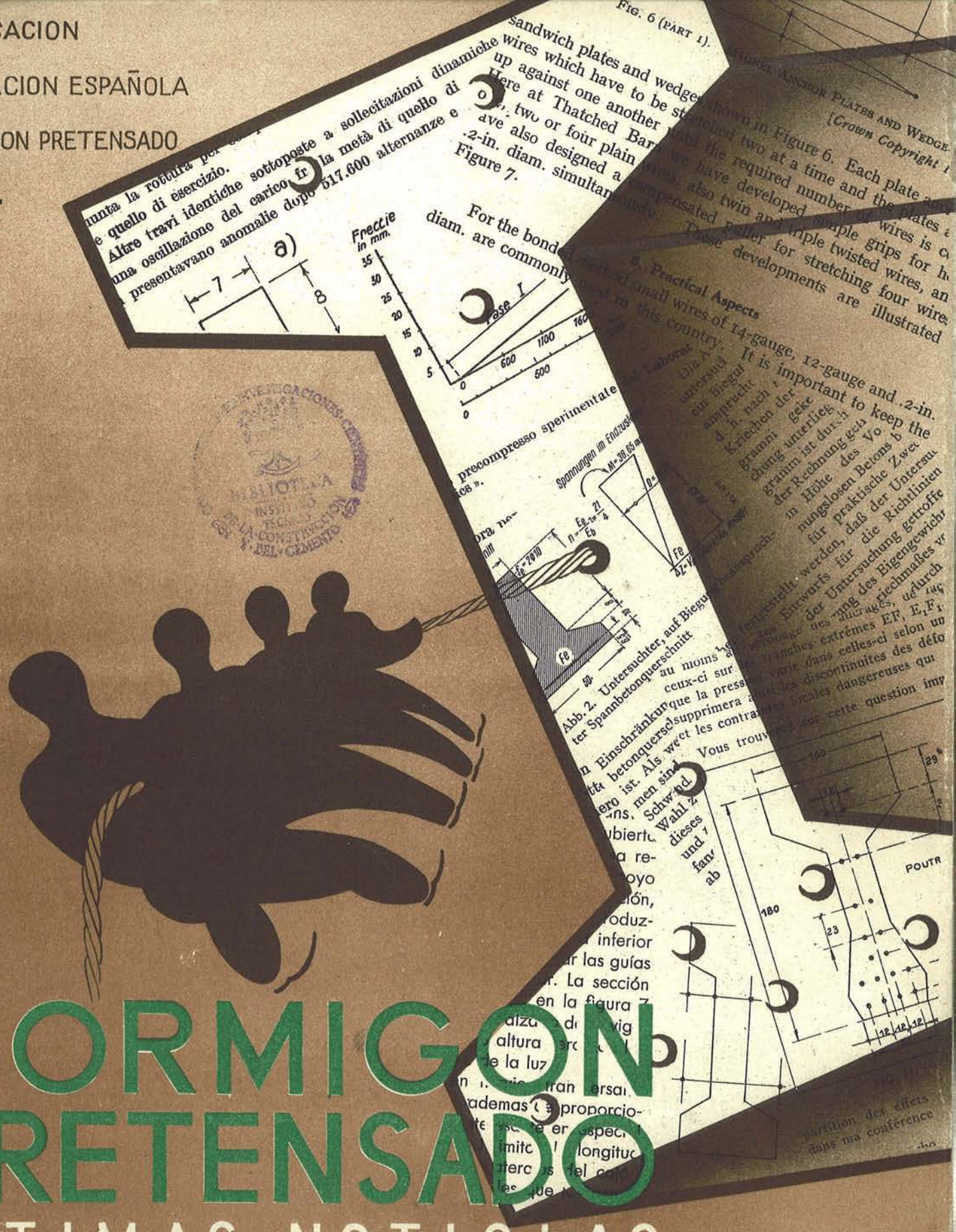
PUBLICACION
DE LA
ASOCIACION ESPAÑOLA
DEL
HORMIGON PRETENSADO

4



HORMIGON PRETENSADO

ULTIMAS NOTICIAS

INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2020

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

Patronato "Juan de la Cierva" de Investigación Técnica

U L T I M A S N O T I C I A S

de hormigón pretensado

Boletín de circulación limitada

Nº 4

491

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

I N D I C E

457-7-1 LA ADHERENCIA EN EL HORMIGON PRETENSADO.....Pág. 1

457-8-1 ENSAYO SOBRE UNA VIGA DE GRAN LUZ DE HORMIGON PRETENSADO..... " 6

591-2-4 PUENTES DE HORMIGON PRETENSADO SOBRE EL RIO MARNE " 11

591-4-2 DEPOSITOS Y TUBERIAS DE HORMIGON PRETENSADO..... " 20

837-3-2 SISTEMA DE CONSTRUCCION DE PIEZAS DE HORMIGON PRECOMPRIMIDO..... " 30

837-4-3 FABRICA FRANCESA DE VIGUETAS DE HORMIGON PRETENSADO PARA FORJADOS..... " 46

N O T A

El Instituto, una de cuyas finalidades es divulgar los trabajos de investigación sobre la construcción y edificación, no se hace responsable del contenido de ningún artículo, y el hecho de que patrocine su difusión no implica en modo alguno conformidad con la tesis expuesta.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

457-7-1 LA ADHERENCIA EN EL HORMIGON PRETENSADO

(Bond in Pre-stressed Concrete)

Por W.E. Iredale Armstrong.

De: "JOURNAL OF THE INSTITUTION OF CIVIL EN INEERS", Noviembre 1949

S I N O P S I S

Las publicaciones existentes sobre hormigón pretensado no proporcionan información suficiente sobre ciertos puntos relacionados con la adherencia en el hormigón pretensado.

En este artículo, el autor, después de señalar las diversas variables que intervienen en la adherencia o de las cuales esta es función pasa a examinar y enjuiciar los numerosos ensayos que, sobre este particular, se han realizado, sacando conclusiones sobre el efecto de cada una de aquellas variables así como sobre las condiciones que deben cumplir los aparatos que se empleen en ensayos ulteriores sobre esta materia.

Las publicaciones existentes sobre hormigón pretensado adolecen de no proporcionar suficiente información sobre los siguientes puntos:

a) Diferencia entre las resistencias límites de dos vigas igualmente dimensionadas pero una de hormigón armado ordinario y otra de hormigón pretensado.

b) Comparación entre la tensión de tracción en la armadura de una viga de hormigón pretensado, en el momento de la rotura y la carga necesaria para arrancar un redondo sin tesar, de

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

las mismas características, embebido en un hormigón similar en una longitud igual a la mitad de la longitud de la viga, de dicha masa de hormigón.

c) Diversas variables que intervienen en la adherencia en el hormigón pretensado antes de la rotura.

La adherencia entre acero y hormigón que evita los movimientos relativos entre ambos materiales, se compone de dos factores, la cohesión y el rozamiento. La cohesión solo actúa mientras no tienen lugar movimientos relativos y es una atracción superficial independiente de la presión. Por el contrario el rozamiento depende no solo de la presión sino también de la rugosidad. Esta presión se produce por la retracción del hormigón y se reduce cuando disminuye el diámetro del redondo (cuando se aumenta la tensión) y cuando por un movimiento del acero se produce un desgaste en el hormigón que le rodea.

Sin embargo en el caso del hormigón pretensado al soltar los extremos de los alambres, estos se ensanchan y se forma una especie de cuña en cada extremo que aumentaría mucho la presión entre el acero y el hormigón si no fuese porque al tiempo tiene lugar un desgaste en el hormigón debido al movimiento del alambre.

Sobre estos puntos se han hecho numerosos ensayos que han conducido a las siguientes conclusiones:

1) La resistencia límite de dos vigas que difieren úni-

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

camente en que una es pretensada y la otra nó, no es necesaria - mente la misma aunque incidentalmente pudiera ocurrir.

2) La rugosidad ayuda a la adherencia pero hay gran dificultad en obtener un grado de rugosidad prefijado lo que obliga, si quiere tenerse en cuenta, a introducir un elevado coeficiente de seguridad.

