

ALAMBRES DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA

FERNANDO BLASCO L.
Investigador del I.E.E.

1.—FUNCION DEL ACERO EN EL PRETENSADO

La idea del pretensado, como ya se ha dicho, no se refiere a un perfeccionamiento del hormigón armado, aun cuando a menudo se confunden ambos materiales.

En forma directa, en una barra de hormigón armado trabajando a flexión, el acero, ubicado estratégicamente, se encarga de equilibrar las tracciones. A medida que ellas se producen, el acero que inicialmente está en reposo (sin tensión alguna) va adquiriendo carga y recorre diversos estados elásticos hasta una eventual ruptura por tracción. Si se tratara sólo de un perfeccionamiento de uno de los materiales (hormigón o acero) o de ambos, el fenómeno físico sería idéntico desarrollándose en otras escalas.

La denominación genérica de "pré-contrainte" dada por Freyssinet a este nuevo grupo de materiales debe ser entendida como pre-esforzado. (Piezas o miembro estructural en un estado inicial inerte y al cual se le incorpora un esfuerzo de magnitud considerable que somete sus moléculas a una compresión permanente). Los términos pretensado o post-tensado se refieren sólo a los ingeniosos sistemas mecánicos utilizados para estirar el acero, que será el vehículo a través del cual transmitiremos a nuestro objetivo, la energía de compresión.

Sería indiferente que el acero en las piezas "pré-contrainte" estuviera incluido o fuera exterior a ellos. En el fondo, sería indiferente incluso, que hubiera o no acero, ya que también una pieza puede ser comprimida en una prensa, o aplicando el método para las estructuras "no dilatables" de Freyssinet, una gran masa de hormi-

gón puede ser comprimida introduciendo en ella un "gato plano" que, al dilatarse por presión hidráulica empujando a las masas de hormigón hacia sus anclajes indeformables, comprimen fuertemente el material.

El acero en el hormigón pretensado se tensa antes del vaciado y endurecimiento del hormigón. En el post-tensado, el acero se coloca y se tensa después que el hormigón ha endurecido. En ambos casos, el acero es depositario de una cantidad de energía que cede al hormigón a través de sus anclajes, mucho antes que la viga o la losa comiencen a realizar trabajo estático. Interesa por lo tanto, que el acero posea una gran resistencia a rotura por que ello significará economía; interesa un amplio margen de elasticidad a fin de que el mayor porcentaje del esfuerzo del acero se transmita al hormigón; se precisa, por último, una calidad uniforme, un diámetro exacto, una adherencia perfecta.

2.—ACEROS

El desarrollo del pretensado trajo como consecuencia crear una especialidad dentro del ramo de producción de aceros cuyas bases primordiales son:

- a) absoluta seguridad contra la rotura;
- b) absoluta seguridad a la producción de deformaciones persistentes;
- c) alta resistencia a la tracción;
- d) alto límite de elasticidad;
- e) alta adherencia con el hormigón;
- f) gran tenacidad a los ensayos de doblado en frío.

a) *Alambres de acero o barras laminadas en caliente.*—(Fil Machine) Son aceros que generalmente poseen de

