los cables se comprobará que cumplen los requisitos generales a los que se ha hecho referencia, especialmente en lo relativo al estado de la superficie y a los defectos aparentes.

Deberán desecharse aquellos cables que presenten en su superficie jaboncillo de trefilado a menos que, antes de su colocación, se utilice para su limpieza un método de eficacia garantizada.

Se recomienda que todos los cables activos colocados en una misma pieza sean de la misma procedencia, tipo, grado, módulo de elasticidad y diámetro. Esto es obligatorio en el caso de tensado simultáneo de los cables.

Todas las operaciones de corte de los cables activos se realizarán utilizando medios adecuados, preferiblemente mecánicos, tales como - sierra de disco abrasivo de alta velocidad, cizalla o cincel.

Durante la colocación, debe evitarse que los cables activos entren en contacto con superficies o elementos que estén engrasados. En especial, debe impedirse que queden impregnados con los productos de desmoldeo.

Queda prohibido realizar, en las proximidades de los cables de presfuerzo, operaciones de soldadura u otras capaces de producir en ellos calentamientos.

Antes de cada utilización, se comprobarán cuidadosamente los anclajes que sujetan los cables en los estribos de los bancos de fabricación y se desecharán los que no reúnan las adecuadas garantías de seguridad.

Si los anclajes son de cuñas, se inspeccionarán las superficies que vayan a estar en contacto con el cable o hayan de deslizar entre sí, y se mantendrán perfectamente limpias.

Se cuidará la perfecta alineación de los moldes para asegurarse de que en cada sección de la pieza, la posición de los cables activos respecto a la sección de concreto es la prevista en el proyecto, dentro de las tolerancias establecidas.

Se utilizarán dispositivos de sujección y guía, que aseguren la correcta colocación de los cables pretensados a lo largo de todo su trazo do en el interior de la pieza.

Las tolerancias en la colocación de los cables activos deben ser establecidas por el proyectista, después de considerar la influencia que los errores pueden tener en las características reales de las piezas.

IV.2.3.1.b.- Cables Postensados

No podrán utilizarse en un mismo tendón aceros de presfuerzo de diferentes características o composición, a no ser que se demuestre que no existe riesgo de corrosión electrolytica entre tales aceros, y que su módulo de deformación longitudinal es similar.

El enfilado de los cables dentro del conducto deberá ser - - realizado de forma que no se produzcan daños ni en los cables ni en la vaina.

Quando los diferentes elementos constituyentes de un tendón se pongan en carga simultáneamente, se recomienda no emplear separadores. - Por el contrario, si se tensa elemento por elemento los separadores son imprescindibles.

Si se utilizan cables activos exteriores, habrá que tener en cuenta lo indicado en IV.1.2.1, especialmente en lo referente a los problemas fundamentales que surgen con este tipo de cables. Deberán seguirse con rigor las especificaciones del proyecto, adoptando las oportunas precauciones para evitar la corrosión del acero y garantizar la durabilidad del mismo. La mejor protección se consigue con un concreto denso, adecuadamente - anclado al resto de la pieza. No debe olvidarse que como este concreto de recubrimiento no queda presforzado, si no se ancla bien tiende a separarse - longitudinalmente.

También puede usarse como protección el mortero de cemento. - En este caso, igual que en el anterior, deberá prestarse especial atención - al anclaje del recubrimiento y comprobar la densidad y espesor de la capa de protección. Se admiten protecciones de tipo bituminoso u otras de características adecuadas, previo estudio cuidadoso de su idoneidad.

En casos especiales, puede ser necesario comprobar en los - puntos de quiebre las pérdidas puntuales de tensión por rozamiento y el efecto tenaza (tensiones transversales), ya que su valor puede verse afectado - sustancialmente si la curvatura de los apoyos en los quiebres del trazado no es la adecuada.

IV.2.3.2.- Empalme

IV.2.3.2.a.- Cables Pretensados

Para los cables pretensados se suele utilizar dos tipos de empalme: **empalme mediante terminal cilíndrico y empalme por traslape y zunchado.**

El primero se efectúa mediante unas piezas semejantes a un doble terminal de anclaje. El segundo se consigue enrollando un alambre delgado y duro alrededor del traslape mediante una máquina que efectúa la operación dando una tensión elevada al alambre de zunchado.

Es aconsejable que el empalme quede fuera de las piezas coladas, tanto por seguridad como por economía (recuperación de los terminales de empalme).

Si el empalme se produce en el interior de la pieza, deberá comprobarse que se cumplen las condiciones de recubrimiento y distancia entre cables y en general, cuantas especificaciones se hayan establecido en el proyecto, con respecto a estos elementos (distancias entre empalmes, ubicación y resistencia de los mismos, etc.) para garantizar la resistencia de la pieza en la zona del empalme ante determinados tipos de acciones.

IV.2.3.2.b.- Cables Postensados

Si el elemento de empalme va a quedar en posición inaccesible, habrá que asegurarse de que los elementos de fijación del tendón o tendones añadidos no pueden desprenderse durante la puesta en obra o vibrado del concreto.

En los empalmes de anclaje o de continuidad, se comprobará tanto su posición como la situación y dimensiones del cajetín correspondiente, de forma que quede garantizada la movilidad del empalme y, en su caso, la posibilidad de efectuar el tensado necesario.

Por último, los empalmes deberán poderse inyectar, bien por la vaina, o bien a través de conductos dispuestos al efecto (respiraderos).

IV.2.4.- VAINAS Y CONDUCTOS

IV.2.4.1.- Trazado y Colocación

El trazado se ajustará a lo especificado en los planos del proyecto, tanto en planta como en alzado.

El trazado de los tendones curvos se dispondrá de la forma más regular posible, sin cambios bruscos de dirección y con el número de puntos de apoyo precisos para que la curva resultante sea realmente regular y continua, y no una sucesión de catenarias.

Si se producen interferencias entre las vainas y las varillas pasivas, de forma que las desviaciones necesarias para evitar dichas interferencias superen las tolerancias especificadas, deberá modificarse el trazado, previo conocimiento y autorización del Director de obra.

Debe llamarse la atención sobre el peligro que puede suponer cambiar el sentido de la curvatura de un tendón; si no se lleva a cabo un estudio completo del proyecto, no se admitirán dichos cambios.

Las vainas se sujetarán a la cimbra, o a las varillas pasivas, de forma que quede garantizada su inmovilidad, incluida la posibilidad de flotación, durante el proceso de colado. La sujeción se realizará mediante atado con alambres, prohibiéndose el empleo de soldadura en vainas en las cuales ya estén alojados los tendones. Se recomienda que tanto las barras utilizadas para definir el trazado como los alambres de sujeción de las vainas sean adicionales a los propios de la estructura.

IV.2.4.2.- Empalmes

Los empalmes de las vainas se realizarán mediante **coplas** de diámetro algo superior al de los elementos que se van a unir. Estos **coplas**

se solaparán o roscarán a las vainas. Las juntas se sellarán con cinta adhesiva o mástiques especiales, prohibiéndose expresamente el empleo de la soldadura.

La variación de rigidez de la vaina en los empalmes por efecto de los coples deberá ser tal que no produzca desviaciones excesivas en el trazado.

La longitud total del cople de empalme no será inferior a 5 veces el diámetro de la vaina, ni a 15 cm; y el traslape, que será igual por ambos extremos, tendrá una longitud no inferior a 2 veces el diámetro de la vaina, ni a 5 cm.

En los tipos normales de vainas se evitarán los empalmes a tope.

El sellado mediante encintado de la junta, no se extenderá en una longitud superior a 6 veces el diámetro de la vaina.

Cuando una vaina haya de empalmarse con otra después de transcurrido un intervalo de tiempo prolongado, como por ejemplo en caso de estructuras construidas por fases, se tomarán precauciones especiales para proteger los extremos de la vaina en espera que sobresalgan de la estructura colada. - A tal fin, se recomienda introducir un elemento rígido en el interior de la vaina, y proteger a ésta convenientemente de la intemperia, recubriéndola con plástico, cinta adhesiva, etc.

IV.2.5.- PRECAUCIONES

IV.2.5.1.- Precauciones Previas al Colado

Antes de proceder al colado, se comprobará que las vainas no se han movido de su posición correcta. Se tendrán en cuenta los posibles movimientos de las varillas y cimbras debidos a factores climáticos, como variaciones de temperatura, acción del viento, lluvia, asoleamiento, etc.

Deberá también comprobarse que no existen en las vainas abolladuras, quiebres ni perforaciones. Especial atención deberá prestarse a aquellas zonas en las cuales, por haber vainas en contacto o por cruzarse éstas quedando muy próximas, existe el peligro de que, si se producen perforaciones, la mezcla inyectada pueda pasar de una a otra. En estos casos, deberá colocarse entre ellas una chapa metálica u otra protección análoga.

Si se detecta la presencia de pequeñas perforaciones, podrán sellarse con cinta adhesiva; pero si son grandes deberá recubrirse con una banda metálica que envuelva la vaina, sellándose también las juntas con cinta adhesiva.

IV.2.5.2.- Precauciones Durante el Colado

Durante el colado, se evitará que debido a un vertido brusco del concreto se muevan las vainas o barras o tubos utilizados para la formación de los conductos.

Así mismo, se pondrá especial atención para que la acción de los vibradores de aguja no produzcan, por contacto directo, desperfectos en la vaina. En caso de que resulte difícil la introducción de los vibradores internos, puede ser recomendable recurrir a la utilización de un vibrador externo.

En las zonas donde las vainas estén próximas entre sí, o a las cimbras, se extremarán las precauciones durante el vibrado, para conseguir que no se entorpezcan la correcta colocación y compactación del concreto y evitar así la formación de hoquedades.

Se deberán proteger los extremos salientes de los tendones.

IV.2.5.3.- Precauciones Después del Colado

Se recomienda comprobar que no se ha producido penetración de lechada dentro del conducto. Para ello, si es posible, se moverán los cables en el interior de la vaina.

Cuando sea de prever un descenso de temperatura, se comprobará que no existe en el interior de las vainas agua acumulada que pueda producir problemas al helarse.

Para secar las vainas, se hará pasar por su interior un chorro de aire a presión.

IV.2.6.- REALIZACION DEL TENSADO

IV.2.6.1.- Consideraciones Generales

El tensado se ejecutará ajustándose exactamente a las instrucciones dadas por el suministrador del sistema de presfuerzo (ver Capítulo VI).

En particular, se cuidará de que el gato quede perfectamente sentado y centrado sobre el anclaje y de que el cuerpo del gato no roce con las paredes del cajetín dispuesto para alojar el anclaje.

Se tendrá especial cuidado en vigilar todos los alambres o cables, con el fin de poder detectar, durante la operación de tensado, cualquier rotura o el deslizamiento de alguno de los componentes del sistema.

Igualmente, deberá vigilarse el concreto próximo a las cabezas de anclaje; en el momento en que aparezca en él alguna fisura se suspenderá la operación de tensado y se analizará cuidadosamente la naturaleza e importancia de tal fisuración. A la vista del resultado de este análisis se decidirá si puede o no reanudarse el tensado y las medidas que, en cualquier caso, deban adoptarse.

Durante el tensado deberán cumplirse cuidadosamente todas las medidas de seguridad recomendadas (véase IV.2.6.3), especialmente cuando sea necesario que se coloque algún operario detrás del gato o de los anclajes, con el objeto de medir los alargamientos de los tendones mientras se tensa o la penetración de las cuñas al anclar.

También debe realizarse con mucho cuidado la operación de - cortar los extremos de los tendones que sobresalen del anclaje después del - tensado, sobre todo cuando el corte haya de hacerse antes de haber sido inyec- tados los conductos de alojamiento de las armaduras.

Antes de comenzar la operación de tensado deberá comprobarse que se ha alcanzado la resistencia del concreto especificada en el proyecto.

Se comprobará también la accesibilidad de los anclajes y se - limpiarán las zonas en las que se produce transferencia de esfuerzos (placas de reparo, cuñas, etc.).

Se ajustarán convenientemente todas las piezas del anclaje y se comprobará que no estén cruzados los elementos del tendón a la salida del anclaje y que todos los elementos que constituyen éste son del tipo y tamaño correcto y están adecuadamente colocados.

También debe comprobarse el correcto estado del resto del - equipo de tensado y de los elementos dispuestos en obra para suspender y mane- jar los gatos durante la operación de tensado.

En cualquier caso, la operación de tensado no debe comenzar - sin la autorización previa del Director de obra.

IV.2.6.2.- Proceso de Tensado

El tensado se efectuará por operarios calificados que posean la competencia y experiencia necesarias. Además, la operación habrá de ser - cuidadosamente vigilada mediante los manómetros (lectores de presión) coloca- dos en las bombas de accionamiento de los gatos.

La operación de tensado propiamente dicha comienza con el an- claje de los cables al gato.

Siempre que sea posible, y especialmente cuando se anclen dos o más cables a un mismo cuerpo rígido del gato, se harán marcas en las mismas para comprobar que no hay deslizamientos relativos de dichos cables respecto a su anclaje en el gato.

El tensado deberá efectuarse de modo que las tensiones aumenten lenta y progresivamente hasta alcanzar el valor fijado en el programa de tensado.

La operación puede realizarse siguiendo uno cualquiera de los métodos siguientes:

- I. Aplicando los gatos de tensado a ambos extremos del tendón e introduciendo en ellos la carga simultáneamente. En este caso los anclajes en ambos extremos del tendón son **anclajes activos**.
- II. Aplicando el gato a un extremo del tendón, estando anclado el opuesto, e introduciendo la carga por dicho extremo; después se anclan los cables, en este extremo. A continuación se aplica el gato al extremo opuesto y se introduce, asimismo, la carga correspondiente. En este caso los **anclajes de ambos extremos son activos**, pero en cada tensado se utiliza uno de ellos como **pasivo**.
- III. Aplicando un gato a un extremo del tendón, e introduciendo la carga exclusivamente por este extremo, estando anclado el opuesto. En este caso, en el extremo por el que se tensa se coloca un **anclaje activo** y en el otro un **anclaje pasivo**.

IV.2.6.3.- Precauciones

Pretendemos aquí recoger unas normas sencillas, pero al mismo tiempo eficaces, encaminadas a conseguir el máximo de seguridad durante la ejecución del presfuerzo.

Tanto el tensado como, en su caso, el destensado de los cables, pueden realizarse con las máximas garantías de seguridad si se adoptan las oportunas precauciones. Los mayores peligros podrían ser precisamente la ignorancia, la falta de cuidado y el exceso de confianza. La experiencia demuestra que el procedimiento más adecuado para prevenirlos, consiste en adoptar las precauciones que a continuación se indican.

IV.2.6.3.a.- Antes del Tensado

Generales:

- Asegurarse de que en las proximidades de las zonas en las que van a realizarse las operaciones de tensado no existe más personal que el necesario para efectuarlas.
- Colocar protecciones resistentes, por detrás de los gatos, para resguardar al personal en el caso de que ocurra algún percance.
- Poner un letrero bien visible, por fuera de la barrera de protección, con el aviso: "ATENCIÓN: SE ESTA TENSANDO - MANTENGASE ALEJADO", para prevenir a los operarios y visitantes.
- Acordonar de alguna forma la zona comprendida entre la protección y el elemento que se está tensando, para que nadie pueda pasar por ella mientras se tensa.
- Cumplir rigurosamente las instrucciones dadas por el suministrador del sistema de presfuerzo para el correcto manejo de su equipo.
- Comprobar todo el equipo de tensado antes de utilizarlo, e informar inmediatamente de cualquier deficiencia observada.
- Conservar siempre todo el equipo de tensado perfectamente limpio y en condiciones de utilización.
- Obligar a todos los operarios y vigilantes que hayan de intervenir en las operaciones de tensado a que lleven casco de seguridad mientras duran dichas operaciones.
- Asegurarse de que se han adoptado las adecuadas precauciones para impedir cualquier desvío, inclinación o desalineación del equipo de tensado, tanto durante el tensado como, en su caso, en el destensado.

Manejo de los materiales:

- Cerciorarse de que los operarios llevan siempre guantes cuando manejan los cables de presfuerzo.
- Tener cuidado al manejar los rollos de los cables activos, ya que pueden desenrollarse bruscamente si no está suficientemente asegurada su sujeción.
- Al preparar los tendones, comprobar que ninguno de sus elementos constituyentes presenta defectos aparentes.
- Comprobar que las cuñas y el interior de los conos hembra de anclaje están limpios, de tal forma que aquellas puedan moverse libremente dentro del cono hembra, con el fin de asegurar su perfecto ajuste.
- Las roscas de las barras, tuercas y acopladores de empalme, deben estar limpias y engrasadas, manteniéndolas con sus envolturas protectoras hasta el momento mismo de su utilización. Las barras roscadas que hayan de introducirse en los conductos al efecto dispuestos en las piezas de concreto deberán estar adecuadamente protegidas para evitar que se dañen por abrasión.
- Efectuar el tensado lo antes posible, una vez situados en su correcta posición los dispositivos de anclaje.

IV.2.6.3.b.- Durante el Tensado

- Inspeccionar periódicamente el estado de los conductos de alimentación de los gatos y filtrar o renovar, cuando proceda, el aceite contenido en la bomba.
- Utilizar exclusivamente juntas auto-estancas, de seguridad, en los conductos de presión hidráulica, y tener cuidado de que no se produzcan flexiones en los empalmes extremos de dichos conductos.

- Es recomendable utilizar únicamente equipos hidráulicos provistos de una válvula de seguridad que deberá graduarse antes de iniciar el tensado, para una carga máxima no superior al 90% de la menor de las cargas máximas a tensión garantizadas, de los tendones que vayan a tensarse.
- Los conductos que transmiten la presión hidráulica de la bomba al gato deberán inspeccionarse después de cada operación de tensado, por si han sufrido desperfectos o contienen burbujas de aire.
- Antes de proceder al tensado, se comprobarán las mordazas o cuñas de sujeción de los cables al gato. Las cuñas deberán mantenerse siempre limpias.
- En los sistemas de presfuerzo en los que el gato tensa simultáneamente varios alambres, adquiere particular interés asegurarse de que las cuñas de sujeción no están gastadas. En estos casos, el deslizamiento en el gato de un alambre puede fácilmente sobrecargar los demás, llegando a ocasionar su ruptura (ver Capítulo VI).
- Nadie debe nunca colocarse detrás del gato durante la operación de tensado.
- Una vez puesto en carga el gato, no se debe intentar ajustar su alineación golpeándolo.
- Es necesario comprobar también los anclajes pasivos.
- Cuando sólo se tense por un extremo, en el opuesto deberá situarse durante el tensado una persona competente, para comprobar el comportamiento de los anclajes pasivos accesibles.
- Antes de proceder a aflojar los gatos, deberán volverse a comprobar los anclajes.

IV.2.6.3.c.- Después del Tensado

- Una vez concluido el tensado se cortarán los extremos salientes de los tendones por fuera de los anclajes, con una sierra de disco, cizalla, o cualquier otra máquina cortadora.

IV.2.7.- EJECUCION DE LA INYECCION

IV.2.7.1.- Plazo para la Realización de la Inyección

La inyección deberá llevarse a cabo lo antes posible después del tensado, no debiendo transcurrir entre la iniciación de este y el principio de aquella más de un mes, excepto que se haya previsto una adecuada protección de los cables. En ambientes agresivos el plazo indicado deberá disminuirse convenientemente.

IV.2.7.2.- Preparación de los Conductos antes de la Inyección

Antes de proceder a la inyección deberá limpiarse el conducto con aire a presión, observando si éste llega a salir por el extremo opuesto de forma continua y regular. En el caso de presentarse alguna anomalía deberá localizarse el posible tapón, eliminándolo si fuera preciso mediante picado del concreto.

IV.2.7.3.- Preparación de la Mezcla

En general, se recomienda emplear la siguiente secuencia de mezcla:

- a) agua,
- b) 2/3 del cemento,
- c) aditivo y/o agregado,
- d) resto del cemento.

IV.2.7.4.- Realización de la Inyección

La inyección deberá hacerse desde el anclaje más bajo o desde el respiradero inferior del conducto, con todos los respiraderos restantes - abiertos.

A medida que la inyección vaya saliendo por los sucesivos respiraderos más próximos al punto por donde se inyecta, se irán cerrando éstos, dejando previamente fluir por ellos la lechada hasta que tenga la misma consistencia que la que se inyecta y hayan cesado de salir burbujas de aire.

Si se trata de conductos verticales, la inyección se realizará desde el punto más bajo. Después de realizada la inyección se colocará en la parte superior un pequeño depósito que se llenará de lechada, manteniéndolo constantemente lleno para compensar la contracción y permitir el ascenso y salida del agua de exudación, evitando así que pueda quedar ésta acumulada en el extremo superior del conducto, con el riesgo de no proteger al tendón y al anclaje en dicho extremo.

La inyección se hará de forma continua, ininterrumpida y con la uniformidad necesaria para impedir la segregación de la mezcla.

No deberán transcurrir más de 30 minutos desde el amasado hasta el comienzo de la inyección, a no ser que se utilicen retardadores.

IV.2.7.5.- Reinyección

En conductos muy largos o de gran sección útil, se recomienda inyectar antes de las 2 horas para compensar la posible disminución de volumen de la mezcla y los posibles huecos situados en la parte superior de los conductos.

IV.2.7.6.- Precauciones en Tiempo Frío

En primer lugar es indispensable asegurarse, antes de iniciar la inyección, de que no hay hielo en los conductos o en los respiraderos.

Si se preve que la temperatura no descenderá por debajo de 5°C en las 48 horas siguientes a la inyección, se podrá continuar ésta utilizando un aireante que produzca de un 6 a un 10% de pequeñas burbujas.

Si es probable que la temperatura baje de 2°C durante las 48 horas siguientes a la inyección no se realizará ésta, a no ser que se caliente el elemento a inyectar de modo que su temperatura no baje de 5°C durante este tiempo. También se calentará el agua de inyección.

Otro procedimiento para evitar los efectos de la helada consiste en la utilización de productos anticongelantes, no corrosivos y fácilmente eliminables.

C A P I T U L O V

M O N T A J E

V.1.- INTRODUCCION

Este capítulo pretende establecer los principios básicos sobre el montaje y los cuidados para poder llevarlos a cabo.

Por otra parte se tratarán otras formas de colocación y posicionamiento de las piezas en su sitio, ya sean pretensadas o postensadas.

Habrá de tenerse en cuenta varios factores -que más adelante se tratarán- para determinar la viabilidad de un procedimiento u otro, dependiendo de sus longitudes y formas.

V.2.- SELECCION DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

V.2.1.- TRABES

Cuando el proyecto requiera de la utilización de trabes, como son específicamente los puentes, ya sean carreteros o de ferrocarril, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones para determinar el procedimiento a emplear:

- Situación física de la obra.
- Conocimiento de la topografía del lugar.
- Evaluación de los medios -equipos, mano de obra, etc.- con los que se cuenta en el lugar.

V.2.1.1.- Situación Física de la Obra

Es necesario conocer el lugar en donde se pretende llevar a cabo la obra para poder determinar si los elementos serán:

- Pretensados
- Postensados

V.2.1.1.a.- Elementos Pretensados

Este tipo de elementos tiene una gran versatilidad, ya que pueden ser realizados en una planta prefabricadora, en la cual se cuenta con todos los medios necesarios para poder elaborarse, -bancos de anclaje, mesas de trabajo, dosificadoras de concreto, etc.-.

La principal limitante que tienen estos elementos es el transporte de la planta al sitio donde han de colocarse, ya que se tiene que considerar que un elemento de gran longitud no puede ser fácilmente manejado a través de las carreteras, ciudades y pueblos por donde ha de circular, debido a ésto y a los excesos en cuanto a la altura y el ancho del elemento se puede decir que una pieza que cuente con más de 25 mts. de longitud, difícilmente podrá ser concebido por el sistema de pretensado.

V.2.1.1.b.- Elementos Postensados

Estos elementos vienen a remplazar a los pretensados en el momento en que por las situaciones enumeradas en el párrafo anterior, ha de llevarse a cabo la fabricación directamente en el lugar definitivo de la obra o bien lo más próximo a ella dependiendo del terreno aledaño con que se cuenta.

El empleo de este procedimiento, prácticamente no tiene limitación alguna, en cuanto a las longitudes y características geométricas de la pieza que se pretenda elaborar.