3) También influye en la adherencia el hecho de que el alambre esté ligeramente ondulado (como viene de fábrica). En - los experimentos realizados la longitud de onda era de unos 30 a 40 cm. y de una amplitud suficiente para que pudiera apreciarse al mirar el alambre de punta lo que no afectaba a la sección - que permanecía constante y circular. Si se hubiese aumentado deliberadamente en la fabricación la amplitud, se habría obtenido indudablemente un aumento en el efecto sobre la adherencia pero no se sabe hasta qué punto no se perdería el efecto con el tiempo debido al relajamiento del acero.

4) Se ha estimado con exceso el efecto que tiene en la adherencia el aumento de diámetro que se produce al soltar los extremos del alambre. En los experimentos realizados este aumento se observó localizado en los extremos, donde pudo comprobarse que el alambre se deslizaba hacia adentro 2,5 cm. ó más. Pués bién el desgaste en el hormigón que produce este pequeño deslizamiento es suficiònte para anular gran parte de aquel efecto - si nó totalmente.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

5) La distancia que recorre hacia afuera un alambre sin tesar embebido en el hormigón, al solicitarlo con una carga determinada, depende del método de curado empleado durante las últimas 24 horas; por el contrario es independiente de la longitud de alambre embebido. En ningún caso se ha observado que se produjese ningún deslizamiento hacia adentro por un extremo al tirar del otro, antes de que la fuerza aplicada en este fuese suficiente para arrancar el alambre totalmente.

6) Las condiciones bajo las que una viga de hormigón pretensado puede fallar, no pueden deducirse del conocimiento de la carga máxima necesaria, para arrancar un alambre sin tesar de características similares embebido en un hormigón de la misma calidad en una longitud mitad de la de la viga considerada. El único método satisfactorio es utilizar aparatos de ensayo en los que se reproduzcan las condiciones reales de carga lo más fielmente posible. Uno de estos aparatos podría ser el que cumpliese las siguientes condiciones:

a) Que el alambre pueda tesar hasta la carga de trabajo prefijada y mantenerle así mientras el hormigón fragua.

b) Que un extremo del alambre (en el centro de la viga) puede mantenerse firmemente y soltar el otro (en el extremo de la viga).

c) Que el deslizamiento del alambre pueda observarse en

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

el extremo fijo.

d) Que el alambre pueda arrancarse (o romperse) en el - extremo fijo flectando la viga.

Una combinación cualquiera de alambre y hormigón se dará por buena cuando no se verifique ningún deslizamiento del - alambre en el extremo fijo al soltar el otro.

Sólo con estos métodos puede asegurarse la adherencia en cada caso determinado y garantizarse por consiguiente la seguridad de una viga de hormigón pretensado.

R.R.B.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

457-8-1 ENSAYO SOBRE UNA VIGA DE GRAN LUZ DE HORMIGON PRETENSADO

(Testing Long Prestressed Concrete Girder.

De: "CONCRETE", diciembre 1949.

S I N O P S I S

Se describe el ensayo realizado sobre una viga de 49 m. de luz de hormigón pretensado cargada hasta la rotura.

Se utilizaron varias clases de aparatos de medida algunos de ellos eléctricos.

Se esperaba que se produjese la rotura bajo una carga de 400 ton. por compresión del ala superior lo que no ocurrió sino con una carga considerablemente mayor, pues las fisuras que se produjeron bajo aquella carga fueron pequeñas y distribuidas de un modo uniforme en toda la longitud sin que afectasen aún definitivamente a la viga.

Antes de construirse el puente de Walnut Lane se ensayó el día 25 de Octubre una viga de hormigón pretensado de 49 m. de longitud y 2 m. de canto, idéntica a las que constituirán el tramo central de dicho puente.

Se esperaba que se produjese la rotura por compresión en el ala superior bajo una carga total de unas 400 ton.; sin embargo, bajo esta carga, con una flecha de poco más de 38 cm., aunque aparecieron fisuras, fueron pequeñas y separadas de un modo uniforme por toda la viga, sin que se produjese una grieta

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

única que afectase a la vez al ala inferior y al alma.

El puente constará de un tramo central compuesto de 13 vigas como la ensayada, y dos laterales de 22,5 m. constituido - por 7 vigas.

El sistema de pretensado utilizado en la viga es el Magnel - Blaton. Como contramolde para dejar en el hormigón el hueco donde han de alojarse los cables se utilizaron prismas de goma, que se extrajeron de la viga dos días después de hormigonar.

La dosificación del hormigón fué la siguiente: 360 Kg. de cemento, 455 Kg. de árido fino y 920 Kg. de árido grueso. Las - probetas cilíndricas de hormigón dieron los siguientes resultados:

Días	Resistencia a la compresión
7	308 Kg/cm^2
10	338 " "
14	411 " "
17	459 " "
22	478 " "
28	473 " "

Dos de los cables se dispusieron paralelos al ala inferior de la viga y los otros dos en curva con la concavidad hacia arriba.

La resistencia límite del acero especificada en el proyecto era de 112 Kg/mm^2 mientras que las pruebas de laboratorio dieron 149 Kg/mm^2. El diámetro adoptado para los alambres fué

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

de 7 mm. Para mantenerlos en su posición correcta se emplearon los espaciadores característicos del sistema Magnel-Blaton. Con esta disposición de los alambres se facilita entre los mismos del mortero que se introduce para protegerlos de la corrosión y hacerlos solidarios con el hormigón.

La tensión en los cables se determinó a partir de la medida del alargamiento correspondiente. Experimentalmente se dedujo que a la tensión deseada le correspondía un alargamiento de 22,8 cm.

Los alambres se tesaron de dos en dos con gatos especiales y se anclaron después con las conocidas placas sandwich.

Aunque el ensayo oficial se hizo el día 25 de Octubre, realmente ya se había hecho el día 22. La carga se aplicó en incrementos de 32 ton. después que se rebasó la carga de trabajo de 38 ton.

En la primera prueba, la del día 22, bajo una sobrecarga de trabajo de 1116 Kg/ml. la viga acusó una flecha de 1,9 cm. Después con carga de trabajo de 1785 Kg/m.l. aparte del peso propio de la estructura (la viga pesa 160 ton) la flecha fué de 3,8 cm. En ninguno de los casos aparecieron fisuras. La deformación permanente fué de 0,3 mm.

En los ensayos del día 25 se registraron los siguientes resultados:

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Carga		flecha
1490	Kg/ml.	10 cm.
5208	" "	16,5 cm.
6330	" "	33 cm.

Por fin y para cumplir las cláusulas del contrato que estipulaban la rotura, se cargó hasta agotar las posibilidades de carga que se tenían disponibles. Con ello había resistido la viga hasta 10 u 11 veces su carga de trabajo produciéndose una flecha máxima de poco más de 38 cm. Por fin se recurrió a concentrar las cargas hacia el centro con lo cual bajo una carga 15 veces mayor que la de trabajo se produjo la rotura por compresión en el hormigón del ala superior sin que fallase la armadura y habiendo acusado la viga una flecha de 64,7 cm.

La aplicación de las cargas se realizó sobre ocho puntos elegidos de forma que el momento flector resultase prácticamente el mismo que si la carga estuviese uniformemente repartida. El dispositivo de carga estaba compuesto por 8 vigas I de acero formando un bastidor lastrado con 14 lingotes de acero (7 a cada lado) y con un peso de 3400 Kg. cada uno. Como puede apreciarse en la Fig. 1 al accionar el gato, la viga superior, que es la lastrada, reaccionará transmitiendo el empuje a la inferior (móvil) y esta a la de hormigón. Los gatos utilizados fueron de 60 y 100 ton. empleándose los últimos en los extremos y en las dos secciones centrales.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

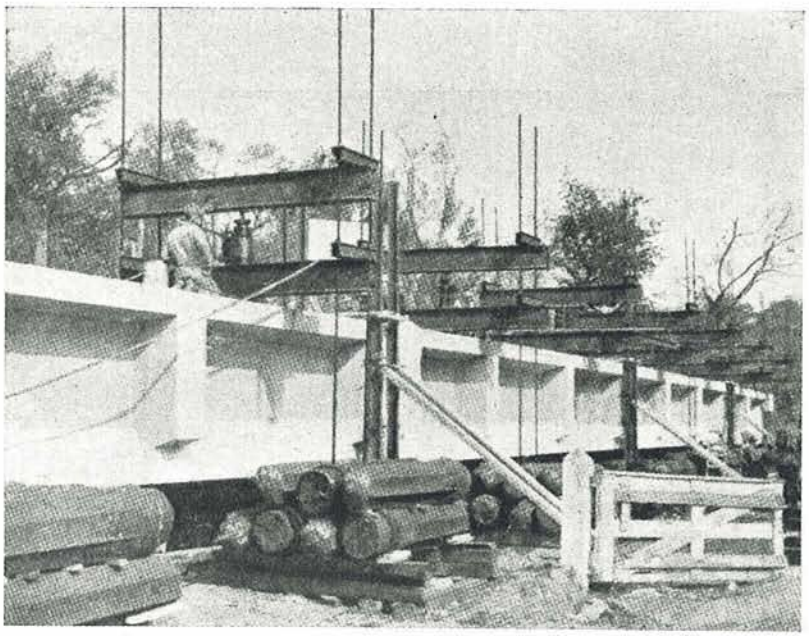


Fig. 1

Vista general de la viga que se ha ensayado, en que puede apreciarse la posición de los lingotes de lastre.