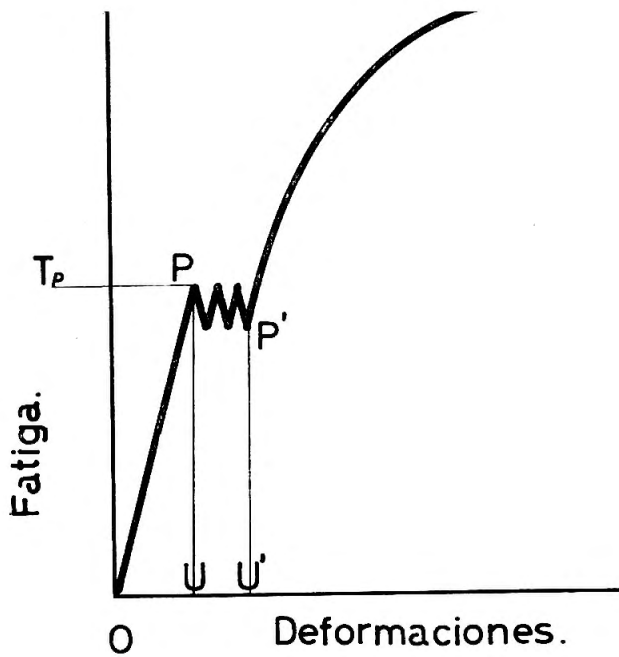


Fig. 1

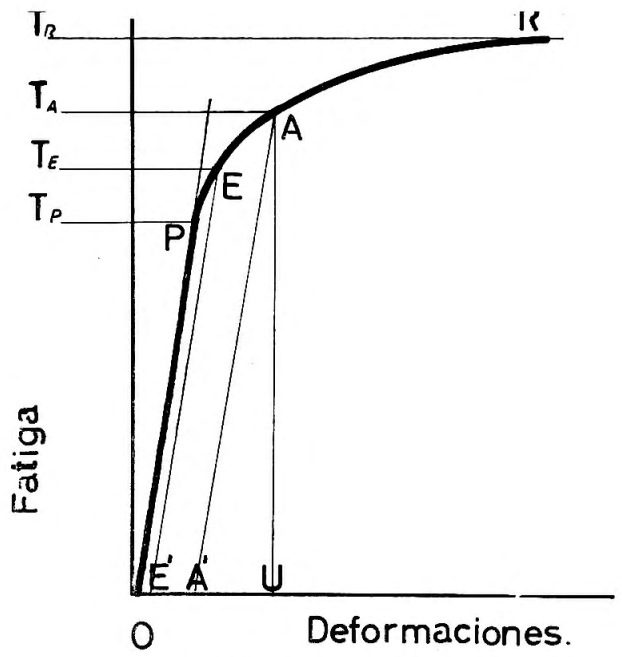


Fig. 2

0,6 a 0,8% de carbono. Se confeccionan en diámetros de 5 a 12 mm. en forma de barras o tubos, aunque comúnmente se utilizan hasta 10 mm. Su resistencia a la rotura y límite elástico es inferior a otros tipos de aceros fabricados para estos fines.

85 a 100 Kg/mm², carga de rotura
6 a 80 Kg/mm², límite elástico

Debido a su pequeño límite elástico, sólo permite tensiones insuficientes. Como consecuencia, sólo se usa por motivos de economía en armaduras de gran sección transversal.

b) *Alambres templados o tratados.*— Al salir del tren de laminación el Fil Machine se somete a diferentes tratamientos, tanto térmicos como mecánicos en frío; laminación o estiramiento o bien ambos; estos aceros se denominan “Fil Machines tratados”.

Se confeccionan en diámetros de 5 a 8 mm. A partir de estos diámetros, se les normaliza para quitarles las tensiones de acritud de laminación. El tratamiento consiste esencialmente en calentarlos, haciéndolos pasar por un horno continuo (resistencias eléctricas) hasta elevar la T° del alambre en 900 a 950° C. A la salida del horno se sumergen en un baño de plomo a 400° C; luego son enfriados al aire.

Con este tratamiento se logran aumentos de resistencia de la rotura de

un 25 a 30% y límite elástico en 40 a 50%.

150 Kg/mm², resistencia de rotura
125 Kg/mm², límite elástico
10% alargamiento

Podemos clasificar en otro grupo el “*Fil Machines Patentado*” aceros que contienen una adición de 1,4 a 1,5% de manganeso que tratado térmicamente permite obtener alambres de 5 a 7mm. de diámetro con mayores cualidades.

170 Kg/mm², resistencia de rotura
150 Kg/mm², límite elástico
6% alargamiento

Los “*Fil Machines Patentados*” son más baratos que los aceros trefilados, pero tienen el inconveniente de estar ovalados más o menos 4% de C. diámetro medio.

c) *Alambres trefilados.*— Se confeccionan a partir de los “*Fil Machines Tratados*” se trefilan hasta el diámetro deseado sin producir acritud. Como en este último paso se ondula o corruga, se presentan pequeñas tensiones, que se evitan calentando de nuevo el alambre a T° de 200° C en hornos continuos. Es enfriado y enrollado a la salida en bobinas más o menos de 1,70 mts. de diámetro, con lo cual, al desarrollarlos quedan rectos eliminándose sus tensiones.

Estos aceros tienen un límite elástico tanto más elevado cuando menor es su diámetro y se confeccionen de 2 a 7 mm.

Los aceros de 2 mm. poseen:

220 Kg/mm², a la rotura;
180 Kg/mm², límite elástico, y los de 5 a 7 mm.:
140 a 160 Kg/mm², a la rotura
110 a 125 Kg/mm², límite elástico
Alargamiento 9 a 10%

d) *Cables de acero.*—Se forman, al agrupar convenientemente y sin trenzar un número variable de alambres delgados de acero de alta resistencia y en diámetros comprendidos entre 5 y 10 mm. Se usa en los sistemas de post-tensados, siendo los más utilizados, los de Freyssinet y Magnel.

e) *Características de los aceros.*—En general, las deformaciones se llevan en abscisas y las tensiones de tracción en ordenadas. (Figs. 1 y 2).

En los aceros duros al apreciar las variaciones del alargamiento unitario

AL

$U = \frac{\text{AL}}{L}$ en función a la tensión de

tracción T, no aparece el escalafón de plastificación PP' que en los aceros blandos define aparentemente el límite elástico. Las curvas de los aceros duros no presentan discontinuidad, son regulares.

Se puede observar una recta OP y una curva PR donde las ordenadas tienen un máximo valor R. Este máximo R indica la carga de rotura.

A la tensión representada por la ordenada P, en TP se denomina límite de proporcionalidad. Bajo Tp todas las medidas pueden definirse como perfectamente elásticas, o sea, las líneas de carga y descarga, están superpuestas y no presentan alargamiento posterior a la descarga.

La pendiente de la recta OP' es el módulo de elasticidad del acero.

El coeficiente o módulo de elasticidad en el período de proporcionalidad tiene un valor medio de 21.000 Kg/mm² encontrándose valores de 18.000 a 23.000 Kg/mm² en algunas probetas.

Cuando la tensión sobrepasa el lí-

mite de proporcionalidad, su punto representativo describe la curva PR.

f) *Límite elástico.*—Ha sido definido por la "AFNOR" (Association Française de Normalization), como la tensión Te para la cual el alargamiento OE' medido tras una carga de 10 segundos de duración, seguido de descarga, es de 0,2%. Esta determinación es convencional pues se contradice con algunas objeciones, por ser difícil de normalizar los tiempos de permanencia de diversas cargas. Se sabe experimentalmente que más allá de cierta carga, siempre inferior al límite de elasticidad convencional, los aceros sufren alargamientos plásticos que no alcanzan de golpe su valor definitivo. Ello se puede comprobar por curvas de alargamiento, carga que es diferente para ensayos ejecutados rápida o lentamente.