V.2.1.2.- Conocimiento de la Topografía del Lugar

Este apartado es muy importante debido a que si analizamos que el hecho de llevar a cabo la construcción de un puente es por la necesidad intrínseca de salvar un claro, originado por los accidentes topográficos del lugar -puede ser un río, una hondonada, etc.- esta situación particular nos permite definir el procedimiento constructivo de dicha obra, que en el caso de utilizar traveses postensados existen dos variantes:

- **Trabes coladas en sitio.**
- **Trabes coladas en mesas de trabajo.**

V.2.1.2.a.- Trabes Coladas en Sitio

Esto es posible siempre y cuando la altura existente no impida el uso de cimbras falsas para poder llevar a cabo el colado de los elementos en su sitio definitivo.

Otra situación que podría limitar el uso de las cimbras es la circulación de vehículos existentes -en caso de ser un paso superior ya sea carretero o ferroviario-.

V.2.1.2.b.- Trabes Coladas en Mesas de Trabajo

Quando por las situaciones mencionadas en el punto V.2.1.2.a, no es posible llevarse a cabo, nos vemos en la necesidad de fabricar las trabes en un punto lo más próximo a la obra y posteriormente llevar a cabo el montaje mediante grúas o bien colocarlas en la parte anterior al sentido longitudinal del puente y montarlas o colocarlas mediante un procedimiento de tracción y deslizándolas sobre elementos especialmente diseñados para estos efectos, como puede ser sobre una placa de acero inoxidable e introduciendo entre esta y la trabe unas almohadillas de teflón, que no son otra cosa que unas piezas que en un lado -siempre será el que esté en contacto con el acero inoxidable- lleva colocado un recubrimiento de teflón y por el otro son de neopreno.

El recubrimiento de teflón tiene la propiedad -por ser un material con un coeficiente de fricción muy bajo- de deslizar suavemente sobre el acero inoxidable, todo esto también ayudado por un silicón especial que se aplica sobre la almohadilla, para permitir el fácil desplazamiento del elemento en cuestión.

V.2.1.3.- Evaluación de los Medios

Deberá hacerse una visita previa al lugar para determinar con qué elementos se cuentan en el lugar, como son:

- Bancos de materiales.
- Mano de obra.
- Equipos: grúas, camiones, malacates, plantas de luz, concretos, etc.

Todo esto es conveniente conocerlo con anticipación para determinar el procedimiento constructivo y prever -en su caso- todas las situaciones que pudieran presentarse durante la ejecución de la obra.

V.2.2.- Losas

En lo que se refiere a losas existen también elementos **prefabricados** y elementos **postensados**.

En cuanto a los elementos **prefabricados**, podríamos decir que por lo general son piezas de un tamaño tal que no requieren el uso de máquinas muy sofisticadas para su colocación, casi siempre son colocadas a mano, a excepción de las vigas "T" o "TT" que generalmente se usan para losas de azoteas, éstas vigas tienen las mismas limitaciones que las expuestas en el punto V.2.1.1.a.

Las losas postensadas por el contrario son fabricadas **expresamente** mediante cimbra falsa y posteriormente llevando a cabo la colocación de las **varillas pasivas**, así como de los **cables activos** de acuerdo al proyecto -previsto para tal fin.

Estas losas tienen como principales ventajas:

- La rapidez de ejecución.
- La solución de grandes claros.

V.2.2.1.- La Rapidez de Ejecución

Debido a que con el uso del **concreto presforzado** se utiliza -muy poco acero de refuerzo (ver I.5) y a que los cables activos se colocan da una sola pieza -ya que se suministran en rollos- es posible habilitar una losa de estas características rápidamente ante la ausencia de excesivos traslapes, dobleces, amarres, etc., de los cables pasivos y a la situación mencionada anteriormente de los cables activos.

Todo esto nos permite llevar a cabo el colado de la losa con mayor prontitud y una vez fraguado el concreto y obtenida la resistencia necesaria (ver II.2.1.) aplicar el presfuerzo e inmediatamente después de realizado proceder a descimbrar con lo cual también los costos de cimbra son muy bajos (aproximadamente el tiempo necesario para cimbrar, armar, colar y descimbrar será de 10 a 20 días dependiendo de la complejidad del proyecto arquitectónico).

Otra particularidad en el uso del concreto presforzado, es que al utilizar poco acero de refuerzo y secciones de concreto -tanto en trabes como en losas- muy esbeltas, esto se traduce en tener menor peso por cargas muertas con lo cual tanto las columnas como la cimentación también tendrán menores dimensiones, esta última pudiendo también ser realizada de ~~con-~~creto presforzado.

Consecuencia de que todos los elementos estructurales sean más ligeros, de la rapidez de ejecución (que nos permite terminar la obra con anterioridad) etc., tenemos una obra con un costo bajo y la posibilidad de reutilizar todos nuestros medios con mayor rapidez para otras obras logrando así una optimización realmente considerable en la construcción de espacios arquitectónicos tal y como la época por la que atravesamos lo demanda.

V.2.2.2.- La Solución de Grandes Claros

Con la utilización del concreto presforzado en la construcción de espacios arquitectónicos prácticamente no existe limitación alguna para poder realizar grandes claros -200, 300, 400, 600 m²- sin apoyos intermedios, con lo cual se puede "jugar" con el proyecto arquitectónico dando al Arquitecto una gran versatilidad pudiendo lograr espacios que con el concreto armado difícilmente se podrían.

V.3.- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE

V.3.1.- Trabes

Para proceder al montaje de los elementos fabricados, ya sean **pretensados o postensados** es preciso que antes de colar la pieza se dejen dis-
puestos dentro del elemento unos "ganchos de izaje" que servirán para cargar
la trabe y posicionarla en su sitio definitivo, dichos ganchos de izaje po-
drán ser:

- de varilla de refuerzo
- de cable de presfuerzo

Siendo este último más recomendable ya que por su ran elasti-
cidad -casi siempre vienen dos ganchos uno junto al otro- y debido a que es -
muy difícil que los dos "ganchos de izaje" queden perfectamente en la misma -
posición, una vez que la trabe queda "colgando" a través de estos, es más fá-
cil que acoplen al gancho de la grúa, transmitiendo la carga uniformemente a
los dos.

Estos "ganchos de izaje" deberán colocarse en sentido trans-
versal a la pieza en el eje de los apoyos definitivos de la misma, así mismo-
se colocarán a toda la altura de la trabe.

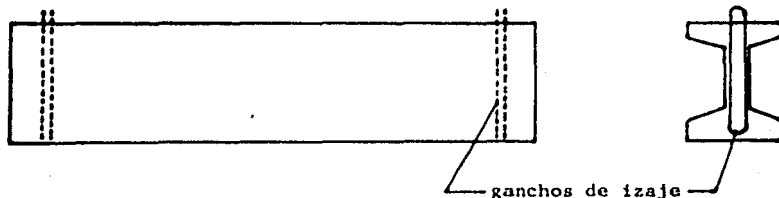


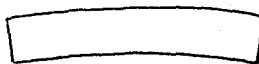
Figura V.1.

Es preciso que la ubicación de estos ganchos sea cuidadosamen-
te vigilada, ya que si se colocan en una posición más cercana al centro de la
trabe esta podría sufrir severos daños e incluso colapsarse totalmente.

Esto proviene porque al momento de aplicar el **presfuerzo**, se produce una contraflecha al elemento mismo que una vez colocada en su sitio y colada la losa superior se recupera para lograr así la horizontalidad de todo el cuerpo, por esta situación si se pretendiera cargar la trabe por el centro de la misma se le introduciría un momento flexionante negativo mayor al calculado en el proyecto, produciéndose la rotura de la pieza.



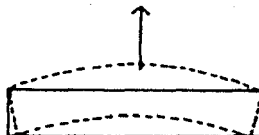
V.2.a.



V.2.b.



V.2.c.



V.2.d.

La Figura V.2.a representa el elemento antes de ser presforzado, la Figura V.2.b la trabe presenta una contraflecha calculada en proyecto. En la Figura V.2.c se muestra la forma correcta de izar una pieza ya que debido al peso propio de la trabe (aproximadamente $2,500 \text{ kg/m}^3$) tiende a ponerse en posición horizontal como la que tendrá -una vez colada la losa superior- en cuanto esté colocada en su sitio definitivo. La Figura V.2.d muestra la forma incorrecta de realizar el izaje de la trabe ya que por el peso de la misma se le introduciría un momento flexionante negativo produciéndose la rotura de la pieza.

El montaje deberá hacerse con grúas que cuenten con brazos telescópicos para poder cargar la trabe y posicionarla en su sitio definitivo.

Para la selección de las grúas se deberá tener en cuenta el peso total del elemento a cargar, así como lo alejado que este se vaya a colocar, ya que mientras más "acostado" esté el brazo de la grúa menor capacidad de carga tendrá, para lo cual habría de considerar probablemente el uso de dos grúas.

La capacidad necesaria de carga de una grúa se determina por las situaciones mencionadas en párrafos anteriores y deberán tener aproximadamente de capacidad, el doble del peso del elemento en cuestión.

V.3.2.- Elementos Precolados

Así como en las trabes, todos los elementos deberán contar con "ganchos de izaje".

También se deberán prever las piezas necesarias para su fijación definitiva en la obra, estas piezas deberán ser colocadas previamente al colado y cuidando que en la obra existan las preparaciones respectivas para unir estos elementos a la estructura del edificio.

El procedimiento de montaje de estos elementos es similar al de las trabes, utilizando grúas principalmente, aunque aquí se deberán prever algunas preparaciones que sirvan para troquelar o apuntalar provisionalmente la pieza antes de su fijación definitiva.

C A P I T U L O V I

S I S T E M A S D E P R E S F U E R Z O

STRONGHOLD

TIPOS DE ANCLAJES STRONGHOLD

EMPALMES

CONECTORES

TENDONES NO ADHERENTES

DEDOS CHINOS

GATOS ALEVIN

UNIDADES DE TENSION (NORMA BS)

UNIDADES DE TENSION (NORMA ASTM)

DIMENSIONES DE LOS ANCLAJES

DIMENSIONES PARA PROYECTO

STRONGHOLD

TIPOS DE ANCLAJES STRONGHOLD

Los anclajes Stronghold están previstos para su aplicación en los medios y condiciones más diversas por lo que si el concepto general de su forma de tesoado y disposición de los torones es

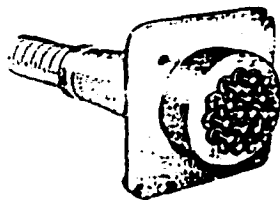
único, la placa de reparto y cono de convergencia de los cables varía según las condiciones de aplicación. En este catálogo ofrecemos varios tipos de culatas o trompetas que se utilizan

para diferentes soluciones y países existiendo todavía una mayor variedad que no se incluye por no exceder de los límites informativos del presente catálogo.

Anclajes Activos

Los anclajes activos Stronghold consisten de una placa con agujeros cóncavos en los que se alojan las cuñas y una trompeta que soporta la placa de anclaje y está embebida en el hormigón. La trompeta puede estar formada por una placa de reparto y un cono de chape o bien por una pieza única de fundición en la que se integran la referida placa de reparto y el cono de

convergencia de los torones. Dicho cono en determinados tipos de anclaje se encuentra reforzado por un filete transversal a su alrededor. Los anclajes activos son los más frecuentemente utilizados, lo mismo en el extremo desde el que se tesa que en el opuesto por lo que se utilizan también en general como anclajes ciegos de culata.



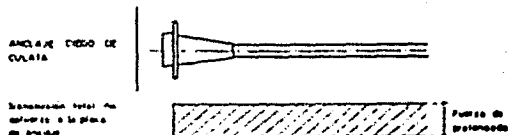
Anclajes ciegos de culata

Tipo C

Son análogos a los anteriores pero quedan inaccesibles al gato y en consecuencia desde ellos no se puede tesar. En los tendones de alambres, sus elementos anclan mediante remaches en lugar de utilizar cuñas o terminales de presión.

Además de la culata y placa de anclaje con sus cuñas, terminales o remaches, estos anclajes llevan una placa de retención que evita el movimiento de los alambres antes de hormigonar.

Su característica esencial es que como puede verse en el esquema adjunto, transmiten todo el esfuerzo de pretensado hasta la placa de anclaje.



Anclajes Ciegos Semi-Adherentes

En este tipo de anclajes una parte del esfuerzo es absorbido por el terminal de extrusión inserto en el extremo de cada torón y el resto se transmite por rozamiento al hormigón que circunda los torones.

Son anclajes más sencillos que los anteriores y pueden utilizarse en extremos hormigonados.



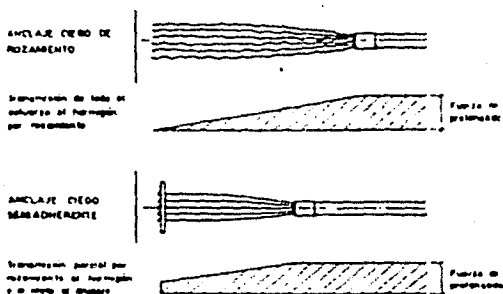
Tipo S

Son anclajes más sencillos que los anteriores y se caracterizan porque en ellos el tendón, en su proximidad a la placa de anclaje queda al descubierto y en contacto con el hormigón.

De este modo, el esfuerzo pretensado, lo absorbe en parte el hormigón por rozamiento, y el esfuerzo residual se transmite a la placa. En el esquema puede verse la forma transmisión del esfuerzo en estos anclajes.

De características similares son los anclajes de Tipo B o anclajes de bucle.

STRONGHOLD



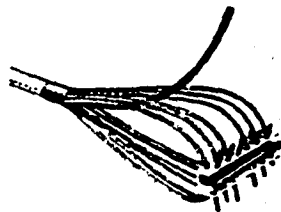
Anclajes en X

Una práctica muy usual para la materialización de anclajes ciegos han sido los llamados anclajes de bucle, que son sencillos y económicos pero complicados de ejecución, lo que les hace perder algunas de sus ventajas aparentes.

Para obviar el inconveniente de los anclajes de bucle, Stronghold ha de-

desarrollado los Anclajes en X, en los cuales no es necesario dar la vuelta a los tendones, sino que éstos se cruzan en forma de X, y originan un anclaje por adherencia perfecto.

Las miles de aplicaciones realizadas con anclajes en X, son la mejor garantía y recomendación para la utilización de los mismos.



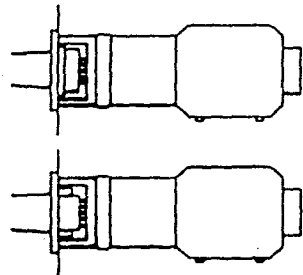
Anclajes ciegos de rozamiento.

Tipo R

En estos anclajes, los más elementales y económicos, todo el esfuerzo del cable se transmite al hormigón por rozamiento como puede verse en el esquema.

En el caso de tendones de alambre y para facilitar la adherencia es práctica corriente el ondular los alambres con una máquina ondulatora especial Stronghold.

Anclajes para usos especiales



Anclajes regulables

Aunque el sistema Stronghold permite tesar y alojar los tendones y los fija con toda precisión a la tensión deseada, ya que las pérdidas por entrada de las cuñas son prácticamente inexistentes, en determinados casos, puede ser aconsejable introducir modificaciones en la tensión de los tendones, retesándolos o aflojándolos. Esto se consigue por medio de los anclajes regulables.

La regulación de la tensión en el anclaje se efectúa utilizando un puente auxiliar (véase croquis de la izquierda) y dejando unos centímetros de tendón por fuera del anclaje para ensartar el gato y tirar de las placas, con lo que se puede regular su posición y llevarla a la tensión prevista.

Los anclajes regulables Stronghold pueden ser por tuerca o por calas.

STRONGHOLD

Anclajes de gran potencia

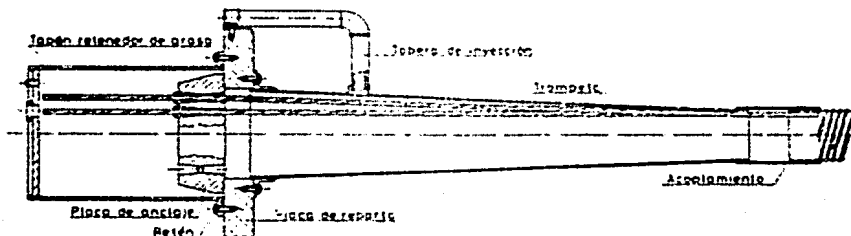
Las ventajas que ofrece el sistema Stronghold se hacen patentes a medida que aumenta la capacidad de los anclajes, ya que las operaciones y los tiempos de enfriado y tesado son las mismas o similares e independientes de los anclajes, lo que con otros métodos se complica al aumentar la potencia.

En el caso concreto de reactores nucleares donde se utilizan, en la actualidad, tendones de 800 Tm de esfuerzo nominal (1.000 Tm en rotura, y se

tiene en el futuro a las 1.200 Tm y superiores, los gatos Stronghold ofrecen una respuesta eficaz y sencilla. El Reactor Nuclear Vandellós II en España que se construye con tendones de 55/0,5" Stronghold dio origen a una serie de ensayos de rotura cíclicos y a altas temperaturas que se llevaron a cabo siguiendo las especificaciones ASME, en la Universidad de Karlsruhe en Alemania y en los laboratorios Stronghold. Los excelentes resultados obtenidos en dichos ensayos proba-

ron la idoneidad del sistema para su utilización en reactores.

Otra ventaja del sistema lo representa el hecho de que, cuando se diseñan los reactores con tendones engrasados, las especificaciones exigen que se deje el tendón sin cortar para poder destesar en cualquier momento. Dada la poca longitud de cable que se precisa para ensayar el gato en un anclaje Stronghold, la longitud de los tapones de grasa es mínima.



ANCLAJE STRONGHOLD PARA 55 Ø 0,5"

Finalmente, al poder tesar y alisar el cable, compensando rozamientos mediante los gatos Stronghold GS de placa flotante, supone una economía adicional de acero.

Stronghold tiene y puede ofrecer en este momento gatos de hasta 2.000 Tm y anclajes de 55 Ø 0,5", 83 Ø 0,5", 91 Ø 0,5", 55 Ø 0,6" y 83 Ø 0,6", que son las mayores potencias ofrecidas hasta hoy.

Anclajes tipo B para grandes oscilaciones de carga

En el caso de puentes importantes, en que resulta difícil la construcción de pilares para sustentar el tablero del puente hay que recurrir a los puentes colgantes o a los atirantados. Estos últimos han tenido gran difusión en los últimos años y constituyen en su versión actualizada una aplicación muy conveniente y especializada del hormigón pretensado. El tablero de un puente atirantado puede ser metálico o de hormigón pretensado y los tirantes de alambres o

torontes paralelos.

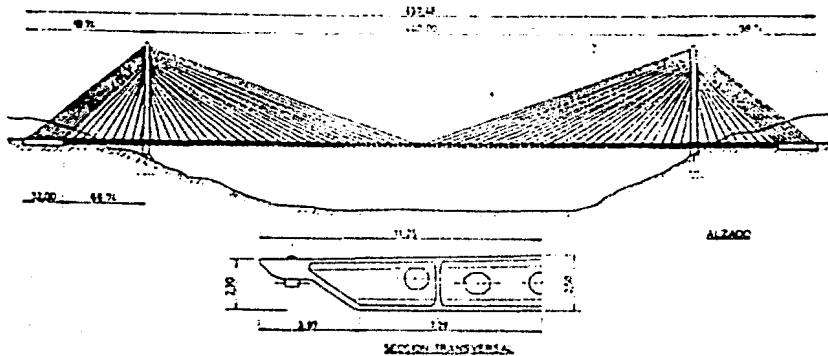
Los tirantes en su extremo inferior están anclados en el tablero, y en su parte superior pueden estar anclados en las pilas o pasar a su través mediante caballetes de desvío.

En todos los casos se exige a los anclajes de los tirantes, una resistencia a cargas cíclicas de gran amplitud y un mínimo de 2.000.000 de ciclos. Esto define los tipos de anclaje a utilizar en este tipo de puentes.

Stronghold ha desarrollado los ancla-

jes tipo B para la ejecución del puente de Barrios de Luna en España, que fueron ensayados en el Otto Graf Institut de Stuttgart, demostrando su gran eficacia y su resistencia a las cargas cíclicas. Los anclajes tipo B dada su gran eficacia y economía están siendo, a pesar de ser muy reciente su puesta a punto, considerados para varios importantes puentes en todo el mundo.

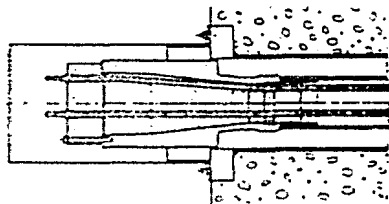
STRONGHOLD



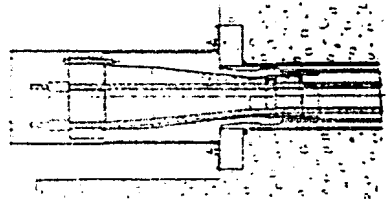
Los anclajes tipo B, presentan sobre otros de tipo similares la ventaja de que los torones o alambres paralelos que los integran pueden enfilarse individualmente en obra y tambien puede prefabricarse el tendón completo en taller o a pie de obra, dando con esto una versatilidad grande a las posibilidades constructivas.

El relleno del anclaje, constituido por una mezcla dosificada especialmente por Stronghold para estos anclajes, está constituido por una resina epoxi, mezclada con polvo de zinc a la que se añaden despues bolitas de acero vibrándose el conjunto.

No precisa aparatos especiales para su instalacion, ni maquinaria costosa para el montaje y la resina se inyerta a baja presion con una bomba Stronghold en forma sencilla y económica. Las características de los anclajes tipo B figuran en el croquis adjunto, pero si se desea una mayor informacion puede solicitarse la colaboracion de nuestros ingenieros



Anclaje activo



Anclaje pasivo

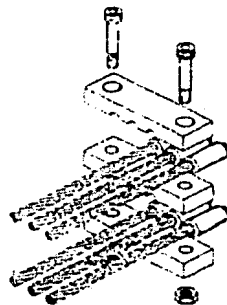
Anclajes Laminares

Este no es un anclaje de uso normal, pero nos ha parecido conveniente presentarlo dado que en ocasiones puede tener una aplicación muy específica.

Como puede verse en la ilustración adjunta, un anclaje laminar no necesita pasar los torones por los agujeros de la pieza sino que es posible dispo-

ner todos los torones con terminales de extrusión, colocar entre ellos las placas de Sandwich y atornillarlas quedando así el anclaje montado.

En cables donde sea necesario enlazar con terminales de extrusión a través de la vaina, los anclajes laminares son la respuesta adecuada.



STRONGHOLD

EMPALMES

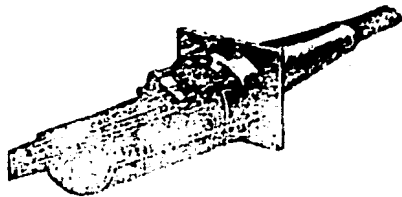
Tipos FP y MQ

Se proyectan para dar continuidad a los tendones y pueden ser fijos, en los que el tramo origen se tesa antes de empalmar, y móviles, en los que se hace después tesando los tendones empalmados conjuntamente.

Existen dos tipos de empalmes Stronghold, los empalmes de pernos y los empalmes monoplaque. Estos últimos, aplicables únicamente a los tendones de cordones.

Los empalmes de pernos permiten unir los dos extremos a empalmar con pernos de alta resistencia cuya presión se regula utilizando una llave dinamométrica que garantiza el reparto uniforme de la presión a todos los pernos.

Los empalmes monoplaque utilizan cuñas accionadas mecánicamente para materializar el empalme.