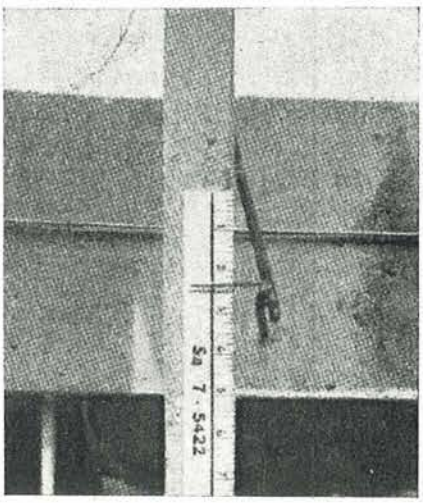


Fig. 2

Método utilizado para medir la flecha máxima de la viga. La aguja indicadora va rígidamente unida a la viga y marca sobre una regla graduada. Aquí la flecha es de 6,35 cm.

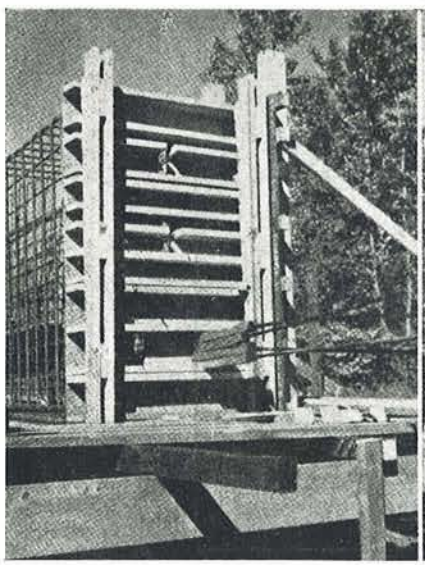


Fig. 3

Detalle de la construcción de los encofrados de la viga, en donde pueden verse los núcleos de goma que luego se extraen.

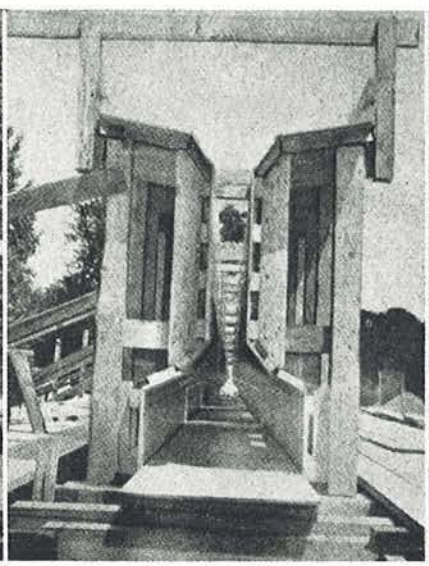


Fig. 4

Vista longitudinal del encofrado antes de que se haya colocado la armadura.

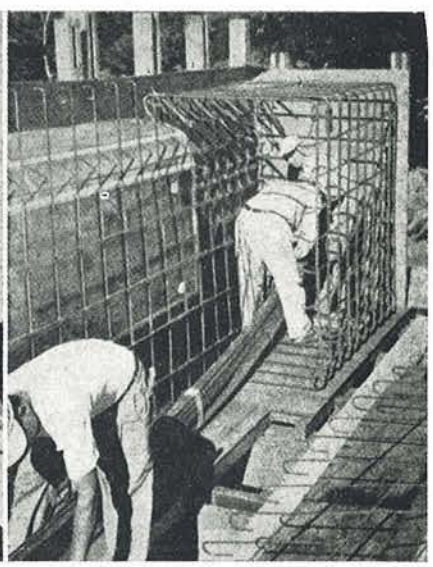


Fig. 5

Ajuste del núcleo de goma (para formar la cavidad que alojará los alambres) en el ala inferior de la viga.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

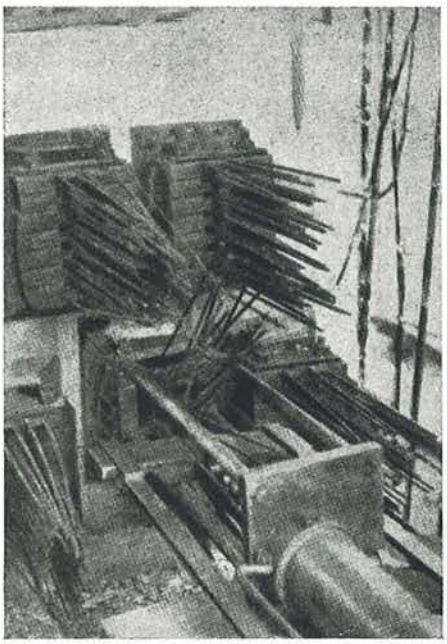


Fig. 6
En esta fotografía pueden verse las placas sandwich y apreciarse el método de tesado.

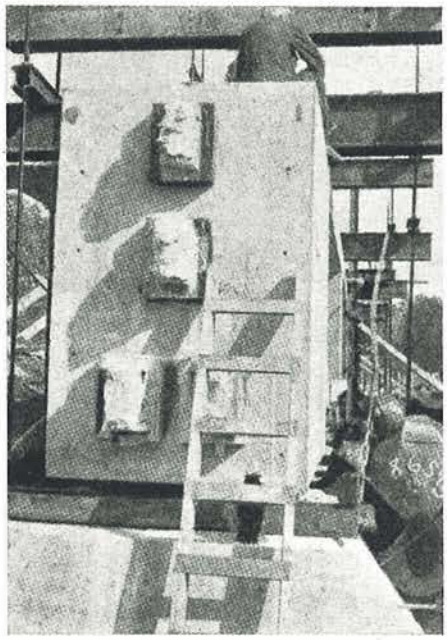


Fig. 7
Vista del extremo de la viga después de cortados y hormigonados los cables.

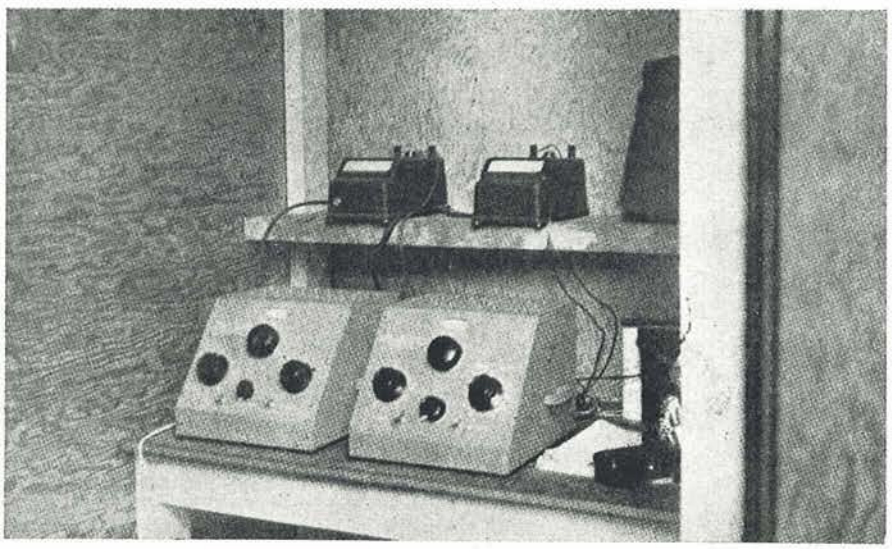


Fig. 8
Instalación de elongámetros electrónicos registradores.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

En ambas alas y distribuidos por diferentes puntos de la luz se colocaron diversos tipos de aparatos de medida (flexímetros Baldwin SR-4, clinómetros y elongámetros electrónicos). Uno de los tipos tenía su fundamento en la variación que experimenta la resistencia eléctrica de una malla de alambres unidos a la estructura al deformarse ésta.