3.—PERDIDA DE TENSION O DEFORMACIONES DEL ACERO

El esfuerzo total de tensión aplicado a los alambres no es totalmente transferido a la pieza de hormigón. En efecto, se ha constatado una ligera relajación de los alambres de acero algún tiempo después de terminado el proceso de estiramiento.

Por otra parte, el gato tensor retrocede ligeramente al término de la carrera prefijada como tensión máxima, en los breves segundos que anteceden al bloqueo; el material mismo de los conos, fuertemente solicitado "fluye" en cierta medida proporcionando una nueva pérdida de tensión.

El trazado curvo de los cables origina rozamiento entre ellos y su vaina, lo que también representa perder parte de la tracción ejecutada sobre ellos y medida con el manómetro.

Existen pues, diferentes pérdidas que pueden ser evaluadas en la confección del proyecto y poseyendo claridad sobre la naturaleza del acero utilizado. Grosso modo, la suma de todas ellas representa de un 18 a 20% del total de la tensión aplicada.

Las observaciones realizadas durante muchos años y el estudio analítico

de los anclajes prescritos que ha permitido la conclusión anterior, demuestra la gran eficacia de esos sistemas. Sin esta seguridad fundamental, no habría sido posible el impresionante avance del "précontrainte".

A) Podríamos definir como pérdidas de esfuerzo inmediata:

a) La caída de esfuerzo o tensión producida por rozamiento a lo largo de los cables.

b) Pérdida por rozamiento en el gato y anclajes.

c) En los casos de post-tensado en los cuales los anclajes son confeccionados en hormigón, se producen pérdidas por deformaciones plásticas de ese material.

d) Caídas de tensiones en los anclajes mediante cuñas, debido a pequeños deslizamientos del acero.

B) *Deformaciones lentas*.—Si un alambre es tensado y se fijan sus extremos, la tensión disminuye con el tiempo. Esta pérdida de tensión se denomina relajamiento.

En experiencias realizadas, su valor límite se alcanza al cabo de 15 a 20 días siendo la velocidad de este fenómeno muy rápida en sus comienzos ya que, a las 120 horas, ha experimentado los 2/3 de esta deformación límite.

Si un alambre se mantiene a tensión constante sobre más o menos la mitad de su límite elástico, se produce un alargamiento lento. A este fenómeno se le denomina *fluencia o deformación diferida*.

Para tensiones iniciales inferiores al límite de proporcionalidad, no existe deformación diferida apreciable.

La literatura sobre este tema recomienda no aceptar aceros cuyo límite elástico AFNOR sea inferior a los 8/10 de la resistencia a la rotura.

La tensión permanente no debe exceder a los 2/3 de la resistencia a la rotura.

Ejemplo:

Un acero con resistencia de 180 Kg/mm² a la ruptura, no debe aceptarse si su límite elástico AFNOR es inferior a 145 Kg/mm² y nunca se le impon-

drán tensiones permanentes superiores a 120 Kg/mm².

4.—ANCLAJE POR ADHERENCIA

El acero en el concreto pretensado sirve para establecer un pre-esfuerzo de compresión y ayudar a resistir el momento flector aplicado. Después que el concreto ha alcanzado suficiente resistencia, se suelta el acero previamente tensionado, transmitiéndose los esfuerzos de tensión al concreto por adherencia.

La capacidad del acero para ser anclado por adherencia no varía mucho con su diámetro, cuando este fluctúa entre 2,5 y 7 mm. La longitud de empotramiento es ligeramente mayor, conforme el diámetro del alambre aumenta.

Se debiera esperar una adherencia mayor al aumentar la resistencia a la compresión, pero la adherencia entre el acero y el concreto es un fenómeno de fricción. Sin embargo, la calidad del concreto modifica su capacidad para sostener la presión radial que resulta del aumento del diámetro al ser soltado el alambre tensionado.

El alambre oxidado desarrolla completamente la transferencia del pre-esfuerzo mucho más rápidamente que el alambre limpio.

Los ensayos de Bert y Graff, a principios de siglo, demostraron que la adherencia mejoraba cuando las barras de acero ordinario estaban superficialmente oxidadas; pero investigadores recientes dicen no haberlo confirmado por las experiencias desarrolladas sobre alambres delgados sometidos a elevadas tensiones.

Los tratamientos químicos para aumentar la aspereza de la superficie de las armaduras no han tenido éxito y sólo han conseguido debilitar la resistencia final de los aceros tratados.

Por el contrario, la inclusión de resaltos, rugosidades, así como el trenzado de los aceros, ha conducido a un positivo incremento en la adherencia.

Los Ingenieros soviéticos Ratz, Holmjanski y Kolner han desarrollado una amplia serie de ensayos con el fin de determinar la influencia que,

sobre la adherencia, ejercen las diferentes variables.