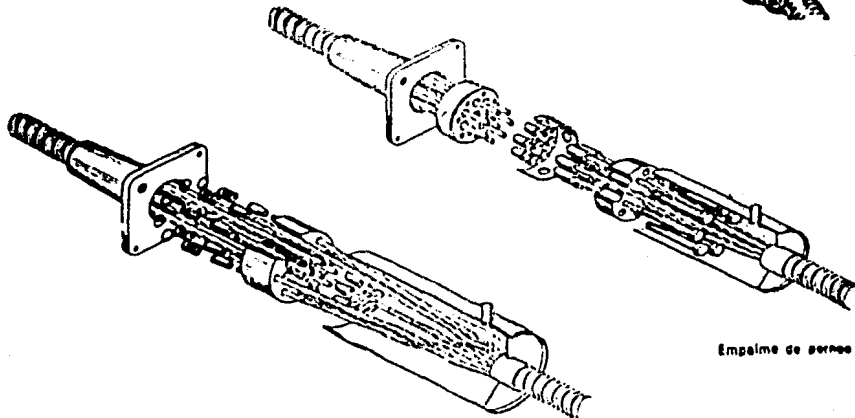
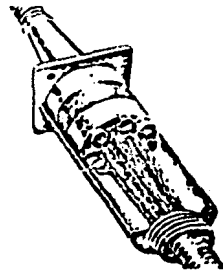


Empalme de cuñas

Empalmes de Pernos

Los empalmes de pernos desarrollados y utilizados desde hace tiempo por el sistema Stronghold son de gran eficacia y efectividad, pero en determinados casos resultan menos económicos que los empalmes de estrella. Presentan indudables ventajas para algunas aplicaciones y una de ellas es el caso de empalmes en los que no

es posible por las condiciones de la obra, aplicar terminales de extrusión en los extremos a empalmar por ser necesario ensillar los tendones en el mismo momento de su empalme. En estos casos los empalmes de pernos con terminales automáticos pasivos ofrecen una solución ideal al problema.



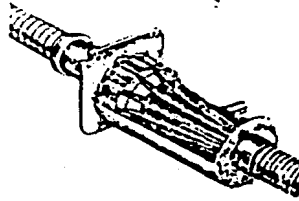
Empalme de pernos

Empalme monoplaque

STRONGHOLD

Empalmes de estrella

Un reciente desarrollo de la técnica Stronghold lo constituyen los empalmes de estrella que se ilustran. Son empalmes económicos y de muy rápida aplicación en obra por lo que constituyen el elemento de empalme más utilizado en el sistema Stronghold.

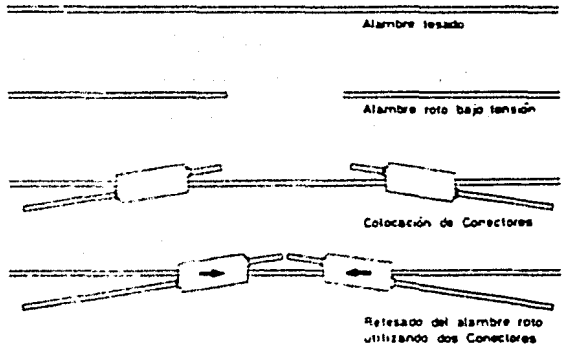


CONECTORES

Son en realidad anclajes de continuidad que permiten tejar un elemento cerrado o dar tensión en puntos intermedios de un torón.

El concepto de los conectores fue desarrollado hace años por Stronghold y ha tenido aplicación para el pretensado de estructuras circulares y para reparar estructuras utilizando precisamente el concepto de tesado central. Su funcionamiento es elemental y consiste en dos elementos huecos curvos que se cruzan de modo que por ellos pasan los torones o alambres que se desea tejar.

Aplicando el gato a un extremo del conector el torón se teja en la forma que indica la fotografía adjunta.

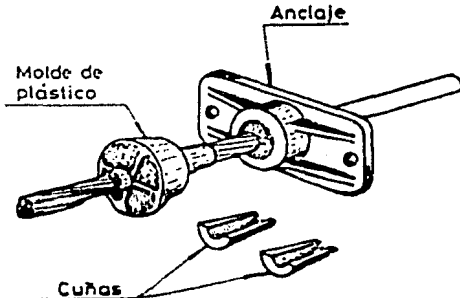


TENDONES NO ADHERENTES

El torón plastificado es decir recubierto con una envoltura de plástico y engrasado interiormente se ha popularizado mucho en obras civiles y constituye un capítulo importante en los trabajos de pretensado.

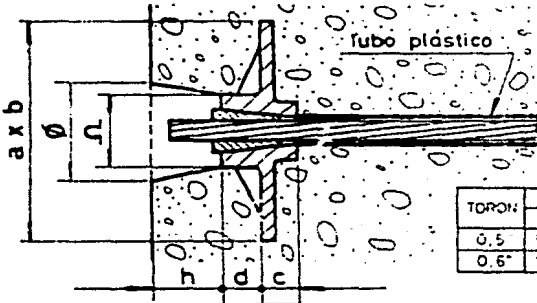
Los fabricantes de acero especial suministran generalmente el torón plastificado en rollos con un incremento de peso sobre el del torón normal sin plastificar.

Tiene gran aplicación este tipo de pretensado en los anclajes provisionales o definitivos, en el terreno y también en el postensado de losas y elementos lineales en edificios ya que el torón plastificado puede hormigonarse conjuntamente con las armaduras de refuerzo y no se requiere inyección ni otras precauciones especiales.



ANCLAJE STRONGHOLD UNBONDED PARA TORON

STRONGHOLD



TENDON	Dimensiones en (mm)					
	a x b	c	d	h	Ω	ϕ
0,5	57 x 128	17,5	21,5	35,5	44	58
0,6	76 x 150	19,5	27,5	35,5	50	64

DEDOS CHINOS

Para enfilar los tendones después de colocar la vaina en su posición definitiva se utilizan los calcetines de tracción o dedos chinos.

En la tabla adjunta se indican los distintos tipos de calcetines Stronghold

de tracción así como los tendones para los que están diseñados. En casos especiales se pueden fabricar calcetines sobre pedido.

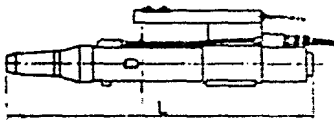
Con el fin de evitar que el calcetín se deslice, suelen atarse los torzones que

forman el tendón con una goma fina que se pasa entre ellos y se enrolla a lo largo de la zona en contacto atando luego el conjunto con un alambre que hace la adherencia al calcetín más efectiva.

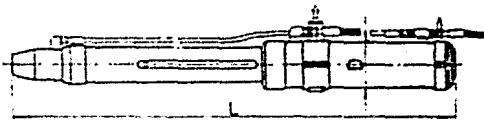
TIPO	L (mm)	TENDON	
		0,5"	0,6"
S4	630	4	3
S5	700	12	8
S6	750	16	12
S7	950	23	19
SE	1200	31	23



GATOS ALEVIN



Gato Alevin A6-8 Tns.



Gato Alevin A7-24 Tns.

TIPO	Fuerza (Tns)	Carrera (mm)	Área Presión (cm ²)	Área Retorno (cm ²)	Área Cilindro (cm ²)	Presión nominal (kg/cm ²)	Dimensiones		Peso (kg)	Válvulas			
							D (mm)	L (mm)		BAIR-L	BAIR-H	BAIR-L	BAIR-H
A6-8	8	210	13,06	7,34	3,51	612	76	578,5	17	3,82	1,30	6,81	2,31
		400						766,5	23				
		600						991,5	29,5				
A7-24	24	200	40,06	21,99	9,04	565	100	834	24	1,24	0,42	2,27	0,77
		400						234	36				

UNIDADES DE TENSION (NORMA BS)

TORON DE 0,5" (12,9 mm)
SEGUN NORMA BS 5894 - 1980

TIPO TENDON	CUBIERTA (mm)	DIAO	Tons (m)			RN			Factor de seguridad	TAREA	SECCION A		SECCION B	
			Cableado Simple			Cableado Simple					Ω	β	Ω	β
			Peso en 1000 ft	Area en 1000 ft ²	Area en 1000 ft ²	Peso en 1000 ft	Area en 1000 ft ²	Area en 1000 ft ²						
			lb	in ²	cm ²	lb	in ²	cm ²						
1	11	6-60	51	45	42	536	416	391	2,76	207	2,6	2,1		
2	12	6-60	76	67	64	754	594	571	3,14	259	3,1	2,5		
3	13	6-100	114	91	87	1132	881	831	3,21	401	3,0	2,4		
4	14	6-100	131	104	100	1312	1042	976	3,51	452	3,3	2,7		
5	15	6-100	152	121	116	1506	1192	1116	3,62	452	3,4	2,8		
6	16	6-300	211	132	127	2116	1314	1254	3,72	474	3,5	2,9		
7	17	6-300	230	150	145	2306	1484	1424	4,01	505	3,8	3,2		
8	18	6-300	250	167	162	2506	1674	1614	4,31	536	4,1	3,5		
9	19	6-300	269	187	181	2696	1852	1792	4,61	567	4,4	3,8		
10	20	6-300	288	207	199	2886	2030	1970	4,91	598	4,7	4,1		
11	21	6-300	308	227	218	3076	2224	2164	5,21	629	5,0	4,4		
12	22	6-300	327	247	237	3266	2420	2360	5,51	660	5,3	4,7		
13	23	6-500	366	278	267	3656	2730	2670	6,11	721	5,9	5,3		
14	24	6-500	385	308	297	3846	3020	2960	6,41	752	6,2	5,6		
15	25	6-500	404	338	327	4036	3310	3250	6,71	783	6,5	5,9		
16	26	6-500	423	368	357	4226	3600	3540	7,01	814	6,8	6,2		
17	27	6-500	442	398	387	4416	3890	3830	7,31	845	7,1	6,5		
18	28	6-500	461	428	417	4606	4180	4120	7,61	876	7,4	6,8		
19	29	6-500	480	458	447	4796	4470	4410	7,91	907	7,7	7,1		
20	30	6-500	500	488	477	4986	4760	4700	8,21	938	8,0	7,4		
21	31	6-500	519	518	507	5176	5050	5000	8,51	969	8,3	7,7		
22	32	6-500	538	548	537	5366	5340	5290	8,81	1000	8,6	8,0		
23	33	6-500	557	578	567	5556	5630	5580	9,11	1031	8,9	8,3		
24	34	6-500	576	608	597	5746	5920	5870	9,41	1062	9,2	8,6		
25	35	6-500	595	638	627	5936	6210	6160	9,71	1093	9,5	8,9		
26	36	6-500	614	668	657	6126	6500	6450	10,01	1124	9,8	9,2		
27	37	6-500	633	698	687	6316	6700	6650	10,31	1155	10,1	9,5		
28	38	6-500	652	728	717	6506	6900	6850	10,61	1186	10,4	9,8		
29	39	6-500	671	758	747	6696	7100	7050	10,91	1217	10,7	10,1		
30	40	6-500	690	788	777	6886	7400	7350	11,21	1248	11,0	10,4		
31	41	6-500	709	818	807	7076	7600	7550	11,51	1279	11,3	10,7		
32	42	6-500	728	848	837	7266	7800	7750	11,81	1310	11,6	11,0		
33	43	6-500	747	878	867	7456	8000	7950	12,11	1341	11,9	11,3		
34	44	6-500	766	908	897	7646	8200	8150	12,41	1372	12,2	11,6		
35	45	6-500	785	938	927	7836	8400	8350	12,71	1403	12,5	11,9		
36	46	6-500	804	968	957	8026	8600	8550	13,01	1434	12,8	12,2		
37	47	6-500	823	998	987	8216	8800	8750	13,31	1465	13,1	12,5		
38	48	6-500	842	1028	1017	8406	9000	8950	13,61	1496	13,4	12,8		
39	49	6-500	861	1058	1047	8596	9200	9150	13,91	1527	13,7	13,1		
40	50	6-500	880	1088	1077	8786	9400	9350	14,21	1558	14,0	13,4		
41	51	6-500	899	1118	1107	8976	9600	9550	14,51	1589	14,3	13,7		
42	52	6-500	918	1148	1137	9166	9800	9750	14,81	1620	14,6	14,0		
43	53	6-500	937	1178	1167	9356	10000	9950	15,11	1651	14,9	14,3		
44	54	6-500	956	1208	1197	9546	10200	10150	15,41	1682	15,2	14,6		
45	55	6-500	975	1238	1227	9736	10400	10350	15,71	1713	15,5	14,9		
46	56	6-500	994	1268	1257	9926	10600	10550	16,01	1744	15,8	15,2		
47	57	6-500	1013	1298	1287	10116	10800	10750	16,31	1775	16,1	15,5		
48	58	6-500	1032	1328	1317	10306	11000	10950	16,61	1806	16,4	15,8		
49	59	6-500	1051	1358	1347	10496	11200	11150	16,91	1837	16,7	16,1		
50	60	6-500	1070	1388	1377	10686	11400	11350	17,21	1868	17,0	16,4		
51	61	6-500	1089	1418	1407	10876	11600	11550	17,51	1899	17,3	16,7		
52	62	6-500	1108	1448	1437	11066	11800	11750	17,81	1930	17,6	17,0		
53	63	6-500	1127	1478	1467	11256	12000	11950	18,11	1961	17,9	17,3		
54	64	6-500	1146	1508	1497	11446	12200	12150	18,41	1992	18,2	17,6		
55	65	6-500	1165	1538	1527	11636	12400	12350	18,71	2023	18,5	17,9		
56	66	6-500	1184	1568	1557	11826	12600	12550	19,01	2054	18,8	18,2		
57	67	6-500	1203	1598	1587	12016	12800	12750	19,31	2085	19,1	18,5		
58	68	6-500	1222	1628	1617	12206	13000	12950	19,61	2116	19,4	18,8		
59	69	6-500	1241	1658	1647	12396	13200	13150	19,91	2147	19,7	19,1		
60	70	6-500	1260	1688	1677	12586	13400	13350	20,21	2178	20,0	19,4		
61	71	6-500	1279	1718	1707	12776	13600	13550	20,51	2209	20,3	19,7		
62	72	6-500	1298	1748	1737	12966	13800	13750	20,81	2240	20,6	20,0		
63	73	6-500	1317	1778	1767	13156	14000	13950	21,11	2271	20,9	20,3		
64	74	6-500	1336	1808	1797	13346	14200	14150	21,41	2302	21,2	20,6		
65	75	6-500	1355	1838	1827	13536	14400	14350	21,71	2333	21,5	20,9		
66	76	6-500	1374	1868	1857	13726	14600	14550	22,01	2364	21,8	21,2		
67	77	6-500	1393	1898	1887	13916	14800	14750	22,31	2395	22,1	21,5		
68	78	6-500	1412	1928	1917	14106	15000	14950	22,61	2426	22,4	21,8		
69	79	6-500	1431	1958	1947	14296	15200	15150	22,91	2457	22,7	22,1		
70	80	6-500	1450	1988	1977	14486	15400	15350	23,21	2488	23,0	22,4		
71	81	6-500	1469	2018	2007	14676	15600	15550	23,51	2519	23,3	22,7		
72	82	6-500	1488	2048	2037	14866	15800	15750	23,81	2550	23,6	23,0		
73	83	6-500	1507	2078	2067	15056	16000	15950	24,11	2581	23,9	23,3		
74	84	6-500	1526	2108	2097	15246	16200	16150	24,41	2612	24,2	23,6		
75	85	6-500	1545	2138	2127	15436	16400	16350	24,71	2643	24,5	23,9		
76	86	6-500	1564	2168	2157	15626	16600	16550	25,01	2674	24,8	24,2		
77	87	6-500	1583	2198	2187	15816	16800	16750	25,31	2705	25,1	24,5		
78	88	6-500	1602	2228	2217	16006	17000	16950	25,61	2736	25,4	24,8		
79	89	6-500	1621	2258	2247	16196	17200	17150	25,91	2767	25,7	25,1		
80	90	6-500	1640	2288	2277	16386	17400	17350	26,21	2798	26,0	25,4		
81	91	6-500	1659	2318	2307	16576	17600	17550	26,51	2829	26,3	25,7		
82	92	6-500	1678	2348	2337	16766	17800	17750	26,81	2860	26,6	26,0		
83	93	6-500	1697	2378	2367	16956	18000	17950	27,11	2891	26,9	26,3		
84	94	6-500	1716	2408	2397	17146	18200	18150	27,41	2922	27,2	26,6		
85	95	6-500	1735	2438	2427	17336	18400	18350	27,71	2953	27,5	26,9		
86	96	6-500	1754	2468	2457	17526	18600	18550	28,01	2984	27,8	27,2		
87	97	6-500	1773	2498	2487	17716	18800	18750	28,31	3015	28,1	27,5		
88	98	6-500	1792	2528	2517	17906	19000	18950	28,61	3046	28,4	27,8		
89	99	6-500	1811	255										

UNIDADES DE TENSION (NORMA ASTM)

TORON DE 0.5" (12.7 mm)
SEGUIN NORMA ASTM A-116

TPO TEMPERATURE	CLAS. (GRADE)	GALG.	Torno (mm)										Torno (in)		Torno (mm)		Torno (in)		
			Elong. 0.2%		Elong. 0.5%		Elong. 1.0%		Elong. 2.0%		Elong. 5.0%		Elong. 0.2%	Elong. 0.5%	Elong. 0.2%	Elong. 0.5%			
			Lim.	Med.	Lim.	Med.	Lim.	Med.	Lim.	Med.	Lim.	Med.							
11	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
12	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
13	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
14	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
15	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
16	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
21	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
23	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
31	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
41	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
51	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
61	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
71	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
81	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
91	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
99	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9

TORON DE 0.6" (15.2 mm)
SEGUIN NORMA ASTM A-116

TPO TEMPERATURE	CLAS. (GRADE)	GALG.	Torno (mm)										Torno (in)		Torno (mm)		Torno (in)		
			Elong. 0.2%		Elong. 0.5%		Elong. 1.0%		Elong. 2.0%		Elong. 5.0%		Elong. 0.2%	Elong. 0.5%	Elong. 0.2%	Elong. 0.5%			
			Lim.	Med.	Lim.	Med.	Lim.	Med.	Lim.	Med.	Lim.	Med.							
11	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
12	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
13	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
14	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
15	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
16	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
21	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
23	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
31	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
41	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
51	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
61	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
71	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
81	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
91	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9
99	G 40	56	55	42	39	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9

1) El presente documento es propiedad de la American Society of Mechanical Engineers (ASME) y no debe ser reproducido, almacenado en un sistema de recuperación o transmitido en ninguna forma, por cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia, grabación o de otra manera, sin el consentimiento escrito de ASME. Este documento es propiedad de ASME y no debe ser reproducido, almacenado en un sistema de recuperación o transmitido en ninguna forma, por cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia, grabación o de otra manera, sin el consentimiento escrito de ASME.

STRONCIO 116

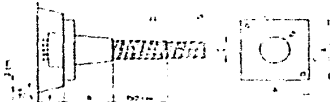
DIMENSIONES DE LOS ANCLAJES



Culata Standard

TIPO DE ANCLAJE	3	4	7	9	12	15	19	24	31	37	43	55
A	120	140	180	232	260	290	390	320	360	400	430	480
B	100	100	150	160	160	230	250	320	420	510	600	640
C	50	50	75	80	100	120	170	190	250	310	370	420
D	150	150	195	240	270	300	410	440	500	550	590	640
E	80	80	90	100	100	120	140	150	170	180	190	200

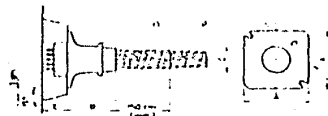
TIPO DE ANCLAJE	3	4	7	9	12	15	19	24	31	37
A	120	140	210	240	290	330	420	450	510	570
B	100	100	160	160	210	210	300	330	400	450
C	50	50	90	100	120	130	180	190	250	270
D	150	150	210	220	280	300	400	420	500	520
E	80	80	120	120	140	140	180	180	220	220



Culata de Chapa

TIPO DE ANCLAJE	3	4	7	9	12	15	19	24	31	37	43	55
A	120	140	180	270	290	330	420	450	510	570	620	670
B	100	100	150	160	160	230	260	310	410	500	600	640
C	50	50	75	80	100	120	170	190	250	310	370	420
D	110	155	195	240	270	300	410	440	500	550	590	640
E	110	100	100	100	100	100	110	120	130	140	150	160

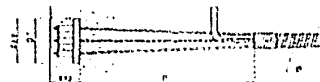
TIPO DE ANCLAJE	3	4	7	9	12	15	19	24	31	37	43	48	55
A	150	180	220	290	320	370	460	490	560	600	670	720	770
B	100	120	160	180	210	210	310	340	410	450	520	570	600
C	60	70	90	110	120	140	190	200	270	290	360	410	420
D	155	195	240	285	340	360	470	500	570	610	700	750	790
E	80	80	100	100	110	110	130	140	170	180	210	220	230



Culata Standard con Reliezo

TIPO DE ANCLAJE	3	4	7	9	12	15	19	24	31	37	43	55
A	110	130	180	180	230	260	340	370	430	470	530	580
B	100	100	170	160	180	260	300	370	470	570	660	690
C	50	50	75	80	100	120	170	190	250	310	370	420
D	100	130	170	200	230	260	370	400	470	510	570	620
E	80	80	100	100	100	100	110	120	130	140	150	160

TIPO DE ANCLAJE	3	4	7	9	12	15	19	24	31	37
A	110	140	190	220	270	300	410	440	500	560
B	100	100	160	160	210	210	300	330	400	450
C	50	50	90	100	120	130	180	190	250	270
D	110	170	200	230	270	300	410	420	500	520
E	80	80	100	100	100	110	120	130	140	150



Anclaje Semi-adherente

TIPO DE ANCLAJE	3	4	7	9	12	15	19	24
d _{ext}	90-100	100-110	140-170	160-190	190-230	210-250	260-300	340-380
d _{int}	70	80	100	110	140	160	190	230
P	600	600	600	700	800	900	900	900

TIPO DE ANCLAJE	3	4	7	9	12	15
d _{ext}	100-120	100-120	160-190	180-210	210-240	240-270
d _{int}	80	100	100	130	150	170
P	600	620	600	600	600	600

STRONCHOLI

CARACTERISTICAS DE LOS ANCLAJES

ANCLAJE 3 Ø

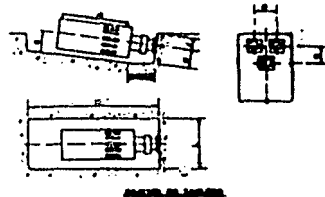
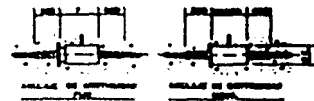
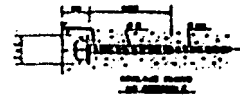
El número de cordones o alambres que se anclan de una vez es de tres con lo que resulta un anclaje estáticamente determinado que hace imposible el deslizamiento de las armaduras.

El cono macho presiona a los tres cordones o alambres contra el cono hembra, no habiendo contacto entre ambos.

ANCLAJE MULTI-B

Puede anclar simultáneamente cualquier número de cordones o alambres.

El cono macho es deformable con lo cual se consigue un contacto en el fondo y un pinzamiento lateral igual para cada uno de los cordones o alambres.



BARREDO

ESQUEMA OPERATIVO DEL GATO MB



Colocación del gato sobre el trabajo



Fijación de las arandelas al gato



Tensión de las arandelas

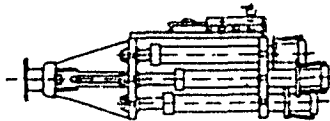


Enclavamiento del cono medio



Recuperación del gato y desenganche de las arandelas

CARACTERÍSTICAS DEL GATO 3 Ø



El gato lleva tres cilindros independientes de doble efecto, conectados a la misma bomba de presión, asegurando así el mismo esfuerzo en cada uno de los tres cordones o alambres, aunque para ello resulte diferente el recorrido de cada cilindro.

El enclavamiento de la cuña se realiza hidráulicamente.

TENDONES DE TORONES. SISTEMA CONA-MULTI
TENDONES STANDARD CONA-MULTI
ANCLAJE ACTIVO TIPO M
ANCLAJES FIJOS
ACOPLAMIENTOS
TENDONES DE ALAMBRES . SISTEMA BBRV
COMPOSICION DE LOS TENDONES
ANCLAJES ACTIVOS
ANCLAJES PASIVOS
ACOPLAMIENTOS FIJOS
ACOPLAMIENTOS MOVILES
TENDONES DE GRAN POTENCIA
EQUIPOS DE TESADO
TENDONES MONOTORON. SISTEMA CONA-UNITARIO

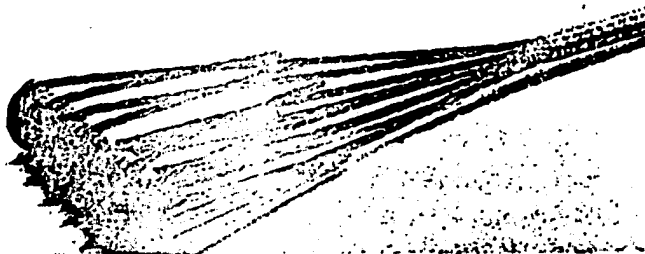
TENDONES DE TORONES. SISTEMA CONA-MULTI

El sistema de pretensado con torones CONA-Multi ha sido desarrollado por Bureau BBR Ltd. como interesante suplemento al método BBRV con viambres para todos aquellos casos en que el uso de torones esté indicado.