En resumen, que para los distintos valores de la carga se midió la distribución de deformaciones, las flechas y el cambio de pendiente en los extremos.

R. R. B.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

591-2-4 PUENTES DE HORMIGON PRETENSADO SOBRE EL RIO MARNE.

(Prestressed Concrete Bridges over the River Marne).

Editorial.

De: "CONCRETE AND CONSTRUCTIONAL ENGINEERING", Diciembre, 1949

S I N O P S I S

El puente de Esbly, sobre el rio Marne, tiene la particularidad de estar constituido por piezas independientes, prefabricadas de hormigón vibrado y pretensado. Su estructura está compuesta por seis vigas I de hormigón pretensado que forman un arco de 74 m. de luz, entre rótulas.

Cada viga consta de 32 dovelas independientes que se montaron una vez transportadas al lugar donde está ubicada la obra.

El arco se apoya por medio de unos cartabones también prefabricados y que comprende cada uno cuatro piezas; En una de ellas va insertada una rótula del tipo Freyssinet, dotada de un dispositivo para regular los empujes debidos a contracciones, cargas pesadas, etc.

El montaje de cada una de las semivigas ha de hacerse en tres piezas independientes que luego se unen cuando se tiende el puente. Esto se efectue mediante unas "torres" provisionales colocadas detrás de los contrafuertes de la obra.

Sobre el rio Marne se han construido cinco puentes de hormigón pretensado; cada uno de ellos tiene una lu de 74 m. - En Annet, Tribaldan, Changis y Ussy, se encuentran en construcción otros semejantes al que se describirá a continuación, que es el de Esbly (fig. 1ª).

Las estructuras de estos puentes son arcos doblemente

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

articulados. En las figuras 2 y 3 se muestran los diferentes - elementos de que consta esta obra pretensada.

Cada puente tiene una calzada de 6 metros de ancho con una flecha de bombeo de 3,5 cm.

La longitud de la parte principal del tablero es de - 74 m. y se prolonga en ambos extremos por losas pretensadas - moldeadas in situ que unen el tablero con antiguos contrafuertes que se han aprovechado.

La calzada está constituida por una caja de hormigón - de 6 cm. de espesor medio que se coloca directamente sobre la estructura. Los aceros se recubren con una caja de hormigón - de 5 cm. de espesor (Fig.2). Tiene además, en los extremos del puente, juntas de dilatación.

Las vigas, de hormigón pretensado, están proyectadas - para transmitir un gran empuje horizontal y su espesor total - (incluyendo el espesor del pavimento) es solamente de 91 cm. - en la clave y de 2,47 m. junto a los arranques. La relación entre la luz y el espesor en la clave es por tanto de 79:1.

La estructura principal está constituida por seis vi - gas de perfil I. El alma que une las alas es de espesor variable, que oscila entre 10 cm. en la parte media y 14 cm. en la unión con ellas. El cordón superior es de perfil transversal - uniforme y sus dimensiones aproximadas son: 1 m. de ancho y - 20 cm. de espesor en los bordes, como puede verse en la fig.2ª,

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

para amoldarse al perfil de las aceras. Las vigas que están debajo de ellos tienen las alas asimétricas.

Las alas inferiores son iguales para todas las vigas y cuyo ancho va aumentando desde la mitad de la luz hacia la unión con los arranques.

La altura de las vigas también varía de 86 cm. en la clave a 2 m. en la unión con los arranques.

El perfil del intradós está constituido por un arco de tres centros cuyos radios se indican en la fig. 2.

La separación entre los ejes de las vigas es de 1,39 m. y los espacios que quedan entre las alas se hormigonaron después del montaje en obra de las mismas, los cuales se unen entre sí por seis riostras transversales de 20 cm. de espesor.

Cada viga se compone de 32 dovelas prefabricadas y que tienen aproximadamente 2 metros de longitud, quedando una junta entre ellas de 26 milímetros por término medio. Durante su construcción las dovelas fueron sometidas a precompresión perpendicular a las alas, (es decir en dirección vertical cuando están colocadas en obra), que se ejerce por medio de alambres de acero de altas resistencias tesados antes de hormigonar el alma como se describirá posteriormente.

Los arranques.

Las piezas que componen los arranques son también prefabricadas. Cada una se compone de cuatro partes (fig. 2) que reciben los siguientes nombres: (A) dovela triangular, (B) tornapunta con rótula, (C) tirante, y un elemento de unión (D) que en

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

laza el tirante con la dovela triangular. El cordón superior de la dovela triangular es idéntico al del resto de la viga. El tornapunta tiene sección transversal rectangular y es mayor en la unión con la rótula que con la dovela.

Las rótulas.

Las rótulas son del tipo Freyssinet de 124 cm. de ancho con escotaduras de 22 milímetros de profundidad, y depende su efecto del comportamiento del hormigón armado y de la anchura del péndulo. Cada viga tiene sus rótulas y las placas de repartición de esfuerzos de los arranques para que regulen el empuje y compensen los movimientos debidos a contracciones, desplazamientos de los estribos, y otras causas que puedan ocasionarse antes o después de la puesta en servicio del puente. La rótula se mantiene en su posición por cuñas de hormigón armado con ángulo de 4º.

Los cables y alambres.

Los cables y alambres de pretensar están proyectados para enlazar los bloques premoldeados que constituyen las vigas y ejercer en las secciones sometidas a esfuerzo cortante tal tensión, en la dirección vertical, que no se produzcan esfuerzos de tracción en el hormigón.

El proyecto está concebido para que los cables principales se coloquen en forma sencilla, sin que la posición de estos cambie, como ocurre en el puente de Luzancy. El hecho de no variar la posición de los cables obliga a emplear estribos, para -

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

contrarrestar las tensiones de tracción debidas al esfuerzo cortante.

Los cables y alambres están colocados en tres direcciones perpendiculares entre sí. Los principales se sitúan en la dirección longitudinal del puente y aseguran la unión rígida de los bloques y la resistencia de las vigas. Los transversales le hacen indeformable en este sentido. Los verticales tensan verticalmente el alma de las vigas.

Los cables longitudinales y transversales se componen de 12 ó 18 alambres de acero de alta resistencia de 5 milímetros y producen una tensión límite de 12,500 Kg/cm^2. Los extremos de los hilos se sujetan por medio de conos de anclaje embutidos en la masa de hormigón.

Los cables principales longitudinales constan de 12 alambres y se distribuyen en tres grupos. Los dos superiores de 12 cables cada uno se colocan en canales en la parte superior de las alas de las vigas. Cada dos dovelas se ancla un par de estos cables, por tanto a una distancia de nueve metros, a partir de la clave, no hay cables longitudinales en la parte superior.

De los doce cables que hay en el extremo de cada viga, ocho sirven para comprimir al tirante de los arranques, y el resto se ancla en la pieza de unión.

Por las alas inferiores, y a través de agujeros practicados en las mismas, pasa el tercer grupo de cables longitudinales, que alcanza el número de cuatro en las vigas que se encuentran situadas bajo la calzada, y de seis para las de las aceras.