Las conclusiones son las siguientes:

La calidad del hormigón medida como resistencia en compresión, parece tener una importancia decisiva en la correcta unión del acero con el hormigón. De acuerdo con los resultados obtenidos sobre las 200 probetas por ellos ensayadas, las longitudes, o con más propiedad los deslizamientos observados entre el hormigón y la armadura, bajo las distintas cargas aplicadas son, de manera aproximada inversamente proporcionales a las resistencias del hormigón.

La adherencia de las barras corrugadas es naturalmente mayor que las de las lisas. Cuanto mayor es la altura de los resaltos, mejor es la adherencia conseguida. Se considera que una altura de resalte igual al 5% del diámetro, es la más eficaz. Con alturas mayores la adherencia mejora, pero no en la proporción con que aumenta en el caso de altura de resaltos inferiores.

Una mejora de 120Kg/cm² en la calidad del hormigón, equivale a aumen-

tar al cuádruple la altura de los resaltos. La separación de los salientes tiene una influencia semejante a la altura. Para obtener una misma adherencia, deberá ser doble la altura de los resaltos doblemente espaciados.

Las armaduras tipo Isteg, formadas por alambres trenzados, tienen la misma adherencia que si los alambres estuvieran separados.

Los cables compuestos por 7 alambres de 1,6 mm. de diámetro tienen las mismas propiedades de adherencia que los aceros corrugados de 3 a 4 mm., con altura de resaltos de 0,2 mm. separados a 8 mm., excepto para los hormigones de alta calidad, en cuyo caso la adherencia de los cables es menor que la de dichas barras corrugadas.

Las longitudes de anclaje expresadas en centímetros necesarias para poder contar con la plenitud de los esfuerzos de pretensado, en función de la tensión inicialmente introducida en los alambres y de la calidad del hormigón son las siguientes:

Longitudes de anclaje en cm.

Tabla N° 1
LONGITUDES DE ANCLAJE, EN CENTIMETROS

	Tensión del alambre (kg/cm ²)	Resistencia del hormigón		
		200 kg/cm ²	300 kg/cm ²	400 kg/cm ²
Alambre liso Ø 3mm	6.000	36	18	9
Alambre liso Ø 3mm	8.000	38	20	10
Alambre liso Ø 3mm	10.000	41	23	13
Alambre corrugado Ø 4mm	8.000	30	18	12
Alambre corrugado Ø 4mm	10.000	31	19	13
Alambre corrugado Ø 4mm	12.000	32	20	14
Alambre corrugado Ø 5mm	8.000	51	29	22
Alambre corrugado Ø 5mm	10.000	56	33	26
Alambre corrugado Ø 5mm	12.000	60	38	32
Cable trenzado de 2 Ø 2,6	8.000	27	12	5
Cable trenzado de 2 Ø 2,6	10.000	31	15	6
Cable trenzado de 2 Ø 2,6	12.000	36	18	8
Cable trenzado de 7 Ø 1,6	8.000	40	23	15
Cable trenzado de 7 Ø 1,6	10.000	43	26	17
Cable trenzado de 7 Ø 1,6	12.000	47	30	20

Todas estas longitudes representan, como ya se ha indicado, la distancia que media entre la cara extrema de la pieza y el punto o sección donde la armadura alcanza su tensión de régimen. Dicho de otro modo, indican la longitud de armadura necesaria pa-

ra la total transmisión del esfuerzo de pretensado al hormigón.

5.—ANCLAJE MECANICO

Si bien es cierto que la transferencia del esfuerzo del acero estirado al

hormigón mediante la adherencia entre ambos materiales es directamente comprensible, también lo es de manera intuitiva su eficacia.

No ocurre lo mismo cuando los alambres estirados que en el caso de post-tensado están colocados en vainas y son físicamente independientes del hormigón, se anclan mediante dispositivos mecánicos al material previamente endurecido.

Sobre estos sistemas de anclaje recae la total responsabilidad de mantener la pieza comprimida. Su desarrollo y perfeccionamiento ha permitido la simplificación de sus diseños, algunos de los cuales pasamos a describir.

Si se trata de vigas post-tensadas, los cables parten de una cabeza, recorren el cuerpo de la viga (Fig. 3) y emergen en la cabeza opuesta. (La trayectoria es en general una parábola).

Los anclajes, en ambas cabezas, crean una zona de concentración de tensiones cuya área crítica debe ser calculada descontando los huecos debidos a los cables.

En términos generales, la zona de anclaje se define mediante el estudio de los esfuerzos allí producidos, armando el hormigón con estribos y zunchado.

La industrialización del hormigón pre y post-tensado ha debido desarrollar diversos elementos de anclaje, así como las máquinas-herramientas de la puesta en tensión.

Los elementos de anclaje son individuales o múltiples, así se utilizan en alambres aislados o en haces de alambres constituyendo cables.

Los alambres aislados se anclan automáticamente haciéndolos pasar por una especie de mandril de taladro compuesto por tres piezas a su vez en una camisa cilíndrica por dentro.

Estas piezas son fabricadas con acero duro.

Al iniciarse el tensado, el alambre es solicitado en el sentido A B (Fig. 4). Las mandíbulas cónicas se separan permitiendo la deformación elástica. Cuando finaliza el tensado, el gato entra en un ligero relache.

La reacción consiguiente mueve el alambre de B A arrastrando las piezas

del cono partido hacia la convergencia del cono hembra. Las mandíbulas se cierran cuanto mayor es la magnitud del esfuerzo de recuperación elástica, anclando firmemente el alambre entre ellas. Este anclaje será permanente y una vez cortado el excedente de alambre, deberá cubrirse con mortero.