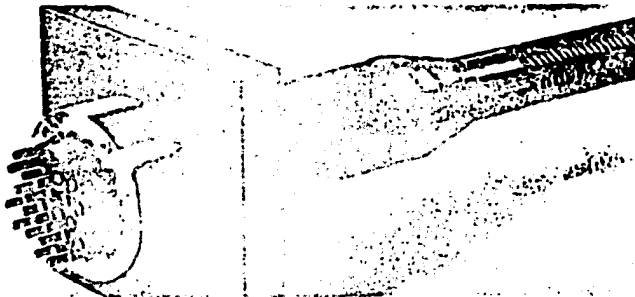
En el campo de los tendones de torones el sistema CONA-Multi presenta varios aspectos sobresalientes.

- Fácil montaje de los anclajes en los tendones.
- Rápida conexión de la unidad de tesado al tendón mediante tuerca de bloqueo
- Tesado rápido y preciso.
- Clavado hidráulico de las cuñas obteniendo una sujeción segura y uniforme de los torones

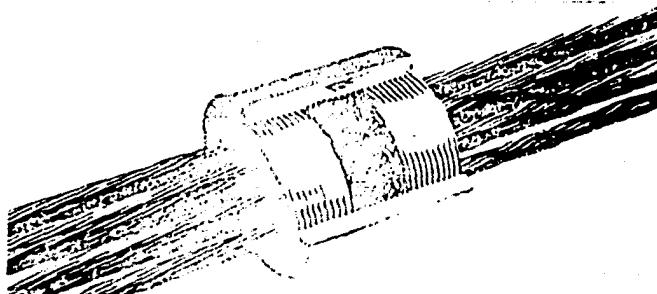
Anclaje activo
y anclaje fijo



Anclaje fijo ciego



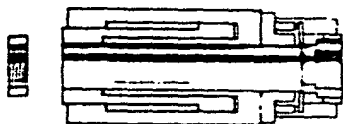
Acoplamiento



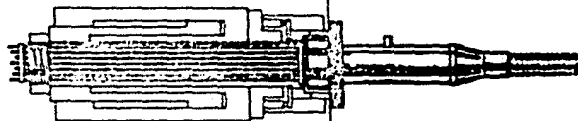
Enfilado de los cordones en el anclaje y cabeza de tesado



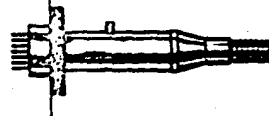
Tendón listo para ser tesado



Operación de tesado

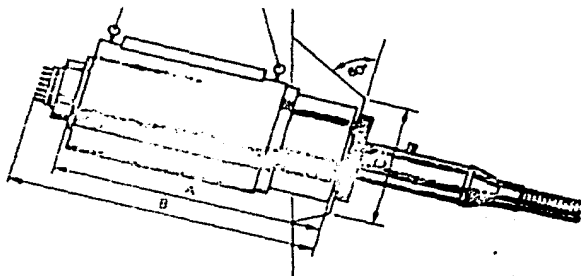


Anclaje tesado



Necesidades de espacio para el equipo de tesado CONA-Multi

Se necesita un espacio mínimo de A + B, medido sobre la prolongación del eje del tendón para montar el equipo de tesado. Para alargamientos superiores al pistón del gato, se clavan las cuñas temporalmente después de un tesado parcial, y se recupera el pistón.



Equipos de tesado CONA-Multi

Tipo de tendón	torzones 0,5"		7	12	19	31	42	61
	torzones 0,6"		4	7	12	19	31	42
Equipo de tesado tipo			CM 110	CM 200	CM 300	CM 500	CM 750	CM1000
Fuerza máxima gato	KN		1100	2000	3000	5000	7500	10000
Longitud equipo de tesado	A	mm.	475	620	675	740	900	950
Peso equipo de tesado		Kg.	180	260	410	710	1240	1920
Longitud del torón	B	mm.	660	750	810	890	1080	1130
Tipo de gato			NP 200	LP 200	LP 300	LP 500	LP 750	LP1000
Cajetín	C	mm.	205	330	400	500	635	730
Pistón del gato			100	200	200	200	200	200

TENDONES STANDARD CONA-MULTI

Se indican aquí las composiciones de tendones que corresponden al número máximo de torones de cada tipo standard de anclaje. Cualquier otra composición de tendones entre las standard es posible sin más que suprimir los torones que se deseen.

Tendón 0.5"

Tipo de tendón		705	1205	1905	3105	4205	6105
Número de torones		7	12	19	31	42	61
Carga de rotura 1)	KN	1309	2244	3553	5797	7854	11407
Fuerza de tesado al 0.8 C.R.	KN	1047	1795	2842	4638	6283	9128
	Ton.	107	183	290	473	641	931
Peso del tendón	kg/m.	5.50	9.42	14.92	24.34	32.97	47.89
Ø vaina para tendón a enfilar	mm.	55	70	85	105	120	145
Ø vaina para tendón montado en fábrica	mm.	50	65	75	95	110	135

Tendón 0.6"

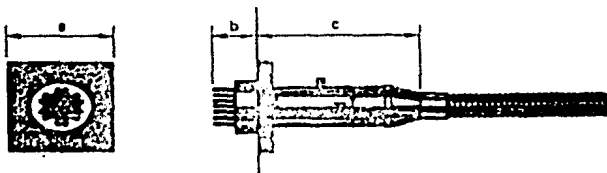
Tipo de tendón		406	706	1206	1906	3106	4206
Número de torones		4	7	12	19	31	42
Carga de rotura 1)	KN	1122	1904	3356	5330	6886	11781
Fuerza de tesado al 0.8 C.R.	KN	898	1571	2693	4264	5556	9425
	Ton.	92	160	275	435	570	962
Peso del tendón	kg/m.	4.71	8.24	14.13	22.37	36.50	49.46
Ø vaina para tendón a enfilar	mm.	50	65	80	100	130	150
Ø vaina para tendón montado en fábrica	mm.	45	60	75	90	120	140

ANCLAJE ACTIVO TIPO M

En las tablas se indican los tipos standard de anclajes activos tipo M. Si se requieren tendones de menor capacidad, pueden omitirse uno o varios torones.

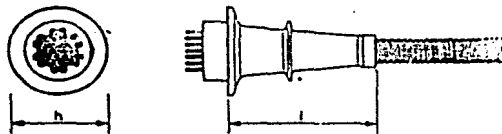
El tendón puede ser retesado o totalmente destesado en tanto el paquete de torones sobresaliente del anclaje no sea cortado.

Para requerimientos especiales, la fuerza de pretensado puede ser ajustada mediante calas.



Alternativamente la placa de apoyo y trompeta pueden fabricarse de fundición.

1) C.R. 1870 N/mm² (180 kg/mm²), diámetro 0.5" área 100 mm²; diámetro 0.6" área 150 mm².

**Torón 0.5"**

Denominación	M -	705	1205	1905	3105	4205	8105
Número de torones	diá. 0.5"	7	12	19	31	42	61
Placa de apoyo	a mm.	200	265	330	425	565	
Anclaje longitud aprox.	b mm.	80	90	100	110	120	160
Trompeta longitud	c mm.	230	400	550	600	980	1180
Trompeta diámetro est.	d mm.	79	112	142	182	219	288
Placa de apoyo y trompeta de fundición							
diámetro	h mm.	175	230	285	360	420	510
longitud	l mm.	260	400	475	560	700	860

Torón 0.6"

Denominación	M -	406	706	1206	1906	3106	4206
Número de torones	diá. 0.6"	4	7	12	19	31	42
Placa de apoyo	a mm.	180	240	315	395	510	600
Anclaje longitud aprox.	b mm.	90	90	100	110	120	160
Trompeta longitud	c mm.	230	300	510	670	910	1140
Trompeta diámetro est.	d mm.	74	96	138	174	225	269
Placa de apoyo y trompeta de fundición							
diámetro	h mm.	175	220	275	345	440	520
longitud	l mm.	250	300	400	500	650	800

ANCLAJES FIJOS**Tipo F**

Este anclaje fijo es idéntico al anclaje activo tipo M. Las cuñas están apretadas en los conos de anclaje por una placa de retención, temporal.

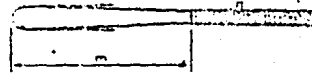
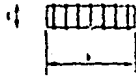
En los casos en que el anclaje fijo queda embebido en el hormigón los torones se anclan mediante remaches además de las cuñas. Los remaches empujan las cuñas positivamente en el cono de anclaje asegurando que cada torón individual quede anclado con el mayor grado de seguridad.

Tipo E

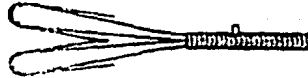
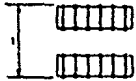
Se trata de un anclaje por adherencia.

Cada torón termina en un pequeño bucle. La formación de los bucles sólo requiere una herramienta ligera y compacta, por lo que puede ejecutarse fácilmente en obra una vez enfriado el tendón en su vaina. Debe prestarse especial atención a la armadura de refuerzo necesaria.

Anclaje hasta 7 torones



Anclaje de 8 a 19 torones



Número de torones		Torón diá. 0,5"			Torón diá. 0,6"		
		7	12	19	4	7	12
Denominación	E -	705	1205	1905	408	708	1208
Dimensiones	l	350	360	500	240	420	380
	l	125	330	330	155	155	400
Longitud de anclaje	m	700	700	800	900	900	900

Dimensiones en mm.

ACOPLAMIENTOS

Acoplamiento fijo tipo K

Permite empalmar un tendón en una junta de construcción, a un anclaje ya tesado. Los núcleos de anclaje están roscados exteriormente y se empalman mediante un manguito roscado. Los torones del núcleo acoplado se remachan adicionalmente a la disposición de cuñas.

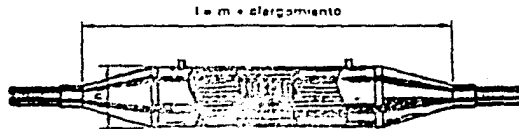


Denominación	K -	705	1205	1905	3105	4205	8105
Número de torones	diá. 0,5"	7	12	19	31	42	81
longitud	l mm	390	570	750	930	1208	1485
diámetro	k mm	155	200	245	306	375	450

Denominación	K -	408	708	1206	1906	3108	4208
Número de torones	0,6"	4	7	12	19	31	42
longitud	l mm	410	480	710	900	1188	1445
diámetro	k mm	166	195	245	300	380	445

Acoplamiento móvil tipo I: C

Permite conectar dos tendones no tensados. Los núcleos de anclaje están roscados exteriormente y se conectan mediante un manguito roscado. Los tonos de ambos extremos de tendón a ser empalmados van provistos de remaches



Denominación	KC -	705	1205	1905	3105	4205	6105
Número de tonos	di 0.5"	7	12	19	31	42	61
Longitud l = m + alargamiento	m mm	610	960	1290	1620	2145	2655
Diámetro	n mm	155	200	245	305	375	450

Denominación	KC -	406	706	1206	1906	3106	4206
Número de tonos	0.6"	4	7	12	19	31	42
Longitud l = m + alargamiento	m mm	630	770	1210	1560	2065	2575
Diámetro	n mm	155	195	245	300	380	445

TENDONES DE ALAMBRES. SISTEMA BBRV

El tendón BBRV está compuesto por un paquete de alambres de 7 mm. de diámetro. Cada alambre individual está fijado al anclaje mediante el remache BBRV, recalcado en frío con máquinas especiales.

- Cada alambre está fijado mecánicamente a la cabeza de anclaje y alcanza la carga de rotura del acero de pretensado sin posibilidad de deslizamientos. Por ello, el paquete de alambres soporta también la carga de rotura máxima.
- La fuerza de pretensado se transmite al hormigón en condiciones exactamente conocidas sin riesgo de deslizamientos del acero de pretensado.
- Las comprobaciones del esfuerzo de pretensado, cuando sean necesarias, pueden llevarse a cabo fácil y económicamente. Incluso, si ello fuera necesario, puede destensarse totalmente el tendón.
- El anclaje resiste con un alto grado de seguridad a las cargas dinámicas y también a las acciones excepcionales tales como impactos.

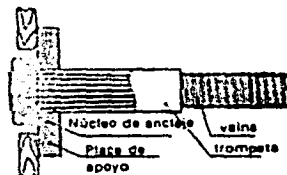
Tipo de Tendido	TIPO DE ANCLAJE			Número máximo de alambres	Esfuerzo máximo Admisible Tn
	Activo	Pasivo	Acoplamiento		
35	A L	D F S	LK LK1	7 Ø 7	36
	B		BK BK1	7 Ø 7	36
60	A L	D F S	LK LK1	12 Ø 7	62
	B		BK BK1	12 Ø 7	70
100	A L	D F S	LK LK1	19 Ø 7	103
	B		BK BK1	20 Ø 7	108
150	A L	D F S	LK LK1	31 Ø 7	154
	B		BK BK1	32 Ø 7	157
200	A L B	D F S	LK LK1	42 Ø 7	206
			BK BK1		
250	A L B	D F S	LK LK1	52 Ø 7	257
			BK BK1		
300	A L	D F S	LK LK1	61 Ø 7	309
	B		BK BK1	62 Ø 7	309
400	A L	D F S	LK LK1	82 Ø 7	412
500	A L	D F S	LK LK1	102 Ø 7	515

ANCLAJES ACTIVOS

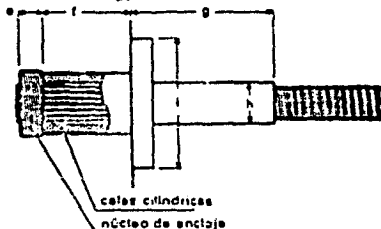
Tipo A

Anclaje muy compacto. Máxima concentración de los alambres.
 Trompeta de dimensiones reducidas.
 Bloqueo del anclaje después del tesado mediante calas.
 La limitación del alargamiento máximo sugiere su utilización en tendones de longitud corta o media.

Montaje



Estado final



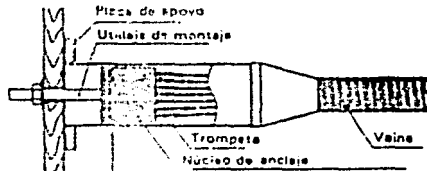
Denominación	A-	35	60	100	150	200	250	300	400	500
número de alambres Ø 7 mm		7	12	19	31	42	52	61	82	102
anclaje	e mm	25	27	36	43	40	56	67	78	86
alargamiento máx.	f mm	200	200	200	200	200	250	250	350	350
trompeta longitud	g mm	170	185	200	280	310	330	360	380	420
diámetro	h mm	37	48	59	78	87	97	105	120	138
placa de apoyo	i mm	140	170	200	235	270	300	330	360	430

Tipo B

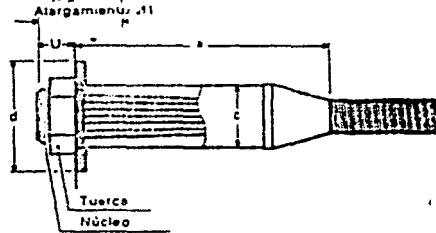
Bloqueo del anclaje, después de tesado, por tuerca roscada al núcleo.
 Teledro central en el núcleo que permite la fijación del utilaje de montaje, la barra de tracción para el tesado y la inyección del tendón.
 Longitud de trompeta igual a la mínima indicada más el alargamiento esperado del tendón.
 Alargamiento máximo posible prácticamente ilimitado.
 Utilización en tendones de cualquier longitud hasta un esfuerzo máximo de 300 Tn.

B.B.R.V.

Montaje



Estado final



Denominación	B-	35	60	100	150	200	250	300
número de alambres Ø 7 mm		7	12	20	32	42	52	62
pieza de apoyo	d mm	140	175	210	250	300	325	365
trompeta diámetro	c mm	83	97	127	148	173	190	208
longitud mín.	a mm	190±d1	215±d1	300±d1	420±d1	440±d1	500±d1	550±d1
núcleo	u mm	40	60	60	90	100	110	120

Tipo L

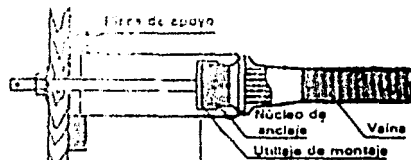
Similar al anclaje A en cuanto a capacidad y concentración de los alambres, requiere sin embargo una trompeta de diámetro algo mayor ya que en fase de montaje el núcleo de anclaje está alojado en su interior.

Longitud de la trompeta igual a la mínima indicada más el alargamiento esperado del tendón.

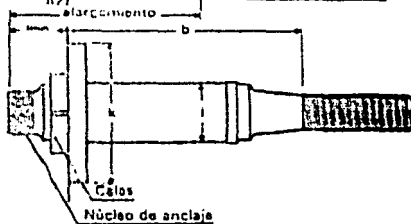
Bloqueo del anclaje, después de tesado, mediante calas.

La posibilidad de absorber cualquier alargamiento sin límite, sugiere su utilización, especialmente, en tendones de gran longitud.

Montaje



Estado final

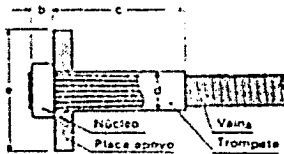


Denominación		L-	35	60	100	150	200	250	300	400	500
número de alambres ϕ 7 mm			7	12	19	31	42	52	61	82	102
anclaje	l mm		63	74	91	108	123	135	156	180	205
trampeta	b mm		250	250	250	280	300	300	300	340	360
	d mm		70	88	102	123	138	153	171	193	219
placa de apoyo	k mm		140	170	200	245	295	315	345	400	450

ANCLAJES PASIVOS

Tipo F

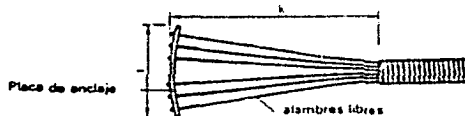
La transmisión del esfuerzo de pretensado se efectúa totalmente a través de la placa de apoyo.



Denominación		F-	35	60	100	150	200	250	300	400	500
número de alambres ϕ 7 mm			7	12	19	31	42	52	61	82	102
anclaje	b mm		25	27	35	43	49	56	67	78	85
trampeta	c mm		170	185	250	280	310	335	360	390	420
	d mm		37	45	53	76	87	97	105	120	135
placa de apoyo	e mm		140	170	200	235	270	300	330	380	430

Tipo S

La transmisión del esfuerzo de pretensado se efectúa en parte por adherencia y en parte a través de la placa de anclaje.
La placa de anclaje puede ser cuadrada o rectangular en función de las disponibilidades de espacio.

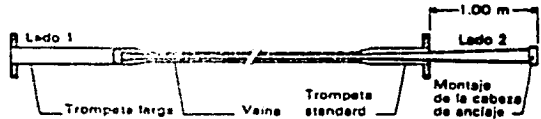


Denominación		S-	35	60	100	150	200	250	300	400	500
número de alambres ϕ 7 mm			7	12	19	31	42	52	61	82	102
longitud libre	k mm		460	550	660	830	980	960	1010	1080	1180
placa de anclaje	cuadrada	l mm	130	160	200	250	280	320	360	400	450
	rectangular	l mm	70	90	120	140	160	180	200	240	280
		l mm	200	270	340	420	500	560	600	680	760

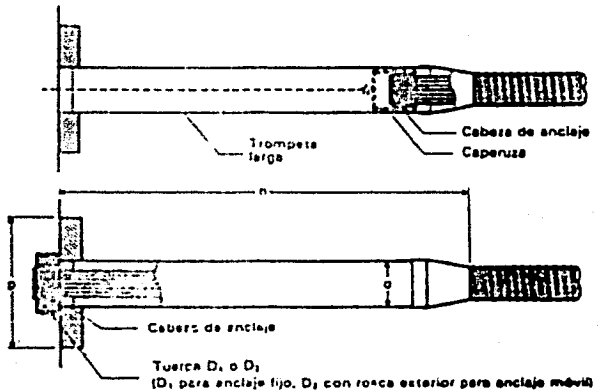
Tipo D

Anclaje especialmente indicado para tendones a enfilar en obra en las vainas hormigonadas previas.
Si la tuerca de bloqueo se rosca exteriormente el anclaje queda convertido en un activo tipo A pero de dos secciones.

a) Enfilado del tendón en el sentido lado 1 a lado 2



b) Tendón listo para tesado



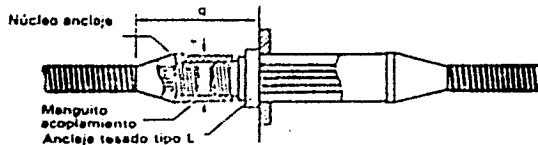
Denominación	D-	38	60	100	160	200	250	300	400	600
número de alambres Ø 7 mm		7	12	19	31	42	52	61	82	102
trompeta longitud	n mm	1250	1260	1260	1280	1300	1300	1315	1330	1365
diámetro	o mm	53	66	76	81	102	115	127	143	164
pieza de apoyo	p mm	140	170	200	235	270	300	330	380	430

ACOPLAMIENTOS FIJOS

Se usan para empalmar un tendón, en una junta de construcción, a un anclaje previamente tesado.

Tipo LK

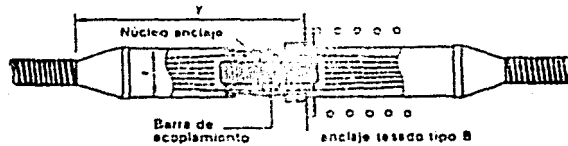
El anclaje tesado es del tipo L



Denominación	LK-	35	60	100	160	200	250	300	400	500
número de alambres \varnothing 7 mm		7	11	11	31	42	52	61	82	102
tempeta longitud diámetro	g m.m r mm	230 70	260 80	290 102	350 123	410 138	430 153	470 171	570 193	630 218

Tipo BK

El anclaje tesado es del tipo B



Denominación	DK-	35	60	100	160	200	250	300
número de alambres máximo \varnothing 7 mm		7	12	20	32	42	62	82
tempeta diámetro longitud	s mm y mm	83 310	87 376	127 500	148 640	173 680	190 760	208 830

ACOPLAMIENTOS MOVILES

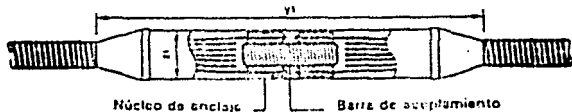
Se utiliza para empelmar dos tendones no tesados para formar un tendón continuo. Es el caso de obras hormigonadas por tramos cuando sea necesario ir montando el tendón en cada fase pero no se precise hacerlo más que el cabo de varios tramos.

Tipo LK 1



Denominación	LK1-	35	60	100	160	200	250	300	400	500
número de alambres \varnothing 7 mm		7	12	19	31	42	52	61	82	102
tempeta longitud mín. diámetro	s mm l mm	600 70	620 80	670 102	760 123	810 138	880 153	950 171	1080 193	1180 218

Tipo BK 1



B.B.R.V.

Denominación	BK1-	35	75	100	150	200	250	300
número de alambres Ø 7 mm		7	12	20	32	42	52	62
trompeta longitud min.	v, mm	700	785	1000	1280	1320	1480	1580
diámetro	s, mm	63	97	127	148	173	190	208

TENDONES DE GRAN POTENCIA

Utilizados en la construcción de las modernas centrales nucleares, vasijas de presión y edificios de contención pretensados.

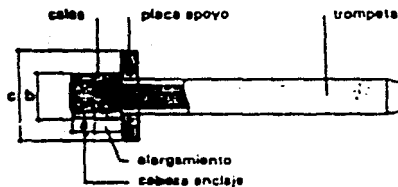
Las elevadas fuerzas tensoras, las consideraciones de proyecto y razones constructivas hacen necesaria la utilización de tendones de gran potencia. La importancia preeminente de la seguridad en las centrales nucleares dan una categoría principal a la calidad y eficacia de los tendones de pretensado.

Los tendones BBRV están formados por un paquete de alambres paralelos de Ø 7 mm. Cada alambre individual está fijado a los anclajes extremos mediante remaches BBRV, realizados con máquinas especiales.