Hay dos grupos de cables transversales. El grupo supe-

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

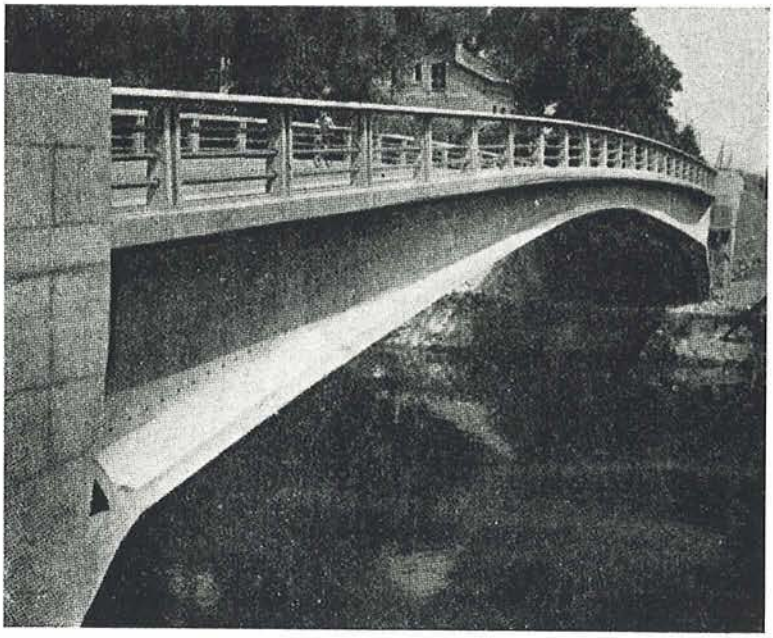


Fig. 1
Puente de Esbly.

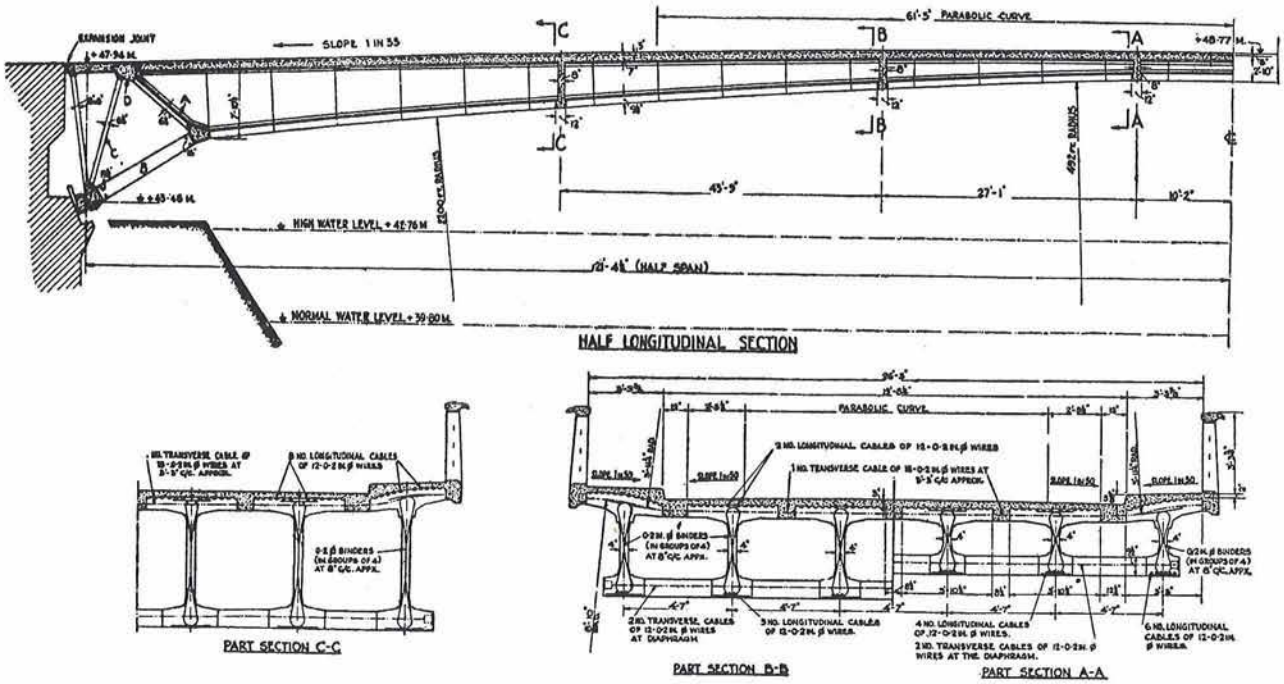


Fig. 2
Secciones transversales. Semiluz, 36,6 m.; ancho del puente, 8 m.; ídem de la calzada, 6 m.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

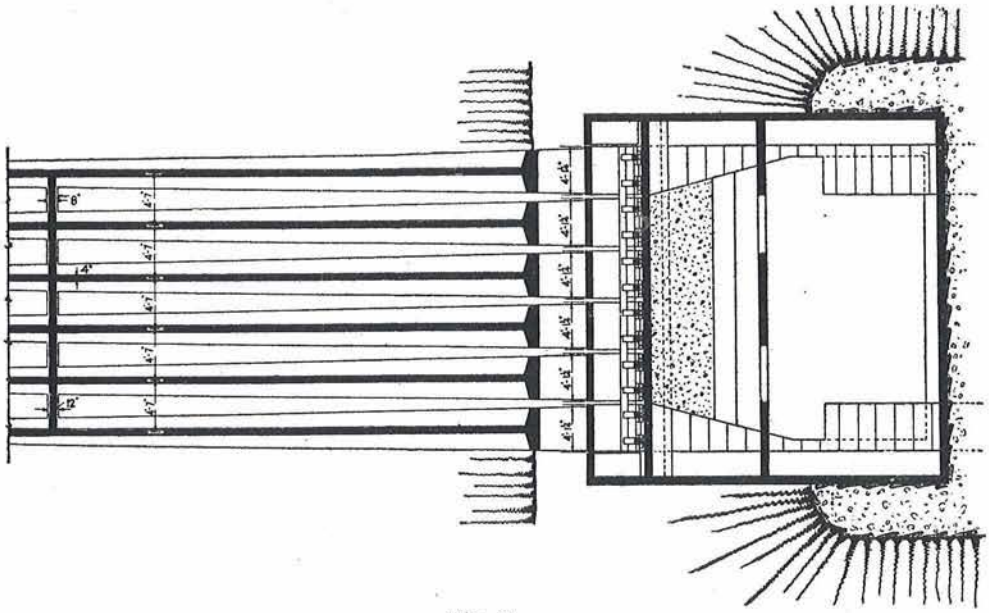


Fig. 3
Planta del arranque.

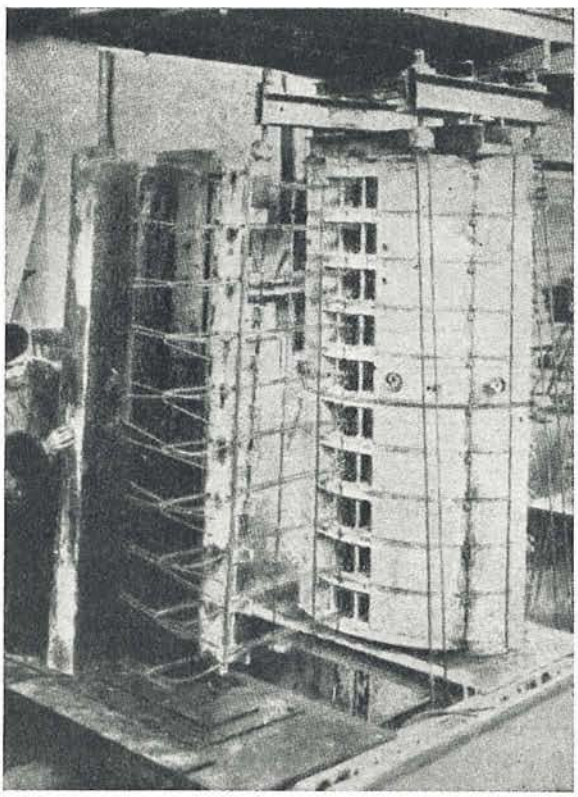


Fig. 4
Encofrados para premoldear las alas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

rior pasa por agujeros que cruzan las alas de las vigas. Cada dovela tiene dos cables de esta clase, cuya separación es aproximadamente de un metro, y el número de alambres de que constan es de 18.

Por la parte inferior de las riostras pasa el grupo de cables transversales más bajo, que son dos y constan de 12 alambres cada uno.