El ya clásico concepto de anclaje Freyssinet, constituye junto a los gatos hidráulicos de doble acción, el más popularizado sistema de tensión de haces de cables.

En este caso existe un cono hembra con tantas estrías interiores como cables constituyen el haz. El cono macho provisto también de igual número de estrías se inserta a mano en el cono hembra y finalmente, después de la tensión de los alambres es bloqueado por el vástago de rechazo del gato aplicado directamente sobre él. (Figura 5).

En el sistema Freyssinet, los conos se han fabricado de hormigón de grava fuertemente armados con zunchado helicoidal de acero, para haces de 8, 10 y 12 alambres.

El acuíñamiento de los alambres da origen a tensiones considerables en los conos que sobrepasan a veces los 1000 Kg/cm². lo que obliga a una concienzuda selección de materiales y a una cuidadosa fabricación. Los conos Freyssinet pueden obtenerse junto con el equipo de tensar, por importación.

6.—EXTRACTO DE NORMAS INTERNACIONALES

1.—Condiciones que deben satisfacer los aceros:

a) Los diagramas de esfuerzo-deformación deberán mostrar:

Módulo elástico en el origen.

Límites convencionales 0,1% y 0,2% de deformación permanente.

Carga y alargamiento de rotura.

El alargamiento considerado será el que corresponde a la caída de la pendiente de "la curva después de la rotura". Este se expresará en milímetros mediante la fórmula:

$$b = 50 + 10 \varnothing$$

(Siendo \varnothing el diámetro en milímetros; para las secciones no circulares el término $10 \varnothing$ será sustituido por la expresión $11,3 S$ representando S la sección en mm^2).

b) Resistencia al doblado alternativo. La prueba se verificará según los procedimientos previstos en las tablas UNI 1482-84, sobre un pasador que tenga un diámetro cuádruple del alambre que se prueba; en los alambres con sección no circular, se considerará el diámetro equivalente.

c) (Optativa).

Resistencia a la torsión alternada, hecha en una longitud de alambre de $50 \varnothing$ o longitud equivalente.

Resistencia a la fatiga (repetición de esfuerzos) variando su intensidad en forma ondulada.

d) Relajamiento a las 120 horas.

2.—Límites impuesto a los valores medios de las diferentes características:

a) La relación entre la carga de rotura y el límite convencional al 0,2% debe permanecer siempre superior, o cuando menos igual a 1,1.

b) Alargamiento a la rotura por relajamiento: debe ser superior o igual al límite fijado en tanto por ciento por la expresión: $2,25 + 0,20 \varnothing$ (siendo \varnothing el diámetro del alambre en milímetros).

Para las trenzas de alambre esta norma se aplica al diámetro de un solo alambre de los que la forman.

c) Doblado alternativo. El acero deberá poder sufrir sin romperse cuando menos cuatro dobleses.

d) En caso que sea obligatoria la prueba de fatiga ondulatoria el margen de seguridad disponible, respecto a las oscilaciones que la carga experimenta en la obra, debe resultar cuando menos igual a dos.

e) En las pruebas que se produzca la rotura de la muestra se observará el aspecto de la fractura. En caso que sea una fractura que manifiesta fragilidad será obligatoria hacer pruebas de fatiga ondulatoria y torsión alternativa.

3.—Norma para el ensaye de materiales:

El fabricante deberá presentar los certificados de laboratorio de las pruebas que se hagan para controlar su calidad con la frecuencia siguiente:

Para todos los carretes: diámetro y carga de rotura.

Para cada 10 carretes: alargamiento y doblado.

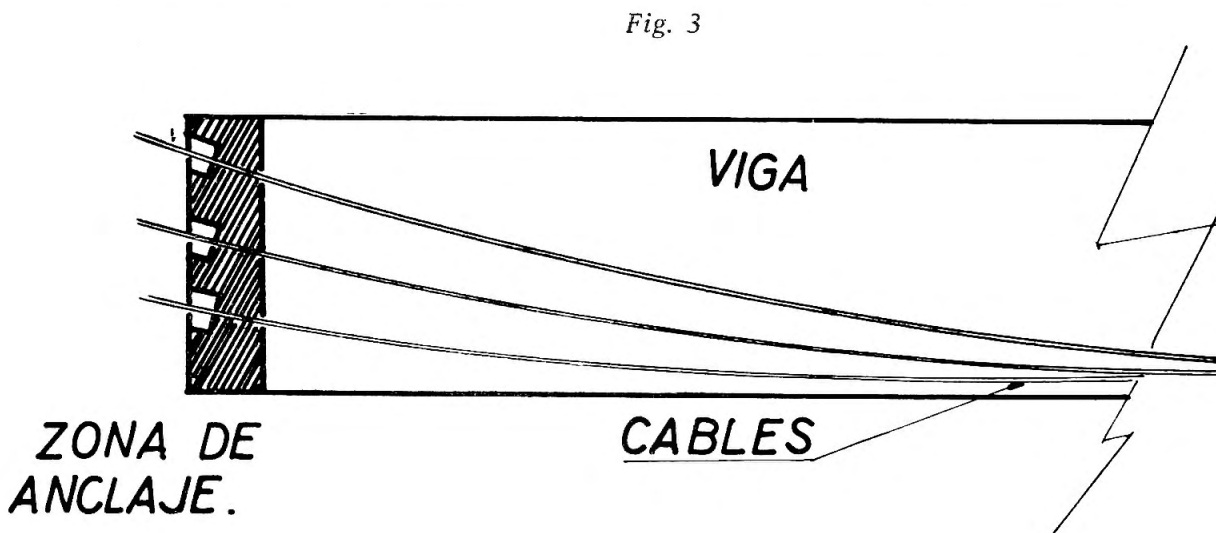
Para cada 20 carretes: determinar el límite elástico convencional para un alargamiento de 0,1% y de 0,2%.