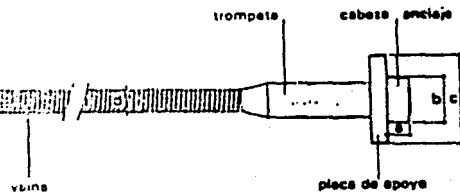
La técnica óptima del remachado BBRV referida al tamaño del remache, las condiciones de apoyo, la exactitud de las dimensiones y el proceso equilibrado de deformación dan como consecuencia una alta calidad del anclaje.

Los remaches y anclajes son capaces de soportar la carga total de rotura del alambre de pretensado y tienen una alta resistencia dinámica. Los remaches garantizan un seguro anclaje mecánico del paquete de alambres y por ello la fuerza del tendón aplicada se transmite al hormigón bajo condiciones exactamente conocidas, sin ningún riesgo de deslizamiento del acero de pretensado. La vigilancia del esfuerzo y el retesado, al ser necesario, para compensar pérdidas por relajación, fluencia y retracción puede llevarse a cabo con precisión y económicamente. Si es necesario puede destensarse totalmente el tendón.

Anclaje activo tipo D



Anclaje fijo tipo F



Tendones típicos para aplicaciones nucleares.

Denominación	nº alambres dia. 7 mm C.R. 170 kg/mm²	Carga de rotura en Tm	Fuerza de tesado en Tm al 75% C.R.	Dimensiones en mm			
				a	b	s	d
800	102	688	800	108	240	430	120
1000	128	1080	785	128	280	540	150
1200	154	1315	1000	148	320	600	168
1500	190	1610	1208	170	340	660	180

EQUIPOS DE TESADO

	Denominación	Esfuerzo de tesado en Tm	Pistón inm	Long. mm	Diámetro mm	Peso Tm
Equipos automáticos	SA 500	500	300/500	1810	660	1.5
	SA 800	800	400/600	2470	690	3.9
Equipos semiautomáticos	HA 500	500	380/500	1800	560	2.0
	HA 1000	1000	380/600	2100	750	3.8

Los equipos de tesado SA y HA van dotados de instrumentos de medición precisa de las fuerzas de pretensado.

Generalmente el tendón provisto de una cabeza de anclaje en un extremo, se enfila en la vaina ya hormigonada. Consecuentemente el segundo anclaje se monta, usando una remachadora hidráulica portátil. El paquete de alambres se tesa desde el anclaje activo que puede disponerse en uno o ambos extremos del tendón. Después del tesado, el anclaje queda apoyado mediante cables en la placa de anclaje.

En la mayoría de las aplicaciones en centrales nucleares, los tendones se protegen contra la corrosión mediante grasa especial. En este caso, los tendones permanecen no adherentes y la fuerza de pretensado puede ser comprobada en todo momento. Alternativamente, el tendón puede ser inyectado con cemento una vez completada la operación de tesado.

TENDONES MONOTORON. SISTEMA CONA-UNITARIO

El sistema CONA-unitario para torones de diámetros 0,5" y 0,6" se utiliza en aquellos casos donde se requieren pequeñas unidades de pretensado, p.e. en forjados de edificios o pretensado transversal en puentes.

Cuando el tendón es no-adherente el torón está revestido con una grasa especial protectora y enfundado en un conducto de plástico para prevenir la corrosión y reducir el rozamiento.

Cuando el tendón es adherente, se utiliza una vaina metálica corrugada, inyectándose con lechada de cemento después del tesado.

Tendones y Gatos de tesado CONA-unitario

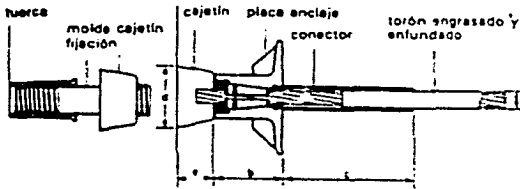
	Tendón			Upto	Gato		peso
	área	carga rotura	fuerza de tesado al 20%		fuerza máx.	longitud	
	mm ²	Tm	Tm		Tm	mm	Kg
Torón Ø 0,5"	100	19,-	15,2	U 18	16,-	550	29
Torón Ø 0,6"	150	28,5	22,8	U 24	24	680	36

Esfuerzos de tendón basados en una C. R. de 190 kg/mm²

Anclajes activos CONA-unitario

La pieza de fijación se rosca a la placa de anclaje permitiendo un rápido y eficaz ensamble con el encofrado, al que se sujeta con una tuorca.

Tendón no adherente



La fijación lleva incorporada un molde que permite obtener en el hormigón el cajetín necesario para el gato de tesado.

Después del tesado, se clavan las cuñas elípticamente mediante la acción hidráulica del gato U.

Especial importancia tiene garantizar una perfecta protección anticorrosiva.

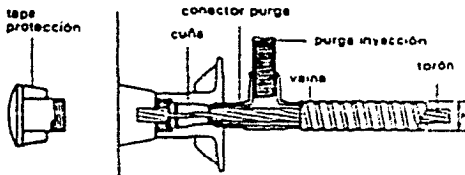
Para ello se ha dispuesto el conector que va fijado a la placa de anclaje con un sistema especial de bloqueo garantizando la estanqueidad del conducto.

Después del tesado, el cajetín, se cierra con una tapa estanca roscada al anclaje y rellena de un compuesto anticorrosión que protege anclaje y torón.

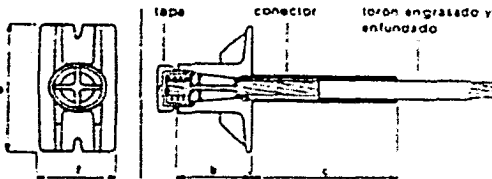
Alternativamente puede taparse el cajetín con mortero de cemento.

En el caso de tendones adherentes la inyección de lechada de cemento se lleva a cabo a través de la purga dispuesta en el conector.

Tendón adherente



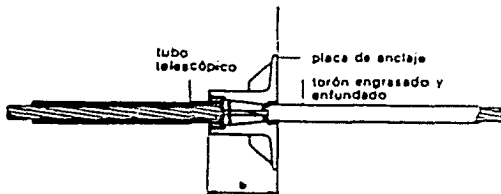
Anclajes fijos CONA-unitario



El anclaje fijo es similar al anclaje activo. La cuña de anclaje se preclava. Un muelle y una caperuza protectora de plástico garantizan la correcta posición de la cuña en el anclaje. El cemento y la caperuza, que pueden llenarse con un compuesto anticorrosión, proporcionan una eficaz protección anticorrosión del anclaje completo.

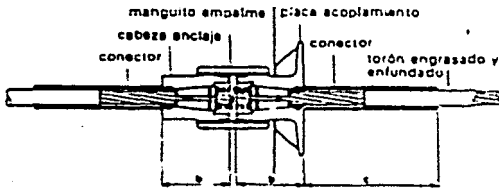
Anclajes intermedios CONA-unitario

Anclaje intermedio con torón continuo



En estructuras que se hormigonan y tesan por tramos, puede disponerse anclajes en puntos intermedios del tendón. El tendón se tensa en la junta de construcción quedando la longitud restante del tendón enrollada y lista para ser montada en el tramo siguiente.

Anclaje intermedio con acoplamiento



Si no hay posibilidad de disponer los rollos de tendón restante en la junta de construcción, es posible conectar dos tendones mediante un acoplamiento de anclajes.

Razones técnicas y requerimientos de seguridad pueden también exigir la disposición de tales anclajes acoplados.

	a	b	c	d día.	e	f	g Ø ext.	h Ø int.
torón dia. 0.5"	30	58	150	58	110	58	15	20
torón dia. 0.6"	30	78	150	70	138	70	19	25

Dimensiones en mm.

SISTEMA DE TENSADO CON CABLES

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TENSADO CON CABLES

CABLE INDIVIDUAL SIN UNION OV

ELEMENTOS DE TENSAR DE HACES DE CABLES

ANCLAJE DE PLACAS I.Q

ANCLAJE DE PLACAS

ANCLAJE DE ABRAZADERAS

ANCLAJE DE CAMPANA

PUNTO DE ACOPLAMIENTO G y GT

SISTEMAS DE TENSAR

SISTEMA DE TENSADO CON BARRAS

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TENSADO CON BARRAS

FORMAS BASICAS DE LOS TENDONES DE BARRA, UNICA

EQUIPOS AUXILIARES

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TENSADO CON CABLES

El sistema de tensado DYWIDAG con haces de cables es un sistema de tensado con uniones ovales.

La construcción del sistema permite la ejecución de los elementos de tensado en fábrica, a pie de obra o en el sitio.

Todos los elementos de los haces de tensado están constituidos conforme al mismo principio de construcción.

El elemento de tensado está equipado bilateral o unilateralmente con anclajes y por esta razón puede ser tensado bilateral o unilateralmente.

El anclaje de tensado se compone de un anillo de campana y el disco de anclaje o de placas de anclaje. Los cables están anclados en los lados cóncavos del disco o placa de anclaje mediante cuñas de 3 piezas, dotadas con dientes en la parte inferior. La construcción responde a la del elemento de tensado individual DYWIDAG, mundialmente conocido y acreditado.

Con el punto de acoplamiento, que se compone de un anillo de campana, un tubo distanciador y el disco de acoplamiento, puede prolongarse de

forma sencilla un elemento de tensado ya pre-tensado.

Gracias a la unión a tope de los cables con manguito pueden unirse los cables individuales en el tramo libre.

Como tubos envolventes se utilizan tubos con soldadura longitudinal o arrollados en espiral con espesores de pared de como mínimo 0,25 mm. Para dar una rigidez a los tubos envolventes vacíos durante el hormigonado se utilizan en caso necesario tubos matriz.

La transición del tubo envolvente al anclaje o al punto de acoplamiento tiene lugar por medio de un tubo que se dilata cónicamente, por lo que se logran condiciones favorables para la inyección. En este tubo, para evitar puntos de flexión pronunciados en la zona de deformación de los cables, se dispone un distanciador de plástico. Por medio de esta desviación de los cables y la elección de las cuñas de apriete se logran características de resistencia estática y dinámica muy elevadas en la zona del anclaje.

Por la concepción unitaria de todos los elementos de tensado con haces,

el montaje, tendido, tensado e inyección se desarrollan siempre de acuerdo con las mismas reglas.

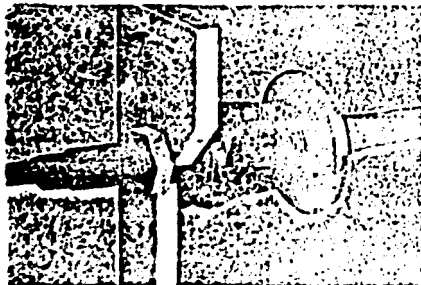
El suministro de los cables tiene lugar normalmente en anillos sin cuerpo arrollados exterior o interiormente.

Para el sistema se utilizan por regla general cables con un diámetro nominal de 0,6" (15,3 mm) y de la calidad St 1570/1770 (160/180). Los cables se fabrican a base de 7 hilos individuales aceros (refriados en frío).

Para el cumplimiento de los grupos de cargas de 0,6" es posible la utilización de cables con un diámetro nominal de 0,52" y 0,5" con acero de la calidad St 1670/1870 (170/190) o 0,62" con acero de la calidad St 1570/1770 por sustitución de los discos de anclaje.

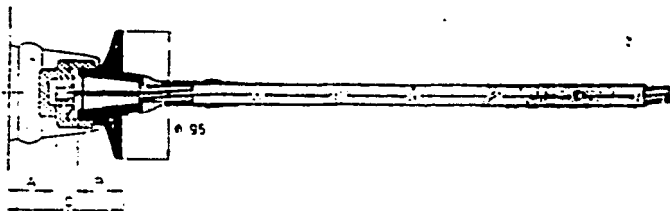
CABLE INDIVIDUAL SIN UNION OV

Pieza de anclaje de una pieza para cable individual DYWIDAG con protección especial contra la corrosión para una carga de rotura admisible de hasta 248 kN



El anclaje se compone de una placa forjada redonda con un cono para el alojamiento de la cuña de anclaje. El racor inferior del anclaje está equipado con levas de sujeción para la fijación de un manguito de conexión de plástico o un tubo de acero soldado por puntos.

En la parte superior de la placa se encuentra mecanizada una rosca para la fijación de husillos de sujeción, elementos para huecos, caperuza de presión o similar.



Como protección primaria contra la corrosión se utiliza una grasa compleja a base de aceite mineral, la cual, como consecuencia de inhibidores de alta eficacia, presenta buenas características de protección contra la corrosión, así como una alta estabilidad a la oxidación y al envejecimiento.

Como protección secundaria contra la corrosión así como protección contra el deterioro mecánico del cable se utiliza un tubo flexible de polietileno de baja presión (PE), de alto peso molecular y amplia distribución del peso molecular.

Sus ventajas consisten en:

- Una estabilidad muy buena a la tensofuración
- Una elevada resistencia
- Una elevada resistencia al envejecimiento
- Una elevada estabilidad a la luz y erosión

Tipo de elemento de tensado	6801	
Número de cables*	unidad	1
Carga de rotura con elementos de tensado con cables** Cables ϕ 0,6", $F_t = 140 \text{ mm}^2$ $\beta_s/\beta_t = 1570/1770 \text{ N/mm}^2$	kN	248
Medida A	mm	30
Medida B	mm	30
Medida C	mm	75

* Sustitución sobre demanda por otros diámetros de cables y calidades de acero.

La misma forma de anclaje se encuentra suministrable también para el cable individual con unión (consúltese bajo Placa de anclaje LQ)

ELEMENTOS DE TENSAR DE HACES DE CABLES

Tipos de cables utilizados

El sistema de tensado DYWIDAG se desarrolló con el cable 0,6". Si 1570/1770 (160/180) según normas alemanas. En los distintos países, según las normas usuales en éstos, puede trabajarse con otros valores

(por ejemplo distancias entre ejes y distancias al margen, fuerzas de tensado, etc.)

En caso necesario deben dirigirse sus consultas a DSI o sus representaciones.

Designación del acero de tensado*				0,5"	0,57"	0,6"	0,67"	0,7"	
Características del acero de tensado	Cantidad del acero	lb./ft.	N/mm ² kg./cm ²	1670/1860	1670/1880	1570/1770	1570/1770	1570/1770	
				170/190	170/190	160/180	160/180	160/180	
Carga de ruptura	F _{RM}	kN	Mp	173	186	248	290	364	
				17,7	19,0	25,2	26,9	36,0	
Carga en el límite elástico	F ₀	kN	Mp	155	167	220	231	314	
				15,8	17,0	22,4	23,5	32,0	
Medidas y peso	Diámetro nominal			pulgadas	0,5"	0,57"	0,6"	0,67"	
				mm	12,5	12,80	16,3	16,3	
	Sección nominal			F ₀	mm ²	93	100	140,0	147,0
Peso nominal			g	kg/m	0,73	0,785	1,10	1,18	
Características admisible	Elemento de tensor instalado								
	Radio mínimo			R _{adm}	m	3,9	3,9	4,80	4,80
	Elem. de tens. protabi. dur. al tr.								
	Diámetro mínimo			D _{adm}	m	1,1	1,10	1,68	1,68
Cables durante el transporte									
Diámetro mínimo			D _{adm}	m	0,9	0,9	0,9	1,20	
Módulos de tensado	En cables con una relación de $\alpha = 1 = 5 \cdot 10^4$ std. y								
	$\alpha = 0,55 \text{ s.}$			%	1,0	1,0	1,0	1,0	
	$\alpha = 0,60 \text{ s.}$			%	2,5	2,5	2,5	2,5	
	$\alpha = 0,65 \text{ s.}$			%	4,5	4,5	4,5	4,5	

* Es posible la sustitución por otros tipos de cables (por ejemplo DYFORM) y calidades de acero distintas

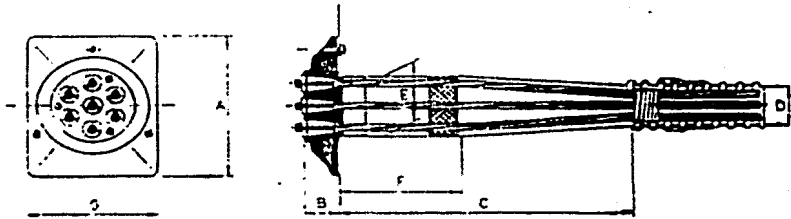
Forma de suministro:

Por regla general el cable se suministra en rollos de hasta 3 to/bobinas. Correspondiendo con el procedimiento de montaje elegido se encuentran suministrables los correspondientes equipos desembobinadores en distintas medidas.

ANCLAJE DE PLACAS LQ

Anclaje de una pieza para elementos de tensado de haces DYWIDAG con una carga de rotura admisible de 248 kN hasta 1735 kN

El anclaje se compone de una placa forjada, en la que además de los conos para el alojamiento de las cuñas de anclaje se han previsto posibilidades de enroscado para la fijación de un racor de conexión, de la cubierta de inyección, placa de fijación de las cuñas y similares. También se incorporan orificios de paso en la placa para la inyección o purga de aire del canal de tensado.



Medidas principales de los anclajes

Tipo de elemento de tensado	6801**	6803	6804	6805	6806	6807	6808	6809	6812
Número de cables*	unidad	1	3	4	5	6	7	8	12
Carga de rotura con elementos de tensado con cables** Cables Ø 0,6", F _t = 140 mm ² R _u /R _s = 1570/1770 N/mm ²	kN	248	743	991	1239	1487	1735	-	-
Medida A	mm	Ø 85	165	180	205	230	230	-	-
Medida B	mm	48	60	60	74	68	68	-	-
Medida C	mm	-	300	390	400	480	480	-	-
Medida D	mm	22	45/50	50/55	55/60	60/65	60/65	-	-
Medida E	mm	-	75	85	95	105	105	-	-
Medida F	mm	-	150	150	150	200	200	-	-
Medida G	mm	-	135	150	165	180	180	-	-

* Tipos standard - Son posibles los tamaños intermedios, sobre demanda se dispone también de unidades mayores

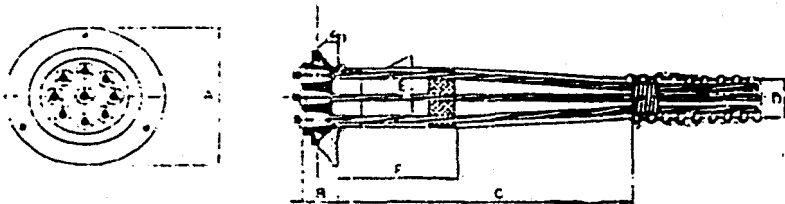
** Ilustración sobre demanda por otros diámetros de cables y calidades de acero.

*** Consultarse también bajo «Cable individual sin unión».

ANCLAJE DE PLACAS

Anclaje de dos piezas para elementos de tensado con haces DYWIDAG con una carga de rotura admisible de 1735 kN hasta 4708 kN

El anclaje se compone de una placa anular forjada y el disco de anclaje. Para la fijación del tubo de conexión así como para la cubierta de inyección, cuerpo para el hueco y similares, se han previsto en la placa anular 3 posibilidades de enroscado. La disposición en dos piezas permite la introducción ulterior del cable en el canal de tensado. En caso necesario puede suministrarse este anclaje también de una pieza.



Medidas principales de los anclajes

Tipo de elemento de tensado		6801	6803	6804	6805	6807	6809	6812	6815	6818
Número de cables*	unidad	1	3	4	5	7	9	12	15	19
Carga de rotura con elementos de tensado con cables** Cables \varnothing 0,5", $F_u = 140$ mm ² $f_u/f_s = 1570/1770$ N/mm ²	kN	-	-	-	-	1735	2230	2974	3717	4708
Medida A	mm	-	-	-	-	220	245	285	315	355
Medida B	mm	-	-	-	-	62	68	87	72	77
Medida C	mm	-	-	-	-	450	550	800	650	750
Medida D	mm	-	-	-	-	60/65	70/75	75/80	85/90	90/95
Medida E	mm	-	-	-	-	105	125	145	160	185
Medida F	mm	-	-	-	-	200	200	200	200	250

* Tipos standard - Son posibles los tamaños intermedios, sobre demanda es posible también el uso de cables como 67 y 37 \varnothing 0,6".

** Sustitución entre elementos por otros diámetros de cables y espesores de acero.

Anclaje de placas LQ

Tipo de elemento de hormigón			6007	6008	6004	6006	6005	6007	6009	6011	6012	6015	6016	
Módulo de sección			1	3	5	6	7	8	9	11	12	15	16	
Área total			43	50	53	57	58	58	58	58	58	58	58	
Anclaje de armadura suplementaria			Clase de resistencia del hormigón											
Distancia entre ejes	A	mm	0 25 0 30 0 40	0 25 0 30 0 40	0 25 0 30 0 40	0 25 0 30 0 40	0 25 0 30 0 40	0 25 0 30 0 40	0 25 0 30 0 40	0 25 0 30 0 40	0 25 0 30 0 40	0 25 0 30 0 40	0 25 0 30 0 40	0 25 0 30 0 40
Distancia entre ejes	B	mm	230 200 170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Distancia entre ejes	C	mm	130 120 100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Distancia entre ejes	A ₁	mm	120 120 110	180 180 180	175 170 170	185 180 180	200 200 200	220 220 220	220 220 220	220 220 220	220 220 220	220 220 220	220 220 220	
Distancia entre ejes	A ₂	mm	180 180 180	400 330 300	360 360 320	370 440 380	580 430 420	640 640 660	-	-	-	-	-	
Distancia de punta	A ₃	mm	90 90 75	90 90 90	140 140 100	110 110 110	120 120 120	130 130 130	-	-	-	-	-	
Distancia de punta	A ₄	mm	110 100 90	220 180 160	230 210 180	275 200 200	310 285 230	340 280 230	-	-	-	-	-	
Armadura longitudinal	n	mm	8 8 6	12 10 10	12 12 10	12 12 12	14 14 12	14 14 12	-	-	-	-	-	
Numero	n	mm	6 4 3	6 6 6	6 6 6	6 6 6	6 6 6	6 6 6	-	-	-	-	-	
Distancia	s	mm	80 80 70	100 100 100	120 120 120	120 120 120	140 140 140	140 140 140	-	-	-	-	-	
Distancia	s	mm	10 10 10	25 25 25	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30	-	-	-	-	-	
Distancia	s	mm	30 30 30	50 50 50	60 60 55	60 60 65	60 50 60	60 50 60	-	-	-	-	-	
Armadura de puntillas	n	mm	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	-	-	-	-	-	
Numero	n	mm	2 2 2	3 3 3	3 3 3	4 3 3	4 3 3	4 3 3	-	-	-	-	-	
Distancia	s	mm	30 30 0	15 15 15	20 20 20	20 20 20	20 20 20	20 20 20	-	-	-	-	-	
Longitud del talón	L	mm	120 90	130 130 130	130 150 150	165 165 165	180 160 160	200 200 200	-	-	-	-	-	
Longitud del talón	L	mm	120 90	150 140 130	160 170 200	220 260 240	240 310 290	340 340 320	-	-	-	-	-	

* Copia de sección reducida

Anclaje de placa anular para el hormigón ligero

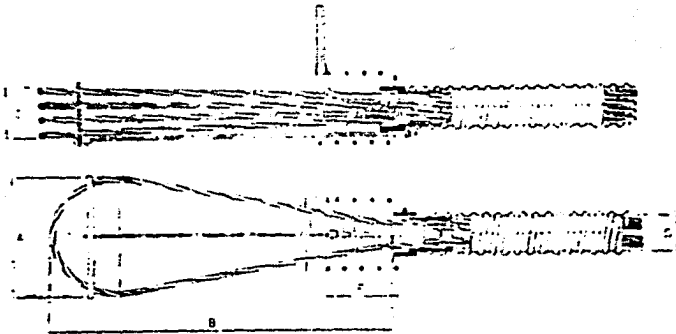
Tipo de elemento de hormigón			6007	6008	6004	6006	6007	6009	6011	6012	6015	6016
Módulo de sección			1	3	5	6	7	8	9	11	12	15
Placa de apoyo exterior	e	mm	-	-	-	-	215	215	265	265	315	365
Área total	e	mm	-	-	-	-	62	64	67	67	73	77
Distancia de sujeción	mm	mm	-	-	-	-	750	731	730	730	760	710
Integración	f	mm	-	-	-	-	10	18	18	18	20	20
Clase de resistencia del hormigón			10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10
Distancia entre ejes	A	mm	20 20 20	20 20 20	20 20 20	20 20 20	20 20 20	20 20 20	20 20 20	20 20 20	20 20 20	20 20 20
Distancia al borde	B	mm	-	-	-	-	210 195 180	240 220 200	270 250 220	270 250 220	250 230 200	240 220 200
Armadura suplementaria			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Numero	n	mm	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12
Distancia	s	mm	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30
Distancia	s	mm	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10
Distancia	s	mm	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30	30 30 30
Longitud del talón	L	mm	120 90	130 130 130	130 150 150	165 165 165	180 160 160	200 200 200	-	-	-	-
Longitud del talón	L	mm	120 90	150 140 130	160 170 200	220 260 240	240 310 290	340 340 320	-	-	-	-

ANCLAJE DE ABRAZADERAS

Anclaje pasivo para elementos de tensado de haces DYWIDAG con una carga de rotura admisible de 743 kN hasta 4708 kN

Por regla general este tipo de anclaje se utiliza para elementos tensores prefabricados. A cuyo fin los cables son curvados hidráulicamente y llevados a través del mismo tubo en sentido al otro extremo del elemento de tensado. En estado final la zona de la abrazadera se encuentra en la unión. Las fuerzas de tensificación y fuerzas de desviación desarrolladas son absorbidas por medio de una armadura suplementaria adecuada.