Los estribos del alma de las vigas tienen una sección romboidal de 0,18 cm^2. Las características de este alambre son las mismas que las de aquéllos que tienen sección cilíndrica.

En cada dovela hay 40 alambres en grupos de cuatro que se anclan por adherencia a las alas. Posteriormente se tesan al hormigonar el alma. Para que la unión entre los alambres y el hormigón sea más perfecta se curvan en forma de lazo.

Construcción de dovelas y arranques

Mediante compresión y vibrado se obtiene un hormigón de alta calidad. Para poder resistir estos trabajos los moldes son ligeros y fuertes.

Para no complicar los encofrados se adopta el método de fabricación siguiente:

Los moldes para las alas constan de tres partes principales. (Fig. 4). La parte que encofra los asientos de las alas es un plano rígido. Los dos elementos que encofran los laterales y la cara interior del ala se unen por bisagras. Las tres partes del encofrado se enlazan por cables horizontales que las envuelven exteriormente.

Este encofrado tiene una parte interior y una funda ex-

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

terna; entre ambas circula el vapor que ha de calentar al hormigón.

Los estribos se colocan en su posición antes de rellenar los moldes. Antes y después de hormigonar se vibra y por último se comprime.

Una vez que se obtienen por este procedimiento las dos alas, se separan estas con gatos hidráulicos, para tesar los estribos; a continuación se hormigona el alma y al mismo tiempo se vibra la masa.

Las piezas que componen los arranques se moldean con encofrados de madera.

Montaje de las dovelas y de los cartabones.

Después de retirar los encofrados de las almas, se transportan las dovelas a la grada de montaje (fig. 5). Las semivigas se arman independientemente y se componen de dos elementos independientes; una parte central que comprende 10 dovelas, y un bloque cantilever compuesto por las cinco dovelas siguientes. La dovela decimosexta se coloca sobre el cartabón cuando se tiende el puente.

Una vez que se colocan en su posición las dovelas, se rellenan con mortero hidráulico las juntas, y a continuación se someten a pretensado. De momento, por tanto, no es posible transportarlas al lugar de la ubicación.

El cartabón de apoyo y la decimosexta dovela se enlazan mediante un elemento que se amolda a su forma, y a continuación se pretensa.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Transporte de las vigas y montaje del puente

Las piezas que componen cada una de las vigas del puente son seis: dos cartabones, dos bloques cantilever y dos partes centrales.

Para transportar los distintos elementos, que componen las dos vigas situadas en la línea media del puente, se unen de dos en dos por medio de riostras provisionales, y se embarcan sobre lanchones.

El orden para el montaje de las diversas piezas es el siguiente:

1.- El cartabón se coloca sobre las cuñas que se apoyan sobre el estribo, y se mantiene en su posición suspendidos por medio de cables de unas grandes torres provisionales de 30 m. de altura situada detrás de los contrafuertes.

2.- A continuación del contrarresto se coloca el bloque cantilever, este se sostiene, por una parte, por medio de los cables anclados en las dovelas, y por el otro extremo mediante otros cables que se sujetan en la torre.

3.- Cuando los arranques y bloques cantilever se encuentran montados a ambos lados del río (fig. 8), las dos vigas centrales se elevan al mismo tiempo. Una vez colocadas en su posición final se procede a rellenar las juntas con hormigón y a sustituir los cables de pretensar temporales por los permanentes.

Cuando las vigas están ya montadas se procede a hormigonar los espacios que quedan entre las alas, así como las riostras.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

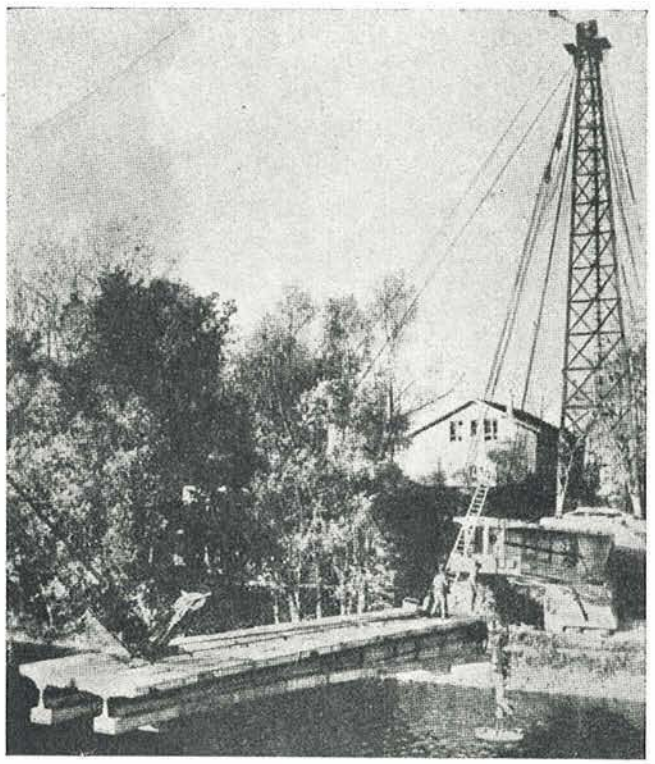


Fig. 8
Tendido de la viga central. El bloque cantilever se encuentra ya colocado.

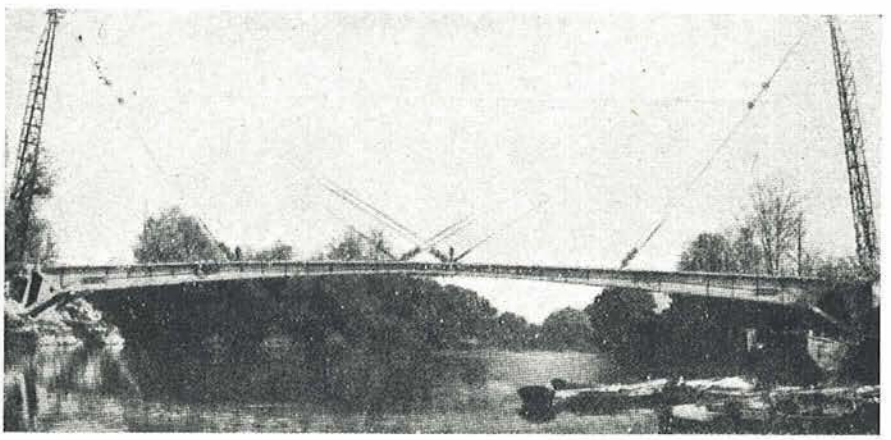


Fig. 9
Vista del puente de Esbly durante el montaje de las vigas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

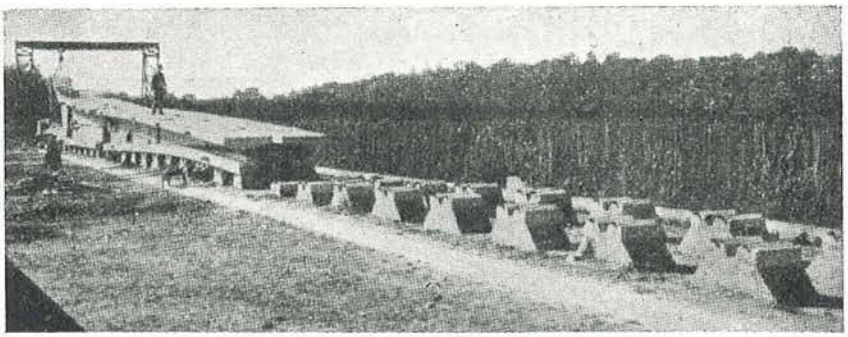


Fig. 5
Bancada para el montaje de las vigas.

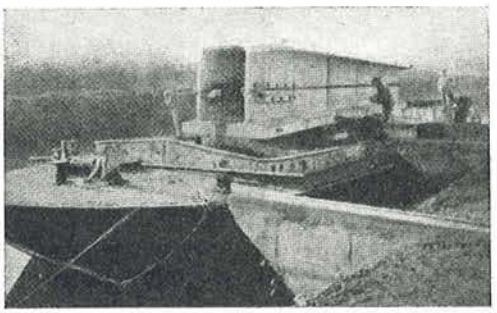


Fig. 6
Embarque de piezas cantilever en un lanchón.