Para cada 10 toneladas: (o para cada envío en conjunto). Todas las pruebas optativas.

4.—Tolerancia:

a) En las dimensiones transversales: se admite una tolerancia del 2% por exceso únicamente.

b) En el límite convencional del 0,2% en la carga y en el alargamiento a la rotura: se admite una dispersión, respecto al promedio de cuatro resultados más o menos 5% para tres



probetas y más o menos del 6% para la cuarta. Cuando no se satisfaga esta norma, se podrá repetir la prueba en otras cuatro probetas y se operará con el promedio de las ocho pruebas; se tolerará una desviación de más o menos 5% en los resultados más aproximados y de 6% en la séptima. La desviación de la octava no se considera. Si también esta prueba falla, se le atribuirá a la partida de material las características de la probeta clasificada en séptimo lugar en el sentido decreciente.

5.—Estado de las muestras.—En el momento de utilizarse los aceros deberán presentarse libres de oxidación, corrosión, defectos superficiales visibles y dobladuras. Se tolera una oxidación que desaparezca mediante un ligero frotado con trapo seco.

No se admite en la obra ninguna operación de enderezado. Cuando se desenrolla de los carretes el acero que se va a emplear dentro de las vigas con cables deslizables, tendiendo en el suelo un tramo de 10 m. no deberá presentar curvatura u ondulación sensible.

CARACTERISTICAS DE ACEROS ITALIANOS

Diámetro	Resistencia a la ruptura	Límite elástico
3 mm.	200-210 Kg/mm ²	190 Kg/mm ²
5 mm.	170-180 Kg/mm ²	125 Kg/mm ²
	170-180 Kg/mm ²	160 Kg/mm ²
	150-160 Kg/mm ²	125 Kg/mm ²
7 mm.	140-150 Kg/mm ²	130 Kg/mm ²
	140-150 Kg/mm ²	105 Kg/mm ²

Estos aceros vienen en rollos no menores de 4 metros de diámetro.

TRANSCRIPCION DE LOS PRINCIPALES ACAPITES DE NORMAS FRANCESAS

1.2.2. Esfuerzo a ruptura R.

1.3.

Definimos el esfuerzo a ruptura de una probeta como el cuociente de la carga de ruptura medida en Kg., por la sección media de la probeta (en mm²).

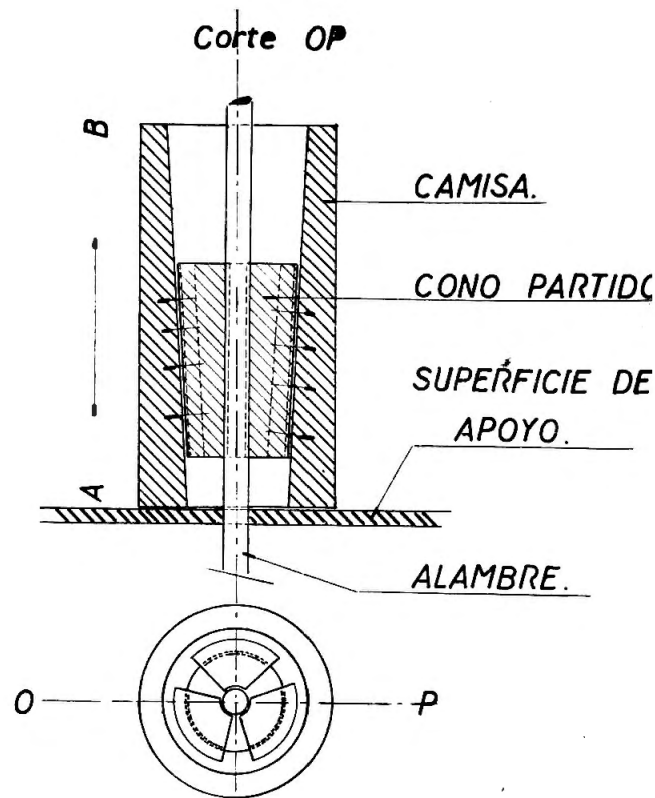


Fig. 4

1.2.3. Diagrama Esfuerzo-Deformación.

Para la determinación de este diagrama, las cargas se miden al 1% aproximadamente; las deformaciones al 1/10.000 de la longitud básica de medida, y esto, hasta una carga correspondiente por lo menos al 95% del esfuerzo de ruptura. (1). El ensayo continúa hasta la ruptura, sin determinación del diagrama esfuerzos-deformaciones.

1.2.4. Esfuerzo característico de la forma del diagrama esfuerzos-deformaciones T (2).

Se determina el esfuerzo T (calculado a partir de la sección media inicial de cada probeta) correspondiente al punto donde cada diagrama esfuerzos-deformaciones corta una recta de pendiente 20.000 Kg/mm². pasando por el punto de la abcisa 1/1000, y ordenada cero.