Los accesorios requeridos son el tubo de cierre con un anillo interior de plástico, el tubo de purga de aire, así como el bastidor de soporte y barra de soporte para la fijación de la separación entre los cables. El tubo de cierre se obtura por medio de masilla de elasticidad permanente contra la penetración de la lechada de cemento.



Medidas principales de los anclajes

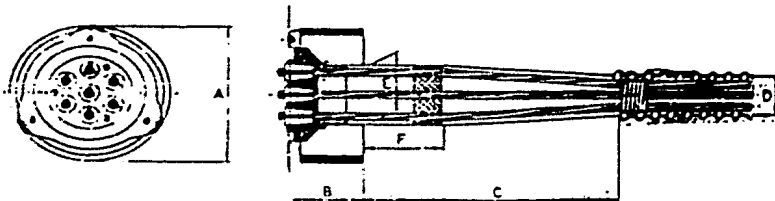
Tipo de elemento de tensado		6801	6803	6804	6815	6807	6809	6812	6815	6819
Número de cables*	unidad	1	3	4	5	7	9	12	15	19
Carga de rotura con elementos de tensado con cables** Cables ϕ 0,6"; $F_t = 140 \text{ mm}^2$ $f_{tk} = 1670/1770 \text{ N/mm}^2$	kN	-	743	991	1239	1735	2230	2974	3717	4708
Medida A	mm	-	300	300	300	300	300	300	300	300
Medida B	mm	-	750	750	750	750	750	750	750	750
Medida C	mm	-	55	55	95	135	175	215	295	375
Medida D	mm	-	45	50	58	60	70	76	86	89
Medida E	mm	-	160	160	160	210	260	315	315	315

* Tipos standard -- Son posibles los tamaños intermedios, sobre demanda se dispone también de unidades mayores tales como 27 y 37 ϕ 0,6"
 ** Sustitución sobre demanda por otros diámetros de cables y calidades de acero.

ANCLAJE DE CAMPANA

Anclaje de dos piezas para elementos de tensado con haces DYWIDAG con una carga de rotura admisible de 743 kN hasta 4708 kN

El anclaje se compone del anillo de campana con una pieza conformada de chapa de acero soldada como apoyo para el disco de anclaje. Para la fijación de cuerpos para huecos, placas de fijación por cuña, cubiertas de inyección y similares, se han previsto en la pieza conformada de chapa de acero 3 posibilidades de enroscado. La placa de anclaje además de los taladros cónicos para el alojamiento de las cuñas de anclaje está equipada con orificios de paso para la inyección o la purga de aire del canal de tensado. La disposición en dos piezas permite la introducción ulterior de los cables en el canal de tensado.



Medidas principales de los anclajes

Tipo de elemento de tensado		6801	6803	6804	6805	6807	6809	6812	6815	6818
Número de cables*	unidades	1	3	4	5	7	9	12	15	18
Carga de rotura con elementos de tensado con cables** Cables Ø 6,6", $F_s = 140 \text{ mm}^2$ $S_u/S_s = 1570/1770 \text{ N/mm}^2$	kN	-	743	991	1239	1735	2230	2974	3717	4708
Medida A	mm	-	160	180	200	240	280	310	350	390
Medida B	mm	-	75	95	95	116	128	180	198	218
Medida Ø	mm	-	378	400	350	383	463	470	500	590
Medida D	mm	-	46/50	50/55	55/60	60/65	70/75	75/80	85/90	90/95
Medida E	mm	-	75	85	95	105	125	150	160	185
Medida F	mm	-	120	100	100	135	116	85	85	86

* Tipo standard — Son posibles los tamaños intermedios, sobre demanda se dispone también de unidades mayores tales como 27 y 37 Ø 6".

** Sustitución sobre demanda por otros diámetros de cables y calidades de acero

PUNTO DE ACOPLAMIENTO G y GT

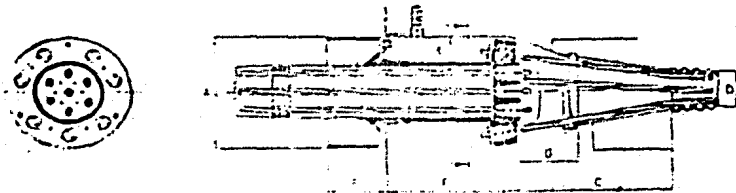
Punto de acoplamiento para elementos de tensado de haces DYWDAG con una carga de rotura admisible de 1235 kN hasta 4708 kN

El punto de acoplamiento prioriza el elemento de tensado de un tajo ya hormigonado y pretensado.

Se compone de un anillo de campana con una pieza conformada de chapa de acero soldada o de la placa anular como apoyo para una silleta distanciadora y el disco de acoplamiento, el cual para el alojamiento de los cables de entrada y salida presenta taladros cónicos para las cuñas de anclaje. Los cables del elemento de tensado de salida se fijan previamente con como mínimo 1,2 F_{adm} mediante cuñas y se aseguran con abrazaderas de seguridad para las cuñas.

Se encuentran disponibles 2 variantes de entubado distintas:

- G = entubado parcial
- GT = entubado completo



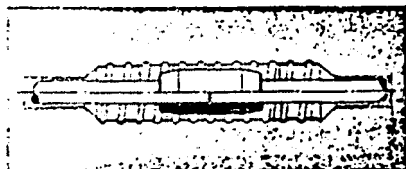
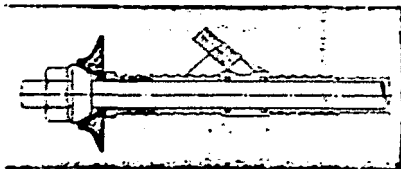
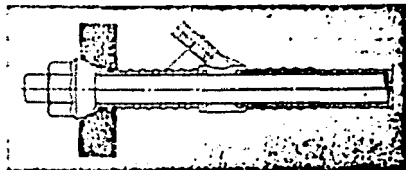
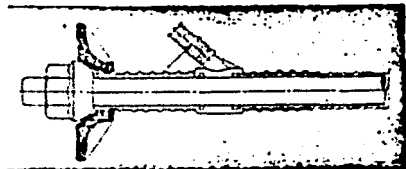
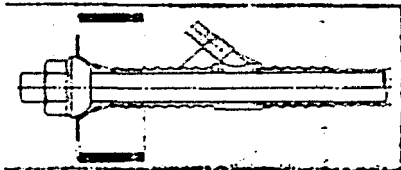
Medidas principales de los anclajes

Tipo de elemento de tensado		6801	6803	6804	6805	6807	6809	6812	6815	6819
Numero de cables*	unidad	1	3	4	5	7	9	12	15	19
Carga de rotura con elementos de tensado con cables**										
Cables 9 0,6", $F_t = 140 \text{ mm}^2$										
$S_u/S_t = 1570/1770 \text{ N/mm}^2$	kN	-	-	-	1235	1735	2230	2974	3717	4708
Medida A	mm	-	-	-	200	240	280	320	350	390
Medida B	mm	-	-	-	95	116	126	136	180	215
Medida C	mm	-	-	-	320	430	480	530	530	630
Medida D	mm	-	-	-	60	65	75	80	90	95
Medida E	mm	-	-	-	235	255	275	295	320	355
Medida F	mm	-	-	-	220	220	220	220	220	220
Medida G	mm	-	-	-	110	110	110	110	110	110

* Tipo standard — Son posibles los tamaños intermedios.
 sobre demanda se dispone también de unidades mayores tales como 27 y 37 o 0,6".
 — Sustitución sobre demanda por otros diámetros de cables y cabezas de acero.

SISTEMAS DE TENSAR

Elementos de tensar individuales



- Resumen: ■ Tipos de elementos de tensar
 ■ Tipos de anclajes
 ■ Cargas de rotura correspondientes

Elementos de tensar y sus anclajes																			
Tipo de acero	Código del acero	Ø (mm)	Cargas de rotura nominal, kN						Anclaje en concreto	Anclaje en mampostería	Anclaje en albañilería	Anclaje en hormigón armado	Anclaje en acero	Anclaje en aluminio	Anclaje en otros materiales	Resistencia a la tracción	Resistencia a la flexión	Resistencia a la torsión	
			150	200	300	400	500	600											
Acero pas	1470/1570	10	●						●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
		12.8		●					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	835/1030	26				●				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
		32					●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	1060/1230	36						●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
		28							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
32									●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
34									●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
Acero pasado	888/1080	18		●					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	835/1030	25.1				●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
		32						●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	1060/1230	36							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
		26.1								●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	Cable	1770/1770	142 Ø 7			●					●	●	●	●	●	●	●	●	●
3									●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
4										●	●	●	●	●	●	●	●	●	
5										●	●	●	●	●	●	●	●	●	
7										●	●	●	●	●	●	●	●	●	
9										●	●	●	●	●	●	●	●	●	
11										●	●	●	●	●	●	●	●	●	
12										●	●	●	●	●	●	●	●	●	
15										●	●	●	●	●	●	●	●	●	
19										●	●	●	●	●	●	●	●	●	

* Indicar en el proyecto el tipo de anclaje a utilizar.

DYWIDAG

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TENSADO CON BARRAS

El procedimiento DYWIDAG de pretensado con barra se ha aplicado desde hace más de treinta años en todo el mundo. Es un procedimiento de pretensado que ha demostrado en muy diversas construcciones su gran calidad desde el punto de vista técnico, su fiabilidad y la simplicidad de su aplicación.

El tendón DYWIDAG de barra consta de:

- el acero tesado DYWIDAG,
- los anclajes finales roscables,
- las correspondientes vainas.

Mediante manguitos roscables pueden conseguirse tendones de diversas longitudes.

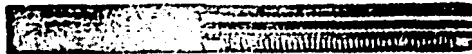
Con tendones DYWIDAG de barra se han construido, por ejemplo, algunos de los que en su momento fueron los mayores puentes de hormigón del mundo:

- el puente Bendorf sobre el Rin (208 m de luz),
- los puentes japoneses de Hiroshima (236m entre apoyos) y de Hamana (240 m),
- el puente de Koror-Babelthnap (241 m de luz), en la isla de Guam, Pacífico Sur.

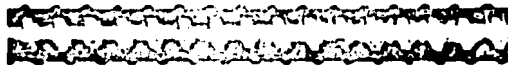
Aceros de pretensado

En estrecha cooperación con otras renombradas acerías, DYWIDAG ha desarrollado dos tipos de barra de pretensado, disponibles en diversos diámetros y calidades de acero. Son :

- la barra lisa, que se suministra por la fábrica con rosas de la longitud deseada en ambos extremos. Estas rosas laminadas se caracterizan por su alta resistencia a la fatiga .



- la barra roscaada, en la que se ha laminado una rosca en toda la longitud de la barra durante el proceso de producción. La rosca continua resultante hace posible cortar la barra en el punto deseado, y adaptar los correspondientes accesorios roscables.



En la Tabla 1 se recogen los datos técnicos correspondientes a las barras DYWIDAG.

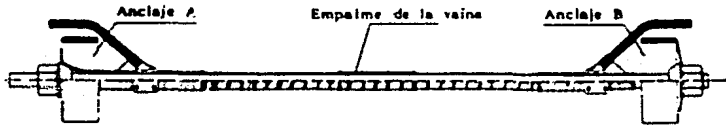
Anclajes

Los dispositivos individuales de anclaje DYWIDAG consiste en un elemento de anclaje que transmite las tensiones al hormigón, contra el cual reacciona la tuerca del anclaje. En los anclajes activos, esta tuerca es móvil, lógicamente, mientras que en los anclajes pasivos está firmemente solidarizada al componente de anclaje.

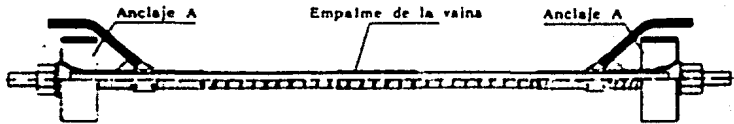
Los tipos de anclaje disponibles son :

- anclaje de campana, (circular)

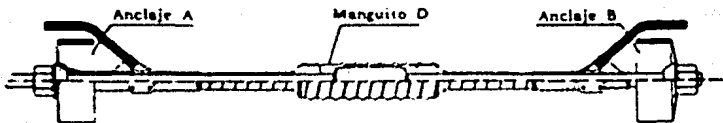
FORMAS BASICAS DE LOS TENDONES DE BARRA UNICA DYWIDAG



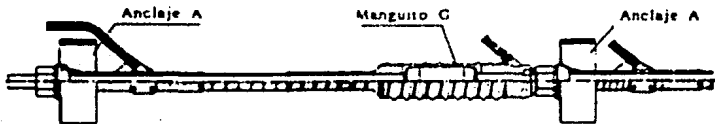
Tendón con anclaje activo (anclaje A) y anclaje pasivo (Anclaje B)



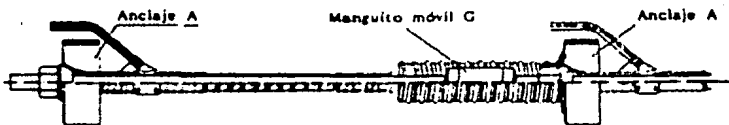
Tendón con dos anclajes vivos (Anclaje A)



Tendón con manguito D



Tendón con manguito G



Tendón con manguito móvil G

DYWIDAG

- anclaje de placa reforzada, (cuadrada o rectangular)
- anclaje de placa sólida (cuadrada o rectangular).

En las Tablas 2 a 3 se detallan las características técnicas oportunas:

- dimensiones de los elementos de anclaje (Tabla 2)
- distancias mínima a respetar en su colocación (Tabla 3)

ANCLAJES

Anclaje de campana



Anclaje activo



Anclaje pasivo

Anclaje de placa QR



Anclaje activo



Anclaje pasivo

Anclaje de placa nervada



Anclaje activo



Anclaje pasivo

Anclaje de placa maciza



Anclaje activo



Anclaje pasivo

Uniones de barras

Mediante las oportunas conexiones -manguitos- las barras de postesado DYWIDAG pueden ser empalmadas con suma sencillez para obtener tendones de cualquier longitud deseada.

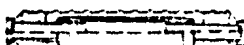
Existen los siguientes tipos de manguitos:

- manguito roscado, con rosca continua,
- manguito de compensación, que permite conectar barras sin preocupaciones por las tolerancias de longitud.
- manguito de transición, roscado, que permite empalmar barras lisas con barras roscadas.

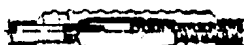
MANGUITOS



Manguito roscado



Manguito de compensación



Manguito de transición

DYWIDAG

Vainas

Las barras DYWIDAG se disponen en el seno del hormigón encerradas en vainas helicoidales flexibles, que pueden ser empalmadas en cualquier punto mediante manguitos roscados. En los empalmes, aumenta el diámetro de las vainas. En el caso aquí en que las condiciones de inyección sean desfavorables, se pueden usar vainas de diámetro superior.

Control de calidad

Todo los componentes resistentes del sistema de postesado DYWIDAG son aprobados por las autoridades: inspecciones superiores de la construcción, y están sometidos a estrictos controles de calidad internos y externos.

Además de ello, los accesorios no resistentes están sometidos a controles continuos que garantizan su calidad uniforme.

Montaje

Los tendones de barras DYWIDAG pueden ser instalados incluso por trabajadores subordinados con experiencia, directamente en la obra. Esto es posible gracias al hecho de que es posible empalmar todos los componentes, ya que son roscables. Como regla general, se dispondrán en el interior de vainas provistas de elementos de anclaje, antes de situarlos definitivamente.

Accesorios de montaje

Se dispone de accesorios suficientes para asegurar que las operaciones de montaje e instalación, ya en la obra, puedan desarrollarse sin inconvenientes.

Los accesorios más importantes -disponibles para todas las barras de postesado DYWIDAG- son los siguientes:

- molde para producir los rehundidos que se disponen en los anclajes activos para situar el gato de tesado,
- selló contra agua y suciedad, para impermeabilizar los elementos de anclaje expuestos a la intemperie, tal como ocurre en obras invernales, o en el caso de conductos de postesado que deben permanecer sin inyectar durante un periodo de tiempo extenso.

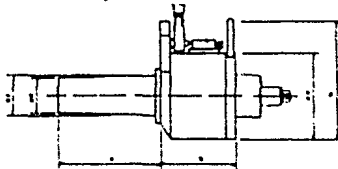
Equipos de tesado e inyección

Los procedimientos de tesado e inyección son habituales. Trataremos aquí de las características de los equipos usados.

Los gatos de tesado son hidráulicos. Sus distintivos son su ligero peso y su sencilla utilización.

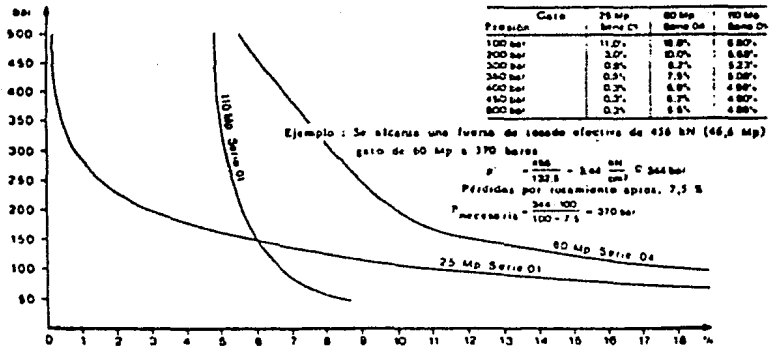
Se emplean los siguientes modelos:

DYWIDAG



Carga tipo	25 Mp Serie 01			60 Mp Serie 02				110 Mp Serie 011			
para acero Ø	10, 12,2	15	16	26, 26,5		32		26, 26,5		32, 36	
Calidad del acero	AISI 4140	AISI 4140	AISI 4140	AISI 4140	AISI 4140	AISI 4140	AISI 4140	AISI 4140	AISI 4140	AISI 4140	AISI 4140
Fuerza de golpe efectiva	745			825,0				1100			
máxima	25			83,5				112			
a	19,5	19,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	27,5	27,5	27,5	27,5
b	23,8	23,8	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	21,8	21,8	21,8	21,8
c	5,8	7,0	11,0	10,6	10,6	10,6	10,6	15,0	12,2	12,2	12,5
d	5,3	6,6	8,6	10,6	10,6	10,6	11,4	11,4	8,6	10,6	12,0 (11,0?)
z	12,5	12,5	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	26,7	26,7	26,7	26,7
h	22,0	22,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	37,5	37,5	37,5	37,5
Área del cilindro P ₁ al (cm ²)	50,3			132,5				233,6			
Presión de uso admisible bar	500,0			500,0				500,0			
Presión de retroceso bar	80,0			80,0				80,0			
Máximo desplazamiento mm	100,0			50,0				50,0			
Longitud del fuelle cm	50,0			50,0				50,0			
Peso (con fuelle) kg	-23			-36				-48			

* Utilizar los tapones escafoados correspondientes. * Para S1: 835/1032 (837/103) Ø 32 mm.



Pérdidas debidas a los rozamientos en los gatos para carga creciente (valores medios; en caso de necesidad acudir a las especificaciones de los rozamientos). 1 bar = 1,02 atmósferas.

TABLA I
Datos técnicos de los tendones de barra única DYWIDAG

Tipo de acero	Calidad del acero	Barra lisa										Barra rosca											
		YOM1030					YOM1230					YOM1030				YOM1230							
		85/105					110/125					85/105				110/125							
		28	32	36	24	32	36	10	12	16	20	24	28	32	36	40	48	56	64	72	80		
		26.0	27.0	28.0	27.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0			
Acero de primavera, diametros y pesos	Año nominal F	5.31	8.04	10.18	1.31	2.04	10.18	0.783	1.17	1.51	2.04	10.18	1.77	2.51	3.04	10.18	1.77	2.51	3.04	10.18	2.01		
	Peso nominal	4.17	6.21	7.95	4.17	4.31	7.99	0.618	0.92	1.44	4.48	6.52	8.27	1.44	4.48	6.52	8.27	1.63	4.48	6.52	8.27	1.63	
	Diametro máximo sobre la rosca	27.25	32.35	37.35	27.25	32.35	37.35	27.25	32.35	37.35	27.25	32.35	37.35	27.25	32.35	37.35	27.25	32.35	37.35	27.25	32.35	37.35	
	Peso	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	Longitud máxima de traspase	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75		
Propiedades del acero	Límite elástico	735			840			1225			735			785			840			840			1175
	Tensión de cedencia	635			690			1420			635			685			740			740			1070
	Tensión última	85			110			1420			85			90			110			110			135
		105			125			160			105			110			125			125			150
		219			294			373			219			224			249			249			274
		32.3			32			34			24			29			29			29			33
	Variación porcentual en la prueba de carga cíclica para los aceros y empalmes	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
Formas en el acero	P _{max} - B ₁ F ₁	442	671	890	174	269	4299	98	158	460	671	890	137	395	664	1099	264						
	P _{min} - B ₁ F ₁	45.1	68.2	91.3	58.6	89.4	112.0	10.0	16.1	44.9	68.2	91.3	13.8	42.4	88.1	112.0	27.1						
	P _{max} - B ₂ F ₂	517	826	1049	453	669	1252	108	175	517	826	1049	191	678	949	1252	299						
	P _{min} - B ₂ F ₂	55.8	84.4	111.9	64.4	100.5	127.3	11.1	17.8	57.9	84.4	111.9	19.7	68.9	100.5	127.3	30.3						
Doblado	Radio mínimo para doblado en frío	15.93	19.50	21.90	8.75	10.75	12.10	2.85	3.50	16.20	19.50	21.90	8.10	8.90	10.75	12.10	4.30						
	Radio mínimo para doblado en frío	3.90	4.80	5.40	3.90	4.80	5.40	1.50	1.8	3.90	4.80	5.40	3.30	3.30	4.40	5.40	2.10						
	Doblado en una dirección	20	24	30	24	24	30	15	15	20	24	30	20	24	30	24	30						
	Doblado en más de una dirección	24	28	40	24	28	40			24	28	40	24	28	40	24	28						
Resistencia	Esfuerzo entre espigas del cambio	20.50	05.50	20.50	05.50	20.50	05.50	14.25	18.25	20.50	05.50	18.25	20.50	05.50	18.25	20.50	05.50						
	Tensión permisible	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.5	0.3	0.3	0.2	0.5	0.3	0.3	0.2	0.5						
Factor de resistencia y empalmes	Factor de resistencia y empalmes	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.2	0.23	0.25	0.25	0.25	0.41	0.30	0.30	0.30	0.30						
	Factor de resistencia y empalmes	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15						
Desplazamiento en los anillos y manguitos	Anillo de campana	20	20	20	20	20	20	15	15	20	20	20	15	15	15	15	15						
	Anillo de placa	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0						
	Manguito	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10						
Varnos	Diametro interno	327.38	384.4	442.1	327.38	384.4	442.1	171.8	200.22	327.38	384.4	442.1	207.25	327.38	384.4	442.1	171.8						
	Diametro externo	371.43	431.49	491.57	371.43	431.49	491.57	217.22	247.26	371.43	431.49	491.57	247.26	371.43	431.49	491.57	217.22						
	Espejamiento mínimo de las varnos	58.68	68.79	79.72	58.68	68.79	79.72	42.43	47.47	58.68	68.79	79.72	47.47	58.68	68.79	79.72	42.43						
	Espejamiento máximo de las varnos	65	75	85	65	75	85	30.5	36	65	75	85	36	43	51	60	30.5						
	Longitud estándar	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24					
Inercias	Luces por m. l. de tendón	0.35	0.41	0.51	0.35	0.41	0.51	0.22	0.18	0.35	0.41	0.51	0.11	0.31	0.38	0.54	0.22						
	Luces por T. de acero	84	95	111	84	95	111	367	190	84	95	111	60	69	80	88	60						
	m. l. por muestra (aprox. 40 l.)	116	58	64	115	48	54	182	232	116	111	121	76	79	111	72	75						