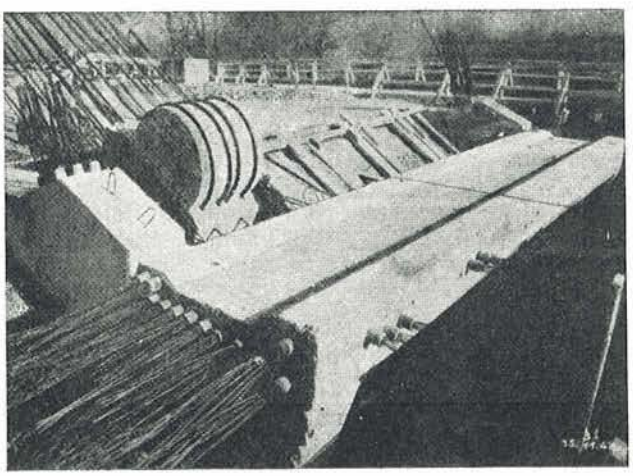


Fig. 7
Anclajes. (Los cuales pueden ser utilizados posteriormente.)

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Mediante el posterior pretensado transversal queda un conjunto monolítico.

La superestructura se completa cuando las losas, que unen los extremos del puente a los contrafuertes, se hormigonan. Estas losas se apoyan por un lado en la armadura de los arranques y por el otro en una viga sustentada por tornapuntas que montan sobre los bloques de las rótulas.

En la fig. 9 se ve un conjunto del puente de Esbly en construcción.

La tensión de trabajo produce en la viga un estado elástico tal, que los efectos de la retracción, variaciones de temperatura y cargas adicionales, en el caso más desfavorable no producen sino tensiones de compresión, mientras que en ninguna parte se producen esfuerzos de tracción.

Los puentes están proyectados para llevar la misma sobre carga que el de Lucanzy, o sea 586 Kg/cm^2 en la calzada y 390 Kg/cm^2 para los aceros; o también dos filas de camiones de 25 toneladas de una longitud aproximada de 10 m; o un tanque de 70 toneladas en medio de la calzada más 390 Kg/m^2 en el resto del puente.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

591-4-2 DEPOSITOS Y TUBERIAS DE HORMIGON PRETENSADO.

Por Carlos Sánchez Castro.

De: "LA TECHNIQUE DES TRAVAUX", enero-febrero, 1949 y "PUBLIC WORKS", octubre 1949.

S I N O P S I S

El presente artículo es continuación de otro, publicado con el mismo título, en el Boletín nº 3 y en el cual se ha expuesto una nueva técnica para pretensar los muros de cierre de los depósitos de hormigón.

Las aplicaciones prácticas del procedimiento Preload a otras estructuras circulares son muy numerosas y son objeto de estudio en esta segunda parte.

Los depósitos de hormigón para almacenar combustibles líquidos presentaban tres graves inconvenientes: 1º el no ser estancos. 2º ser atacados por ciertos productos de adición de algunas gasolinas, y por último que el hormigón reaccionaba con los estabilizadores que se añadían a ciertas esencias ligeras.

El empleo de hormigón pretensado recubierto de una capa de thiocol elimina todos los inconvenientes citados.

Para almacenar productos químicos se recubren las paredes y fondo de los depósitos con revestimientos apropiados a la clase de líquidos que han de contener.

La técnica Preload puede emplearse para la reparación de los depósitos de hormigón armado. La reconstrucción de un gran tanque de agua en Halifax (Nueva Escocia) es un ejemplo que se cita en este artículo.

Otras aplicaciones de esta técnica a estructuras circulares pretensadas es la construcción de gasómetros, silos y tuberías de conducción de agua.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Las cubiertas, que en un principio se proyectaron solamente para depósitos, pueden utilizarse para cerrar grandes espacios sin apoyos intermedios, tales como salas de espectáculos, cines, teatros, hangares, iglesias, etc.

Por último se dá una idea de las dimensiones y materiales que se precisan para construir un depósito de tipo corriente dotado dé cúpula pretensada.

2ª Parte: Aplicaciones

En la primera parte de este artículo, publicado en el número anterior de "Ultimas Noticias del Hormigón Pretensado", se ha tratado de la construcción de elementos circulares de hormigón armado empleando un procedimiento completamente original para precomprimir la periferia de los depósitos de agua.

Las necesidades de la pasada guerra hicieron que esta aplicación del hormigón pretensado alcanzase en Norteamérica un alto grado de perfeccionamiento debido a la considerable demanda de grandes depósitos.

Varios centenares de estos tanques se han construido en los Estados Unidos y en el Canadá para toda clase de productos líquidos industriales, tales como: combustibles (aceites pesados, gasolinas para aviación cuyo número de octános sea muy elevado), subproductos de los azúcares, productos químicos, aguas potables, depuradores de aguas sucias, etc.

El depósito de mayor capacidad construido por el procedimiento Preload es el de Rockford (Illinois) que puede almacenar 22.700 m^3 de agua; el de mayor altura es uno que tiene 45,14 m.;

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

y el diámetro mayor de los, hasta ahora construidos, por el mencionado procedimiento Prelad es de 55 m.

Tanques para combustibles y productos químicos. En un principio no se empleó el hormigón para la construcción de depósitos para almacenar hidrocarburos por considerársele inadecuado. Pero esta creencia se debía a no haber dado resultados satisfactorios - los ensayos realizados en tanques de hormigón armado, o con armaduras sometidos a una baja tensión de tracción. (La precompresión si es débil, desaparece rápidamente por la fluencia del acero y la retracción del hormigón). Estas construcciones no son estancas ni pueden llegarlo a ser aunque se los aplique revestimientos especiales. El agrietamiento es demasiado grande y los revestimientos se desprenden rápidamente.

Al principio de la segunda guerra mundial, los organismos civiles y militares de los Estados Unidos, emprendieron investigaciones encaminadas a la construcción de depósitos, no metálicos, con el fin de economizar acero, material que había llegado a ser "estratégico".

La falta de palastro y la abundancia de cemento dió lugar a que se empezasen a construir depósitos con este último material, lo cual ha sido posible, únicamente, gracias a dos novedades en la concepción y ejecución de los depósitos, que son: a) - el empleo de armaduras previamente tesas para reducir el agrietamiento, b) el descubrimiento de revestimientos resistentes a los carburantes líquidos a base de plásticos o de resinas sintéticas.

El hormigón sin pretensar si no lleva protección adecua-

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

da presenta tres defectos: que no es impermeable, lo que dá lugar a pérdidas inadmisibles de líquido; que le atacan ciertos productos de adición de algunas gasolinas (particularmente los ácidos grasos); y por último que reacciona con los estabilizadores que se añaden a ciertas esencias ligeras para poderlos conservar durante largo tiempo.

Estos productos tienen por fin impedir o retardar, en ciertas gasolinas, la precipitación de una goma insoluble, que resulta de la polimerización de sustancias inestables. Al depositarse en los carburadores o en los conductos de aspiración esta goma, perturba peligrosamente el funcionamiento de los motores. Estos estabilizadores son destruidos por la cal que siempre existe libre en el hormigón.

Las experiencias emprendidas por el ejército, y la marina americana, los ingenieros, y las grandes compañías petrolíferas, han demostrado que el hormigón pretensado revestido de una membrana de protección especial (el thiocol) no tiene ninguno de los inconvenientes citados.

El agua, que siempre acompaña a los combustibles líquidos, en presencia de estos, es altamente corrosiva para el hormigón mientras que el thiocol resiste perfectamente la acción de esta mezcla. En un principio se utilizó este material en delgadas planchas unidas al hormigón por un cemento cuyo disolvente es el dicloruro de etileno; este producto es tóxico y muy inflamable, y la adherencia no se realiza a no ser que la operación se haga cuando el hormigón está completamente seco, lo cual es muy difícil.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Nuevas experiencias dieron como resultado encontrar una emulsión de thiocol, que se aplica con pistola o con brocha sobre el hormigón, incluso cuando está húmedo. El procedimiento consiste en aplicar cinco o seis capas de este material que forman una película impermeable de algunas décimas de milímetro de espesor fuertemente adherida al hormigón y suficientemente elástica para seguirle en todos sus pequeñas contracciones y dilataciones.