(1) El diagrama se presenta, en principio, tomando como ordenadas los esfuerzos en una escala de 1 cm. por Kg/mm², y como abcisas, las deformaciones, en una escala de 1 cm. por 1/1000.

(2) Se indica a manera de información que la forma más favorable del diagrama esfuerzos-deformaciones, es igual que $T = 0.9R$.

CONO HEMBRA.

CORTE. OP.

CONO MACHO.

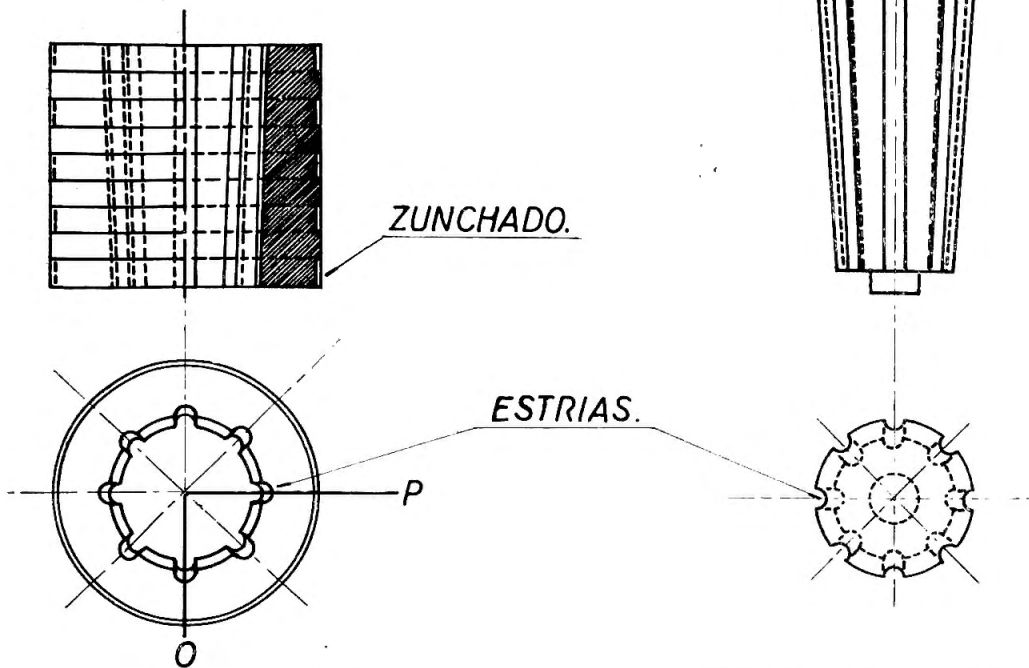


Fig. 5

1.2.3. Alargamiento bajo carga máxima.

Los alargamientos se miden en probetas, sobre las que se fijan, a una distancia de 500 mm., dos pinzas especiales. Se mide la separación de las pinzas hasta la ruptura.

El alargamiento bajo carga máxima es el cociente de alargamiento medido bajo esta carga por la longitud inicial de la base; se expresa en porcentaje. Las cargas, incluida la carga máxima, se miden al 1% aproximadamente y las deformaciones al 1/1000 de la longitud de la base.

1. 2. 6. Dobleces alternados.

El alambre se dobla sobre un mandril cuyo diámetro se determina con el cuadro indicado más abajo, en el cual D es el diámetro del alambre expresado en milímetros (diámetro nominal definido en el capítulo 4).

Diámetro nominal del alambre D	Diámetro del mandril
3,9 mm.	20 mm.
4 a 5 mm.	30 mm.
5,1 a 6 mm.	40 mm.
6,1 a 7 mm.	50 mm.
7,1 a 8,5 mm.	70 mm.
8,6 a 10,5 mm.	100 mm.
10,6 a 12 mm.	120 mm.

El ensayo consiste en:

- Un doblado a 90°
- Un enderezamiento
- Un doblado a 90° en sentido inverso
- Un enderezamiento
- Un doblado a 90° en el sentido del primer doblado, y así hasta que se produzca la ruptura.

La cadencia de los dobleces sucesivos debe ser como máximo de un doblado por segundo. Esta cadencia debe ser suficientemente reducida para no provocar ningún recalentamiento excesivo del alambre.

Se cuenta el número N de enderezamientos.

1. 2. 7. Torsiones alternadas.

En el caso en que el proveedor pidiera la substitución de los ensayos de dobleces alternados por los de torsiones alternadas, habría que proceder de la siguiente manera:

Las probetas tienen una longitud de, por lo menos, 70 D, siendo D el diámetro del alambre (diámetro nominal o diámetro medio, definido en el capítulo 4). El alambre se coloca entre dos sujeciones bien apretadas, separadas por 50 D, y se tuerce a razón de una vuelta a la derecha, luego dos vueltas a la izquierda y una vuelta a la derecha para volver a la posición inicial, estas cuatro vueltas constituyen un ciclo de torsión llamado: "1-

2-1". La velocidad de rotación es, normalmente, de 10 s por vuelta. Sin embargo, cuando la operación es efectuada a mano, esta velocidad puede ser del orden de 5 s por vuelta.