TABLA II
Dimensiones de los elementos de anclaje

Tipo de acero	Calidad del acero	Dimensión nominal	Código del acero	Barras lisas						Barras texturadas							
				Ø19/20		Ø20/22		Ø22/24		Ø25/28		Ø28/32		Ø32/36		Ø36/40	
				20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
Anclaje de varilla	Tuerca hexagonal	Ø 19	A-100	Ø 19	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
				Ø 20	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	
				Ø 22	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46		
				Ø 24	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46			
				Ø 26	30	32	34	36	38	40	42	44	46				
				Ø 28	32	34	36	38	40	42	44	46					
				Ø 30	34	36	38	40	42	44	46						
				Ø 32	36	38	40	42	44	46							
				Ø 34	38	40	42	44	46								
				Ø 36	40	42	44	46									
Anclaje de campana	Anclaje activo (Anclaje A)	Ø 19	A-100	Ø 19	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
				Ø 20	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	
				Ø 22	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46		
				Ø 24	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46			
				Ø 26	30	32	34	36	38	40	42	44	46				
				Ø 28	32	34	36	38	40	42	44	46					
				Ø 30	34	36	38	40	42	44	46						
				Ø 32	36	38	40	42	44	46							
				Ø 34	38	40	42	44	46								
				Ø 36	40	42	44	46									
Anclaje de placa nervada, cuadrada	Anclaje pasivo (Anclaje B)	Ø 19	A-100	Ø 19	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
				Ø 20	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	
				Ø 22	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46		
				Ø 24	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46			
				Ø 26	30	32	34	36	38	40	42	44	46				
				Ø 28	32	34	36	38	40	42	44	46					
				Ø 30	34	36	38	40	42	44	46						
				Ø 32	36	38	40	42	44	46							
				Ø 34	38	40	42	44	46								
				Ø 36	40	42	44	46									
Anclaje de placa nervada, rectangular	Anclaje pasivo (Anclaje B)	Ø 19	A-100	Ø 19	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
				Ø 20	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	
				Ø 22	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46		
				Ø 24	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46			
				Ø 26	30	32	34	36	38	40	42	44	46				
				Ø 28	32	34	36	38	40	42	44	46					
				Ø 30	34	36	38	40	42	44	46						
				Ø 32	36	38	40	42	44	46							
				Ø 34	38	40	42	44	46								
				Ø 36	40	42	44	46									
Anclaje de placa maciza, cuadrado	Anclaje pasivo (Anclaje B)	Ø 19	A-100	Ø 19	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
				Ø 20	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	
				Ø 22	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46		
				Ø 24	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46			
				Ø 26	30	32	34	36	38	40	42	44	46				
				Ø 28	32	34	36	38	40	42	44	46					
				Ø 30	34	36	38	40	42	44	46						
				Ø 32	36	38	40	42	44	46							
				Ø 34	38	40	42	44	46								
				Ø 36	40	42	44	46									
Anclaje de placa maciza, rectangular	Anclaje pasivo (Anclaje B)	Ø 19	A-100	Ø 19	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
				Ø 20	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	
				Ø 22	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46		
				Ø 24	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46			
				Ø 26	30	32	34	36	38	40	42	44	46				
				Ø 28	32	34	36	38	40	42	44	46					
				Ø 30	34	36	38	40	42	44	46						
				Ø 32	36	38	40	42	44	46							
				Ø 34	38	40	42	44	46								
				Ø 36	40	42	44	46									
Anclaje de placa QR	Anclaje activo (Anclaje A)	Ø 19	A-100	Ø 19	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
				Ø 20	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	
				Ø 22	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46		
				Ø 24	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46			
				Ø 26	30	32	34	36	38	40	42	44	46				
				Ø 28	32	34	36	38	40	42	44	46					
				Ø 30	34	36	38	40	42	44	46						
				Ø 32	36	38	40	42	44	46							
				Ø 34	38	40	42	44	46								
				Ø 36	40	42	44	46									
Anclaje de placa QR	Anclaje pasivo (Anclaje B)	Ø 19	A-100	Ø 19	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46
				Ø 20	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	
				Ø 22	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46		
				Ø 24	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46			
				Ø 26	30	32	34	36	38	40	42	44	46				
				Ø 28	32	34	36	38	40	42	44	46					
				Ø 30	34	36	38	40	42	44	46						
				Ø 32	36	38	40	42	44	46							
				Ø 34	38	40	42	44	46								
				Ø 36	40	42	44	46									

Ø = Diámetro nominal
R = Radio

DYMIDAG

TABLA III
Distancias mínimas de colocación

Technical Data

Center grid edge distance for anchorage (min. dimensions)

DYWIDAG
SPRIG BAR TENDONS

Type of anchoring system	Anchorage	Reinforcing bar												
		Ø 16-20 mm			Ø 22-25 mm			Ø 28-32 mm			Ø 36-40 mm			
Minimum distance	Minimum distance	mm		mm		mm		mm		mm		mm		
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
Grid anchorage Development in concrete and for both anchors without additional reinforcing steel	C	0.25	21.0	20	22	20	22	20	22	20	22	20	22	20
		0.50	21.0	21	21.5	20	20.5	20	20.5	20	20.5	20	20.5	20
Square Ribbed Plate Anchorage	C	0.25	21.0	20	22	20	22	20	22	20	22	20	22	20
		0.50	21.0	21	21.5	20	20.5	20	20.5	20	20.5	20	20.5	20
Rectangular Ribbed Plate Anchorage The minimum grid distance in all directions are obtained when square anchorage of the grid is used in all directions and the anchorage of the ribbed plate and square anchorage are equal	C	0.25	21.0	20	22	20	22	20	22	20	22	20	22	20
		0.50	21.0	21	21.5	20	20.5	20	20.5	20	20.5	20	20.5	20
Square Ribbed Plate Anchorage Use not allowing an anchorage surface	C	0.25	21.0	20	22	20	22	20	22	20	22	20	22	20
		0.50	21.0	21	21.5	20	20.5	20	20.5	20	20.5	20	20.5	20
Rectangular Ribbed Plate Anchorage Use not allowing an anchorage surface	C	0.25	21.0	20	22	20	22	20	22	20	22	20	22	20
		0.50	21.0	21	21.5	20	20.5	20	20.5	20	20.5	20	20.5	20
Grid Plate Anchorage Use not allowing an anchorage surface	C	0.25	21.0	20	22	20	22	20	22	20	22	20	22	20
		0.50	21.0	21	21.5	20	20.5	20	20.5	20	20.5	20	20.5	20

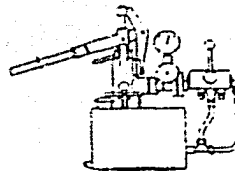
DYWIDAG

EQUIPOS AUXILIARES

BOMBA MANUAL PORTATIL

MODELO HP-32-8

Altura : 61,8 cm
 Anchura : 26,0 cm
 Longitud: 130,0 cm
 Peso : 35,0 kg
 Conexión hidráulica : para un gato
 Rendimiento : entre 0,15 y 1,5 l/min.
 Capacidad del circuito hidráulico:
 7,5 l de aceite
 Presión máxima : 550 bares
 Accionamiento : manual



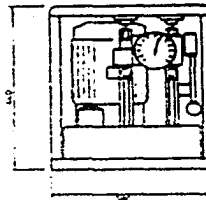
HP 32-8

EQUIPO HIDRAULICO PORTATIL

MODELO 77-159

Altura : 44,0 cm
 Anchura : 38,0 cm
 Longitud: 41,0 cm
 Peso : 49,0 kg
 Conexión hidráulica : para un gato
 Rendimiento : entre 1,5 y 3,0 l/min.
 Capacidad del circuito hidráulico:
 10,0 l de aceite
 Presión máxima : 600 bares
 Alimentación : 220/380 V, 50 Hz
 Potencia : 3 kW - 2 kW

**Tipo 77-159 y
Tipo 77-193**



Anchura 450 mm

Descripción:

Equipo portátil con sistema de dos tuberías flexibles (Tipo 77-159) y sistema de tres tuberías flexibles (Tipo 77-193) para gatos de tensar de doble efecto.

EQUIPO HIDRAULICO MOVIL

MODELO 77-015

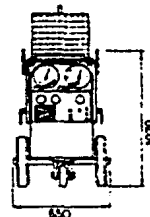
Altura : 128,0 cm

DYWIDAG

Anchura : 68,0 cm
Longitud: 96,5 cm
Peso : 220,0 kg
Conexión hidráulica : para dos gatos
Rendimiento: entre 3,2 l/min y 6,4 l/min
Capacidad del circuito hidráulico:
8,0 l de aceite
Presión máxima : 6,0 bares
Alimentación : 380/660 V, 50 Hz
Potencia : 4,0 kW ó 7,5 kW

Tipo 77-134 y
Tipo 77-015

Longitud: 1000 mm



Descripción:

Equipo móvil con sistema de tres tuberías flexibles (Tipo 77-134) y 2 sistemas de dos tuberías flexibles (Tipo 77-015) para gatos de tensar de doble efecto.

En cuanto a los equipos de inyección, tenemos:

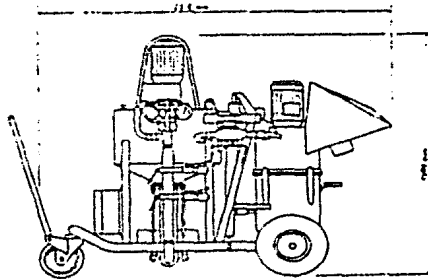
EQUIPO DE MEZCLADO Y BOMBEO MODELO MP-2000-5

Altura : 158,0 cm
Anchura : 76,0 cm hasta 108,0 cm
Longitud: 201,0 cm
Dimensiones de transporte: 201 cm x 76 cm X 129 cm
Peso : 350,0 kg
Presión máxima : 12,0 bares
Rendimiento de bombeo : 2000 l/h a 3 bares
Rendimiento práctico : 420,0 l/h
Alimentación : 220/380 V, 50 Hz
Potencia : 3,7 kW

Equipo de mezcla con bomba
Tipo MP 2000-5

Descripción:

Equipo móvil con telemando para la producción e inyección de mortero inyectado.



Anchura máx.: 1080 mm

ARMADURAS FREYSSINET
EL SISTEMA FREYSSINET MULTIALAMBRE
ANCLAJES
LA GAMA V
LA GAMA K
ANLAJES PASIVOS DE LA GAMA K
EQUIPOS DE INYECCION
EMPALMES
DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS
EL PRETENSADO DE FORJADOS

FREYSSINET

ARMADURAS FREYSSINET

• HILOS

Los hilos utilizados generalmente tienen diámetros comprendidos entre 5 y 12 mm.

• TORONES

Los torones, en principio, están constituidos por siete hilos de pequeño diámetro (del orden de 5 mm.), de los cuales seis están dispuestos en hélice alrededor de un hilo central ligeramente más grueso. Los torones

más corrientes tienen 13 mm. (0,5 pulgadas) y 15 mm. (0,6 pulgadas) aproximadamente de diámetro; se denominan respectivamente T-13 y T-15.

Es posible obtener en algunos países, torones sobre trefilados (torones Dyform), que son más compactos y presentan, para un mismo diámetro, una sección de acero más importante.

EL SISTEMA FREYSSINET MULTIALAMBRE

El sistema Freyssinet multialambre ha sido el primer sistema de postensión que se utilizó. El cable multialambre, constituido por 12 alambres paralelos, es muy simple y muy económico de fabricar y erigir en la vaina antes o después de su colocación. No es necesario imponer condiciones rigurosas de longitud de corte de cables.

El conjunto del cable se tesa en una sola operación mediante un gato

Freyssinet en el que se fija individualmente cada alambre. Las características fundamentales del sistema multialambre son: simplicidad, poca ocupación de espacio, tesado y anclado simultáneo de todos los alambres, economía.

Los elementos del anclaje como macho y cono hembra son ordinariamente de hormigón armado. En algunos países se dispone de conos machos fundidos o forjados.

TIPO DE ANCLAJE	FUERZA (kN) RG			PESO DEL CABLE kg/m	DIAMETRO INTERIOR DE LA VAINA mm	GATO DE PUESTA EN TENSION
	70 %	80 %	100 %			
12 F 5	260	297	372	1,9	30	U5*
12 F 7	480	549	686	3,7	40	U5, S7 CR
12 F 8	631	721	902	4,8	45	U5*, S7 CR

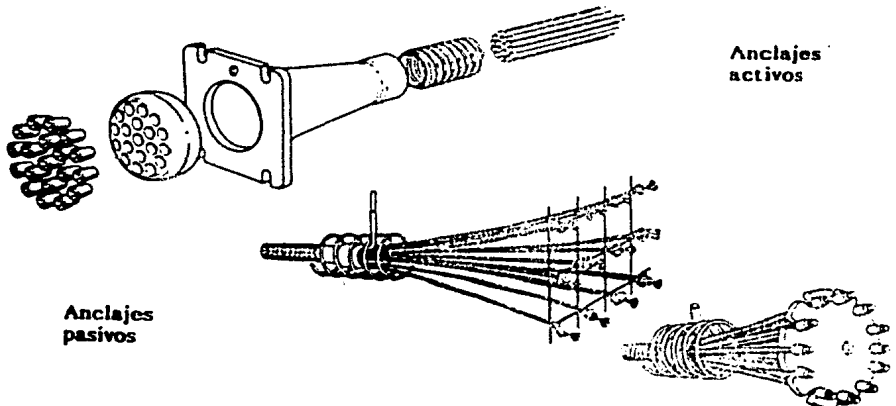
* Con adaptaciones especiales

Características nominales de los aceros

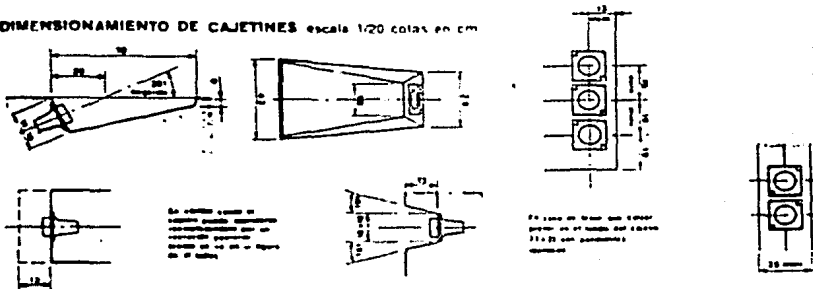
HILOS			TORONES		
DIAMETRO mm	RESISTENCIA kg/mm ²	PESOS kg/m	DIAMETRO mm	RESISTENCIA t (kN)	PESOS kg/m
5	162	0,155	12,7 (0,5")	18,7 (183)	0,8
7	152	0,3	15,2 (0,6")	25,5 (260)	1,13
8	152	0,4			

ANCLAJES

FUERZA DE ROTURA NOMINAL		COMPOSICION DE LA UNIDAD	TIPO DE ANCLAJE
t	kN		
18,7	183	1 torón de 12,7 mm	1 M 13
26,5	266	1 torón de 15,2 mm	1 M 15
37,4	366	2 torones de 12,7 mm	2 M 13
38	372	12 hilos de 5 mm	12 F 5
53	520	2 torones de 15,2 mm	2 M 15
70	686	12 hilos de 7 mm	12 F 7
79,5	780	3 torones de 15,2 mm	3 M 15
92	902	12 hilos de 8 mm	12 F 8
112,2	1.100	6 torones de 12,7 mm	6 V 13
130,9	1.284	7 torones de 12,7 mm	7 K 13
185,5	1.820	7 torones de 15,2 mm	7 K 15
224,4	2.201	12 torones de 12,7 mm	12 V 13
224,4	2.201	12 torones de 12,7 mm	12 K 13
318	3.119	12 torones de 15,2 mm	12 V 15
318	3.119	12 torones de 15,2 mm	12 K 15
355,3	3.485	19 torones de 12,7 mm	19 K 13
503,5	4.939	19 torones de 15,2 mm	19 K 15
504,9	4.953	27 torones de 12,7 mm	27 K 13
691,9	6.787	37 torones de 12,7 mm	37 K 13
715,5	7.018	27 torones de 15,2 mm	27 K 15
980,5	9.619	37 torones de 15,2 mm	37 K 15
1.028,5	10.089	55 torones de 12,7 mm	55 K 13

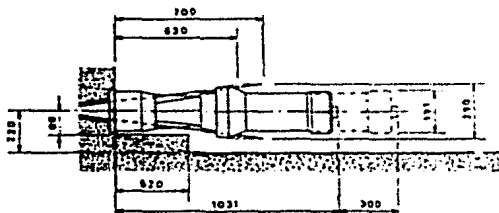


DIMENSIONAMIENTO DE CAJETINES escala 1/20 cotas en cm

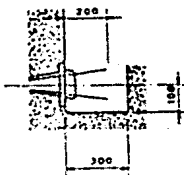


DIMENSIONES DEL GATO V 100

cotas en mm sin escala



ANCLAJE AUTOBLOCCADO



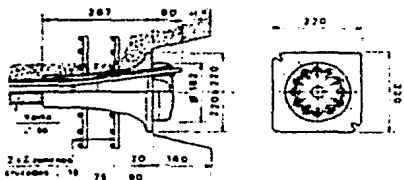
CARACTERISTICAS DEL GATO V 100

- * Fuerza del gato 108 t
- * Carrera máxima de tensión 300 mm
- * Sección de tensión 161 cm²
- * Sección de bloqueo 71 cm²
- * Sección de vaciado 78 cm²
- * Presión máxima de tensión 650 bars
- * Presión máxima de bloqueo 400 bars
- * Presión máxima de vaciado 300 bars
- * Peso del gato listo para tensar 146 kg

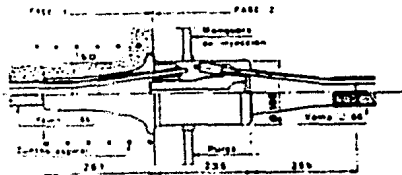
CABLE 6 T 13 (super)

- Composto de 6 brones
- de diámetro 0,5 pulg
- Cable toron fiado
- 4 pulg de diámetro x 7
- 1 pulg de diámetro x 2
- Área de la sección 592 mm²
- Peso por metro 12,5 kg

ANCLAJE ACTIVO 12 V 13 escala 1/10 cotas en mm

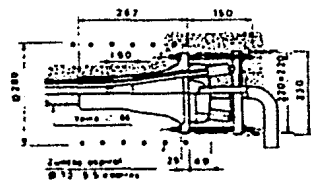


ACOPLADOR C 12 V 13

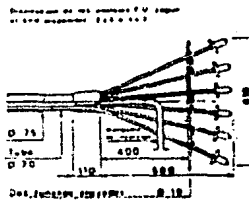


ANCLAJES FIJOS

ANCLAJE B 12 V 13

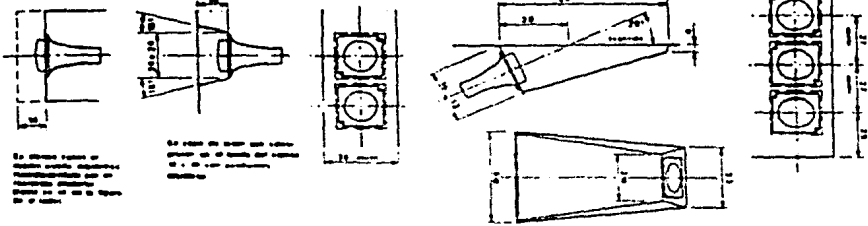


ANCLAJE B 12 V 13 E



FREYSSINET

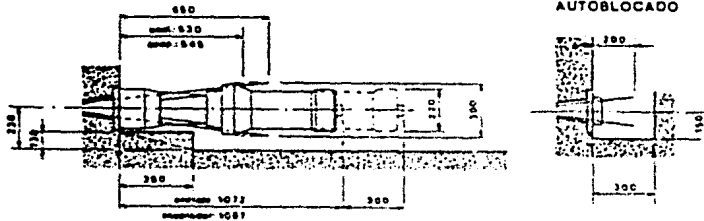
DIMENSIONAMIENTO DE CAJETINES escala 1/20 cotas en cm



DIMENSIONES DEL GATO V 200

cotas en mm sin escala

ANCLAJE AUTOBLOQUEADO



CARACTERÍSTICAS DEL GATO V 200

* Fuerza del gato	200 t
* Carrera máxima de tensión	200 mm
* Sección de tensión	300 cm ²
* Sección de bloqueo	78,5 cm ²
* Sección de vaciado	78,3 cm ²
* Presión máxima de tensión	650 bars
* Presión máxima de bloqueo	200 bars
* Peso del gato listo para tensar	110 kg

CABLE 12 T 13

Composición de 12 trenes
de diámetro 0,5 pulg
Cada tren tiene
6 hilos de diámetro 1,3
1 hilos de diámetro 1,7
Área de la sección: 1142 mm²
Peso por metro lineal: 9,36 kg

LA GAMA K

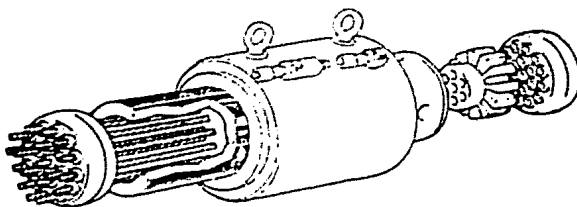
TIPO DE ANCLAJE	FUERZA (kN) RG			PESO DEL CABLE kg/m	DIAMETRO INTERIOR DE LA VAINA mm	GATO DE PUESTA EN TENSION
	70 %	80 %	100 %			
7 K 13	899	1.027	1.284	5,60	50	K-100
7 K 15	1.274	1.456	1.820	7,91	65	K-200
12 K 13	1.540	1.761	2.201	9,60	65	K-200
12 K 15	2.183	2.495	3.119	13,56	65	K-350
19 K 13	2.440	2.788	3.485	15,20	85	K-350
19 K 15	3.457	3.951	4.939	21,47	95	K-500
27 K 13	3.467	3.962	4.953	21,60	95	K-500
37 K 15	4.750	5.430	6.787	29,60	110	K-700
27 K 15	4.913	5.615	7.019	30,51	110	K-700
37 K 15	6.733	7.695	9.619	41,81	130	K-1.000
55 K 13	7.623	8.712	10.890	44,00	130	K-1.000

FREYSSINET

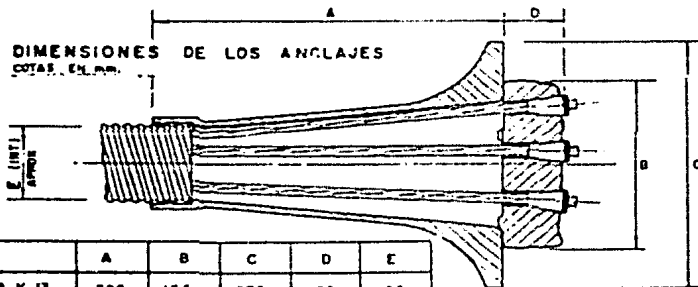
El sistema Monogrupo realiza la síntesis del método de anclaje por cuñas individuales, cuya fiabilidad ha sido probada por la experiencia y la técnica de puesta en tensión simultánea. Una combinación tal ofrece al ingeniero de proyectos la ventaja de poder seleccionar numerosos cables compactos y de gran potencia con

anclajes de pequeña penetración de cuña. Estos cables pueden ser tensionados en una sola operación y convienen a todas las estructuras pretensadas, en particular los cajones y edificios de contención de los reactores nucleares, para los cuales son ahora necesario cables de gran potencia.