Las torsiones se continúan hasta producirse la ruptura y se anota el número de ciclos que la haya producido.

3. 2. Aceptación o rechazo de lotes individualizados.

Si los ensayos definidos en el párrafo b) del artículo 1. 3 no han dado resultados completamente satisfactorios, el lote se rechaza.

4.—Características geométricas

4. 1. Alambre sin calibrar.

La determinación de las áreas de secciones medias se hace por pesada de doce probetas, admitiendo una densidad de 7,85; se designa por D el diámetro correspondiente a la sección nominal. El área de la sección media de cada una de las doce probetas debe ser por lo menos igual al área de la sección nominal.

El área de la sección media del conjunto de probetas no debe, además, exceder al 8% al área de la sección nominal.

4. 2. Alambres calibrados.

La verificación se hace en doce probetas. Los diámetros medidos con el calibrador, en número de por lo menos 4 en cada probeta, deben estar comprendidos entre $D = 0,0$ mm. y $D = + 0,2$ mm.

La sección media de cada probeta es aquélla que corresponde a su diámetro medio definido como la semisuma de los diámetros máximo y mínimo medidos en esta probeta.

El diámetro medio del conjunto de probetas debe ser, a lo más, igual a $D + 0,15$ mm.

Entrega

5. 1. Estado de la superficie.

El alambre debe presentar un aspecto uniforme y liso, sin defectos imputables a las condiciones de elaboración o de entrega (doblecetes, desgarraduras, rayas, deformaciones, estrías longitudinales o transversales, etc.). No debe presentar ninguna huella de corrosión, ni de residuos de los productos de su elaboración. Se entrega además, libre de capa o película protectora, salvo si quien lo va a utilizar lo pidiera expresamente.

5. 2. Enderezamiento.

El alambre es llamado "derecho" o "auto desenrollado", si sale de los rollos prácticamente rectilíneo, es decir, con una flecha inferior a 20 cm. sobre una longitud de 5 metros puestos libremente sobre un suelo liso y horizontal.

El alambre se denomina "no derecho" en el caso contrario.

5. 3. Diámetro de los rollos.

Quién va a utilizar el alambre puede especificar un diámetro mínimo para los rollos.

El peso de los rollos debe ser de 50 Kg. como mínimo. El que lo use, puede, si lo desea, fijar un peso máximo, el que debe ser superior a los 150 Kg. así como un porcentaje de rollos de peso inferior a cierto valor.

5. 5. Presentación.

Cada rollo lleva por lo menos cuatro ligaduras bien apretadas. Los extremos de los rollos deben estar marcados de una manera cómoda y el enrollado debe ser hecho de manera que permita un desenrollado fácil.

7.—ALGUNOS ENSAYOS NACIONALES

a) Ensayos efectuados en la Universidad Católica de Chile.

Los alambres a ensayar fueron utilizados en el puente del río Loncomilla.

NACIONAL

Diámetros	T. Ruptura	Límite de fluencia	Alargamiento	Módulo elástico
4,18 mm.	82 Kg/mm ²	76,2 Kg/mm ²	0	19.900 Kg/mm ²

IMPORTADOS

Diámetros	T. Ruptura	Límite de fluencia	Alargamiento	Módulo elástico
5 mm.	152,5 Kg/mm ²	129 Kg/mm ²	6,3%	19.500 Kg/mm ²
3 mm.	209 Kg/mm ²	184 Kg/mm ²	54 %	20.900 Kg/mm ²
3,5 mm.	209,5 Kg/mm ²	169 Kg/mm ²	7 %	19.400 Kg/mm ²
1,5 mm.	214 Kg/mm ²	176 Kg/mm ²	9 %	20.450 Kg/mm ²

Indica el Investigador que el porcentaje de carbono en el material nacional es muy bajo y que no corresponde al que debe tener un acero para pretensados.

b) Ensayos efectuados en IDIEM a

pedido de la Industria Nacional de Pretensado "INAPRECO".

El acero importado es de procedencia alemana, no indican fábrica.

El acero nacional es fabricado por HUACHIPATO y distribuido por INCHALAM.

NACIONAL

Nº de la muestra	Diámetro	T. de ruptura	Alargamiento
1	4, 4 mm.	164,5 Kg/mm ²	2,5%
2	4, 4 mm.	165,4 Kg/mm ²	3 %
3	4, 4 mm.	166,4 Kg/mm ²	2,5%
4	4, 4 mm.	165,1 Kg/mm ²	3,5%

IMPORTADOS

1	4, 5 mm.	178,6 Kg/mm ²	2 %
2	4, 9 mm.	177,8 Kg/mm ²	6 %
3	4,95 mm.	175 Kg/mm ²	6 %
4	4, 4 mm.	190,1 Kg/mm ²	2 %
5	4 mm.	177,2 Kg/mm ²	2,6%
6	4 mm.	179,6 Kg/mm ²	0 %

BIBLIOGRAFIA

- | | |
|---|---|
| <p>S. Zundelewich. S.—Tesis profesional. Universidad Nacional. México.</p> <p>Y. Guyón.—Editorial, Dossat. S. A. España..</p> <p>C. Castelli.—Editorial, Continental. México.</p> | <p>H. Moer.—Editorial, Gustavo Gili. S. A. España..</p> <p>I. T. C. C.—Boletín. España..</p> <p>Anales.—Revista, Francia.</p> |
|---|---|