Gato serie K

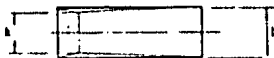
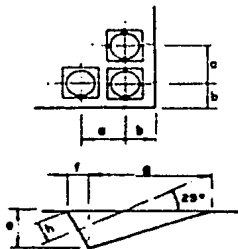


DIMENSIONES DE LOS ANCLAJES
COTAS EN M.M.



	A	B	C	D	E
19 K 13	290	185	270	60	85
27 K 13					
19 K 15	385	217,5	315	65	96
37 K 13					
27 K 15	435	260	365	80	110

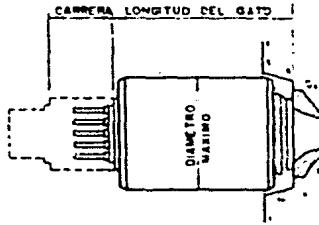
DIMENSIONAMIENTO DE CAJETINES



	19 K 13	27 K 13 19 K 15	37 K 13 27 K 15
a	325	375	450
b	200	235	275
c	350	500	550
d	125	140	150
e	380	480	550
f	180	210	255
g	1000	1280	1500
h	200	235	275
i	450	570	690
l	375	480	580

FREYSSINET

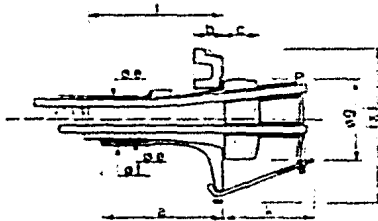
CARACTERISTICAS DE LOS GATOS



TIPO DE GATO	K 500	K 700	K 1000
FUERZA MAXIMA TOMELADAS	480	620	920
SECCION DE TENSION cm^2	766	980	1431
PRESION MAXIMA BARS.	600	620	625
SOBRELONGITUD PARA TESAR(mm)	900	970	1000
LONGITUD GATO CERRADO (mm)	900	990	1000
DIAMETRO MAXIMO (mm)	510	610	720
CARRERA (mm)	250	250	250
PESO GATO PREPARADO PARA TESAR	740	1090	1390

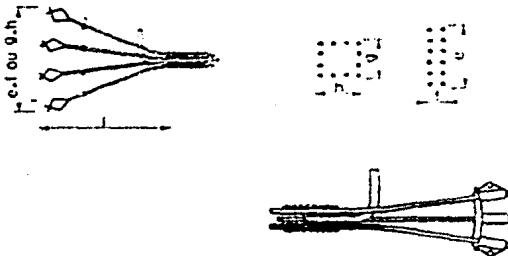
ANCLAJES PASIVOS DE LA GAMA K

TIPO B - con placa y trompeta



TIPO B' - con tromplaca

TIPO NE - con torones adherentes



FREYSSINET

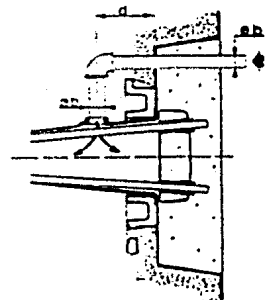
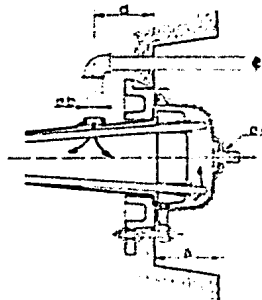
UNIDAD TIPO		a	b	c	c'	f	g	i	j	k	l
7 K 13 B'	4 K 15 B'	120	—	51	65	79	120	170	170	185	—
12 K 13 B'	7 K 15 B'	180	—	55	75	91	140	220	235	175	—
19 K 13 B'	12 K 15 B'	205	—	63	90	106	162	260	260	170	—
27 K 13 B'	19 K 15 B'	400	—	65	110	125	218	315	315	280	—
27 K 13 B	19 K 15 B	—	65	65	97	—	218	330	370	240	455
37 K 13 B	27 K 15 B	—	75	78	117	—	252	400	450	230	470
55 K 13 B	37 K 15 B	—	70	95	143	—	320	495	495	245	488

U. TIPO	a	f	g	h	i	U. TIPO	a	f	g	h	i
7 K 13 NE	370	70	170	190	1240	4 K 15 NE	390	90	190	210	950
12 K 13 NE	355	190	310	270	1240	7 K 15 NE	450	90	210	230	1300
19 K 13 NE	470	190	310	390	1280	12 K 15 NE	430	230	390	330	1300
27 K 13 NE	670	220	470	430	1260	19 K 15 NE	570	230	390	470	1300
37 K 13 NE	870	310	570	430	1680	27 K 15 NE	810	280	570	510	1700
55 K 13 NE	1170	350	670	550	1950	37 K 15 NE	1050	370	690	510	2000

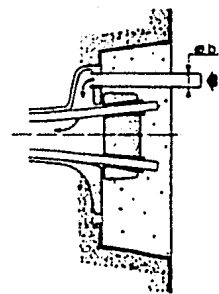
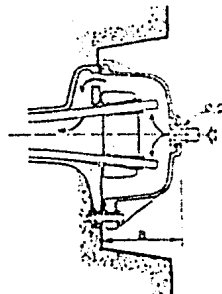
Cotas en mm

EQUIPOS DE INYECCION

Anclajes TIPO A



Anclajes TIPO A'



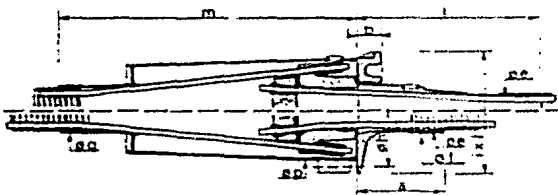
FREYSSINET

UNIDAD TIPO	VAINAS diám. exterior interior mm	INYECCIÓN diámetro roscas U=	CEMENTO esp. (kg) roscas L/m	a	b	c	d
7 K 13	50	1.3	2	117	G 3/4"	29	—
12 K 13	65	2	3	117	G 3/4"	29	—
19 K 13	75	2.2	3.3	125	G 3/4"	29	—
27 K 13	90	3.1	4.7	130	G 1"	—	140
37 K 13	110	5	7.5	165	G 1 1/2"	—	155
55 K 13	130	6.5	9.8	165	G 1 1/2"	—	150
4 K 15	50	1.4	2.1	117	G 3/4"	29	—
7 K 15	60	1.7	2.6	117	G 3/4"	29	—
12 K 15	75	2.3	3.5	125	G 3/4"	29	—
19 K 15	90	2.9	4.4	130	G 1"	—	140
27 K 15	110	4.5	6.8	165	G 1 1/2"	—	155
37 K 15	130	6.4	9.6	165	G 1 1/2"	—	150

Cotas en mm

EMPALMES

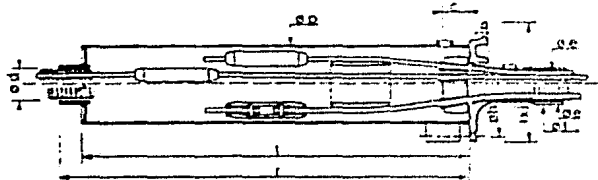
TIPO C - con placa y trompeta



TIPO C' - con tromplaca

Cotas en mm

TIPO C1 - con placa y trompeta



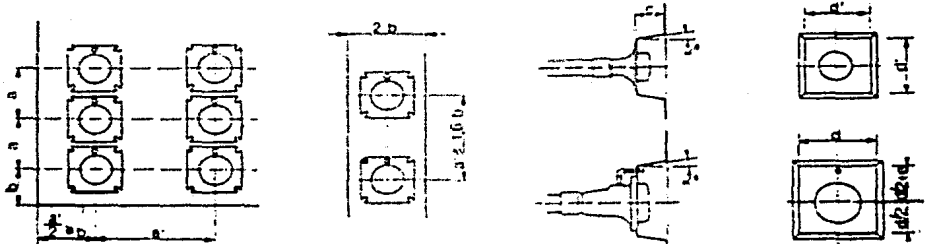
TIPO C'1 - con tromplaca

FREYSSINET

UNIDAD TIPO		a	b	c	f	h	j	l	m	p	q	
7 K 13 C'	4 K 15 C'	130	—	65	79	190	170	170	—	580	205	68
12 K 13 C'	7 K 15 C'	180	—	75	91	254	220	235	—	680	230	78
19 K 13 C'	12 K 15 C'	205	—	90	106	300	260	260	—	690	248	93
27 K 13 C'	19 K 15 C'	400	—	110	126	352	315	315	—	910	313	113
27 K 13 C	19 K 15 C	—	65	97	—	352	330	370	455	910	313	113
—	27 K 15 C	—	75	117	—	440	400	450	470	1010	368	133

UNIDAD TIPO		c	d	e	f	h	j	p	r	t		
7 K 13 C'	4 K 15 C'	50	65	65	79	190	170	170	140	870	835	
12 K 13 C'	—	—	55	75	75	91	254	220	235	193	1220	1175
—	7 K 15 C'	55	75	75	91	254	220	235	159	920	875	
19 K 13 C'	12 K 15 C'	63	90	90	106	300	260	260	193	1300	1240	
27 K 13 C'	19 K 15 C'	65	110	110	126	352	315	315	244	1350	1270	
27 K 13 C	19 K 15 C	65	110	97	—	352	330	370	244	1350	1270	
37 K 13 C	27 K 15 C	76	130	117	—	440	400	450	273	1460	1380	
55 K 13 C	37 K 15 C	92	140	123	—	440	495	495	356	1810	1500	

DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS



Coras en mm

UNIDAD TIPO		$f_{ck} = 33$		$f_{ck} = 28$		$f_{ck} = 23$		c	d'	d	e	d'
		a	b	a	b	a	b					
7 K 13	4 K 15	180	130	200	150	220	170	110	220	—	—	10
12 K 13	7 K 15	240	175	260	200	280	220	120	270	—	—	10
19 K 13	12 K 15	300	220	320	240	340	260	125	300	—	—	10
27 K 13	19 K 15	380	270	410	300	440	340	125	370	420	40	10
37 K 13	27 K 15	460	330	490	360	520	400	145	—	590	20	30
55 K 13	37 K 15	540	380	560	460	550	440	160	—	620	20	30

f_{ck} en N/mm^2

FREYSSINET

EL PRETENSADO DE FORJADOS

Los anclajes Freyssinet, para uno y dos torones están particularmente utilizados para el pretensado de las losas de forjado y techo. Frecuentemente utilizados para las losas de solado de edificios industriales a fin de compensar las variaciones del subsuelo, o las condiciones de carga, son igualmente apropiados para los

inmuebles donde luces más grandes o disminución de cantidades de materiales permiten una economía sustancial de la construcción. Los anclajes están concebidos con accesorios diversos, para ser utilizados con torones engrasados o inyectados con lechada de cemento.

UNIDADES PARA CABLES INYECTADOS

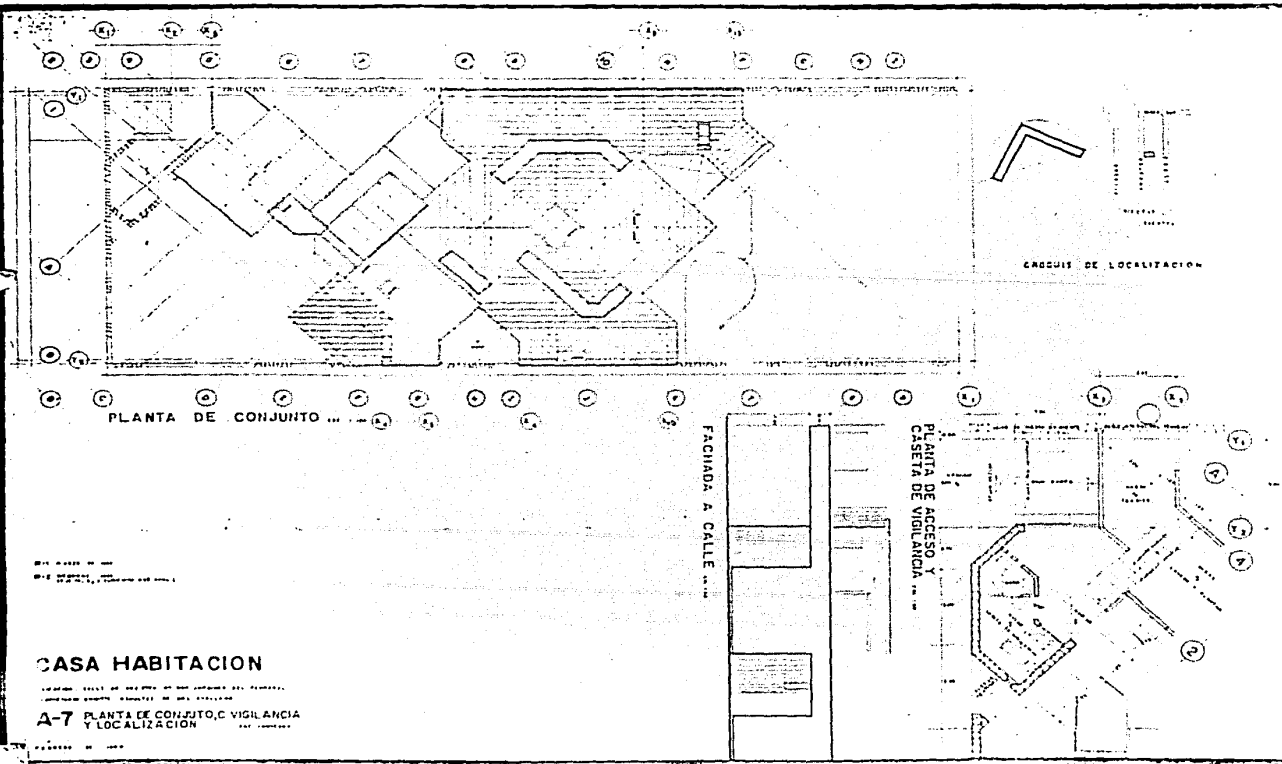
TIPO DE ANCLAJE	FUERZA (kN) RG			PESO DEL CABLE kg/m	DIAMETRO INTERIOR DE LA VAINA mm	GATO DE PUESTA EN TENSIÓN
	70 %	80 %	100 %			
1 M 13°	128	146	183	0,80	25	M23 (SC-2)
1 M 15°	182	208	260	1,13	30	M23 (SC-2)
2 M 13°	256	292	366	1,60	**	M23 (SC-2)
2 M 15°	364	416	520	2,26	**	M23 (SC-2)
3 M 15	546	624	780	3,39	22 x 58	M23 (SC-2)

* Se trata del mismo anclaje que en la tabla precedente para monotorones engrasados con accesorios que permiten la inyección.

** Vaina oblonga.

UNIDADES PARA TORON ENGRASADO

TIPO DE ANCLAJE	FUERZA RG (kN)			GATO DE PUESTA EN TENSIÓN
	70 %	80 %	100 %	
1 M 13	128	146	183	M23 (SC-2)
1 M 15	182	208	260	M23 (SC-2)
2 M 13	256	292	366	M23 (SC-2)
2 M 15	364	416	520	M23 (SC-2)



CARRUIS DE LOCALIZACION

PLANTA DE CONJUNTO

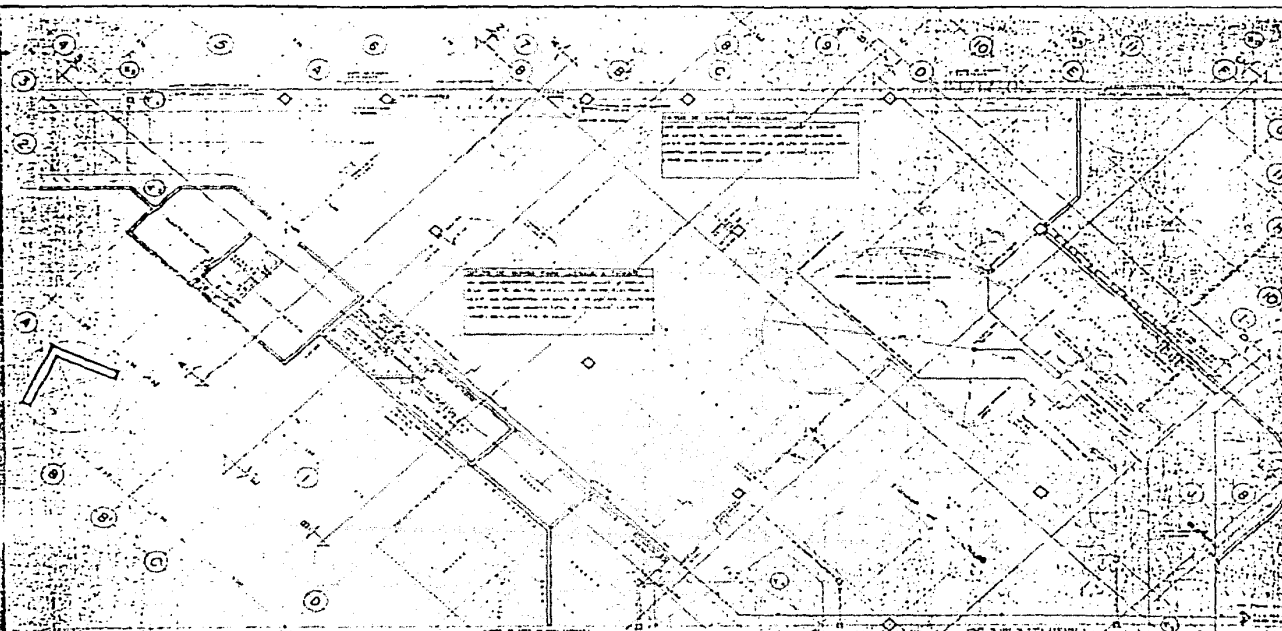
FACIADA A CALLE

PLANTA DE ACCESO Y CASITA DE VIGILANCIA

CASA HABITACION

LEGENDA:
 - - - - - MUR DE CEMENTO
 - - - - - MUR DE LADRILLO
 - - - - - PUERTA
 - - - - - VENTANA

A-7 PLANTA DE CONJUNTO, C. VIGILANCIA Y LOCALIZACION

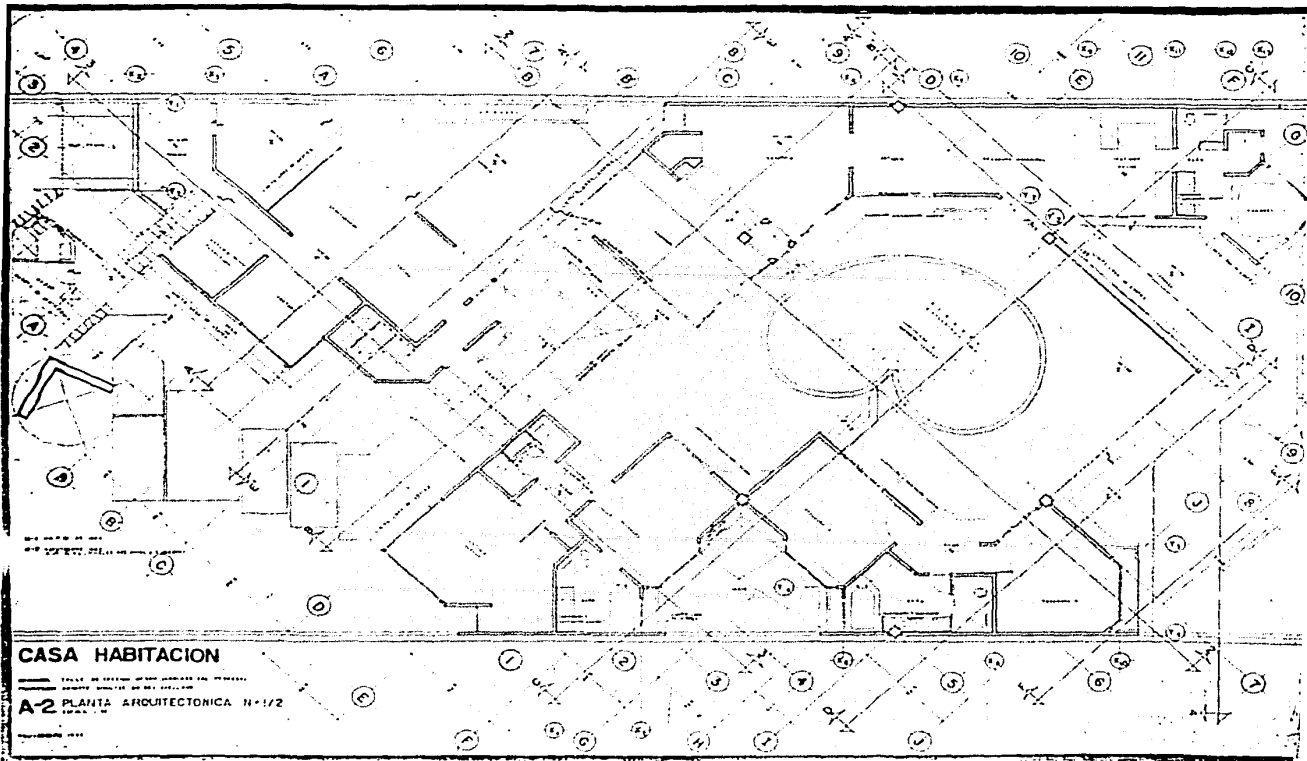


CASA HABITACION

NOTA: Ver Estructuras e Instalaciones en Plano Detallado

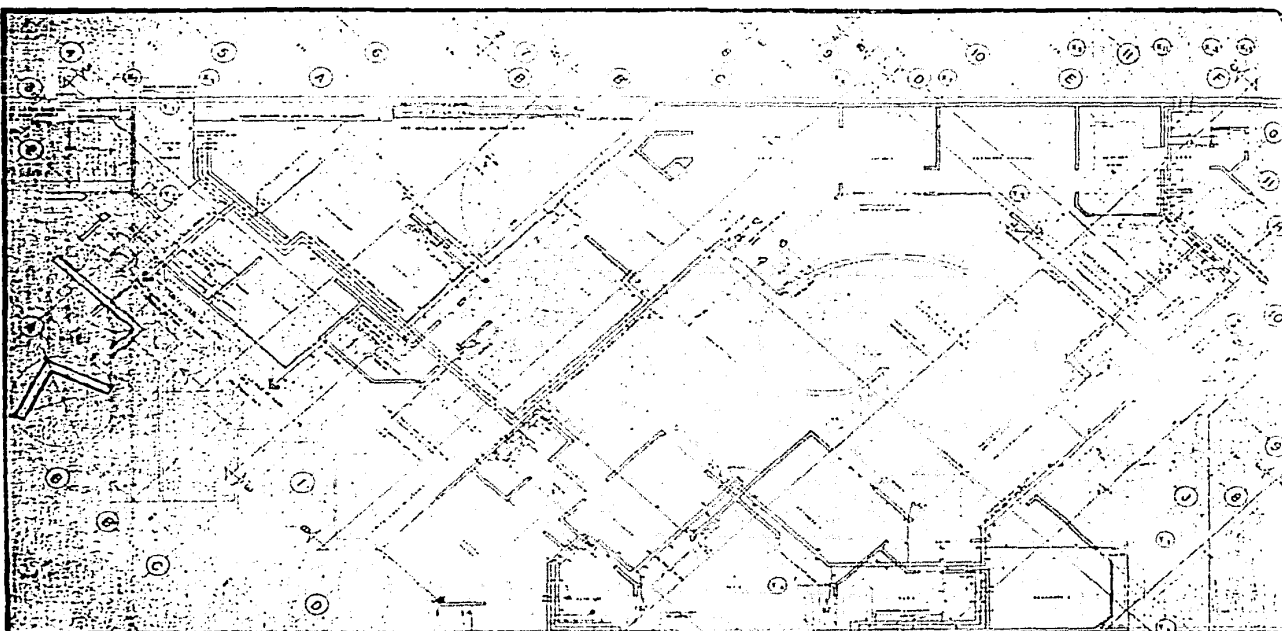
A-1 PLANTA DE ESTACIONAMIENTO N-1/2

ESTACION MIERA LICA 11-2



CASA HABITACION

PROYECTO DE ARQUITECTURA
A-2 PLANTA ARQUITECTONICA N-1/2



CASA HABITACION

NOTA: Ver Estructura e Instalacion de Placa de

A-2 PLANTA ARQUITECTONICA N° 1/2

INSTALACION HIDRAULICA 14-31