Se hizo también un ensayo con revestimiento de palastro muy delgado adherido a la cara interna del depósito de hormigón, pero este procedimiento se abandonó por sus múltiples inconvenientes. Es tres o cuatro veces más costoso que el revestimiento de thiocol, no se adhiere suficientemente al hormigón, se desgarra, se corroe rápidamente y por último las soldaduras no resultan estancas.

La clase de protección de que se les dota a los depósitos de hormigón varía según el líquido que han de contener y la norma generalmente seguida es la siguiente:

A) Depósito para agua, aceite pesado y gasoil; hormigón Preload sin revestimiento alguno.

B) Depósitos para gas oil ligero, diesel oil, gasolina de automóvil y de avión; hormigón Preload con revestimiento de cuatro a seis capas de thiocol. (Se han construido depósitos de este tipo de 10.000 m^3 de capacidad).

C) Depósitos para productos químicos corrosivos; revestimientos apropiados tales como ladrillos especiales, cerámicos, etc. Estos revestimientos se colocan, ge

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

neralmente, antes de devanar el alambre o zuncho y participan por lo tanto del pretensado, lo que hace que sus juntas sean perfectamente estancas.

El depósito de hormigón construido por el procedimiento Preload es generalmente más económico que los depósitos de chapa de acero. Además presenta diversas ventajas para la conservación de combustibles líquidos como son, entre otros, las siguientes:

1º.- Su inercia térmica es mucho mayor, lo cual reduce las pérdidas por evaporación.

2º.- Resiste mucho mejor en caso de incendio. Las compañías de seguros americanas exigen que los depósitos de acero se separen los unos de los otros por muros de hormigón, y admiten que los depósitos de hormigón Preload se protejan simplemente por un talud de tierra.

3º.- Puede enterrarse parcial o totalmente, lo que no es posible hacer en los depósitos de palastro por necesidades de conservación.

Los tanques de hormigón armado averiados pueden restaurarse e introducir en ellos mejoras con gastos relativamente pequeños dotándoles de un revestimiento por el procedimiento Preload.

Un ejemplo típico es el de la reparación de un gran depósito de agua potable en Halifax (Nueva Escocia) el cual ha sido reconstruido de esta forma. Fué construido en 1913, tiene 50 m. de diámetro, y una altura de 7,5 m. Sus muros laterales son de 90 cm. de espesor en la base y están fuertemente armados.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

La cubierta está constituida por un entramado con nervaduras apoyadas sobre columnas (fig. 1).

Los agentes atmosféricos, principalmente la acción de las heladas sobre las aguas que se filtraban a través del hormigón, habían deteriorado el depósito hasta tal punto que parecía aconsejable su demolición. Grandes placas de hormigón se habían desprendido dejando al descubierto las armaduras.

La reparación se efectuó, previo concurso, por el procedimiento Preload en consideración a que era el menos costoso y el más seguro.

Por una pequeña parte de lo que hubiese costado uno nuevo, el depósito fué puesto en servicio (fig. 2).

El antiguo hormigón se picó por ambas caras hasta, llegar a las armaduras, y después fué recubierto con una capa de gunita.

El arrollamiento de alambre se tesó a 100 Kg/mm^2 (para que quede una tensión efectiva de 70 $Kg./mm^2$), e hizo del depósito una nueva obra de hormigón pretensado.

La cubierta fué demolida y se reemplazó por una delgada cúpula, que es una de las mayores en hormigón pretensado (50 m. de diámetro.

Gasómetros.- Se han construido varios gasómetros de importancia por este procedimiento. Los gasómetros de volumen constante (de desplazamiento de agua) son idénticos a los tanques para líquidos.

Los gasómetros de campana tienen la cuba de hormigón, y el elemento móvil es de chapa de acero.

Silos.- Los mismos procedimientos son aplicables a la cons

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

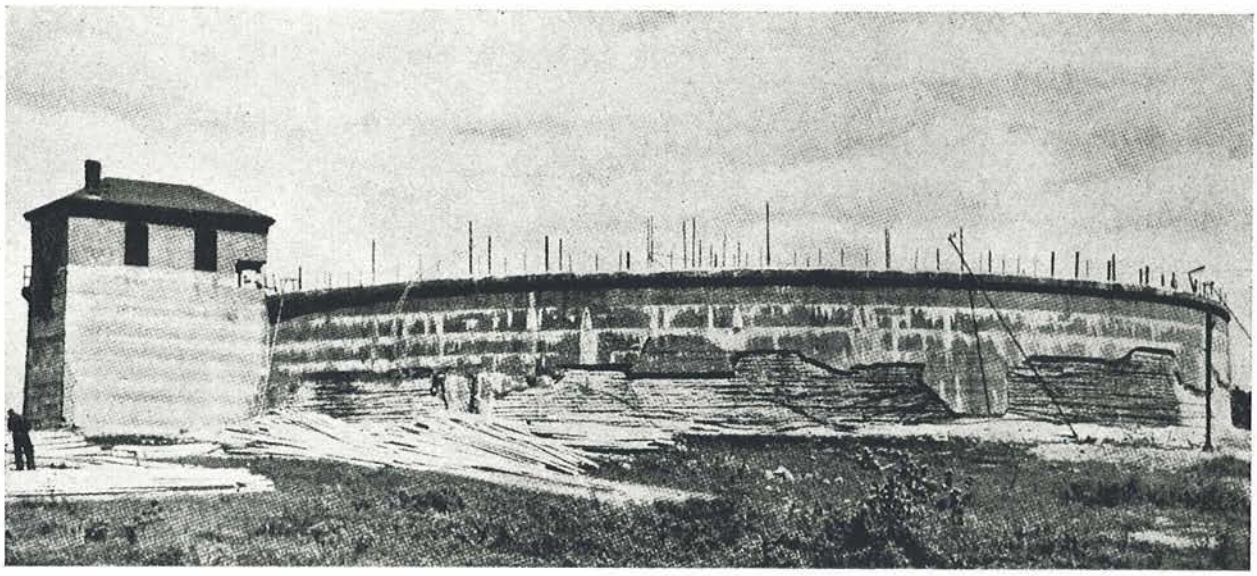


Fig. 1
Depósito de agua en Halifax, antes de su reparación.

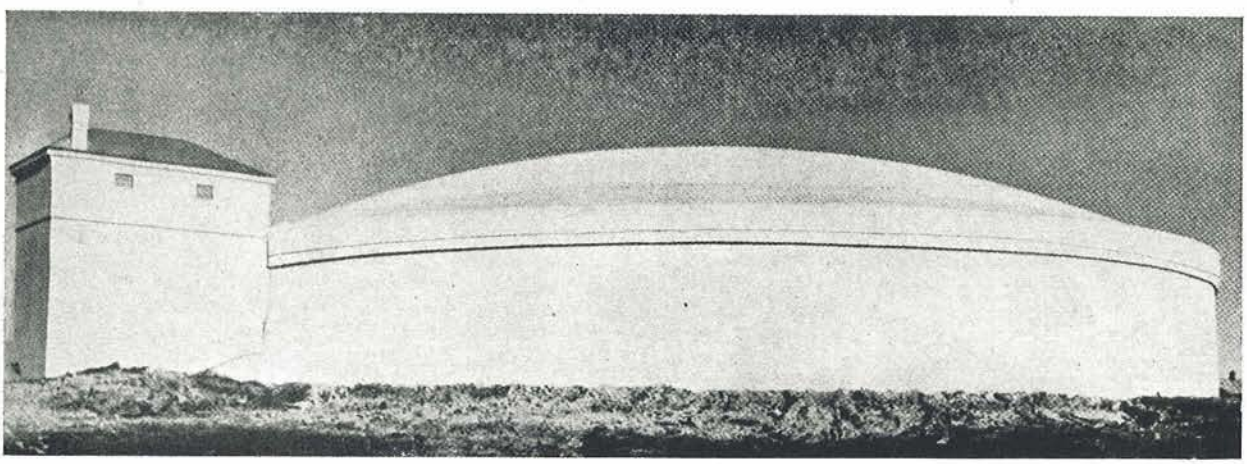


Fig. 2
Depósito de agua en Halifax, reparado por el procedimiento «Preload». Diámetro, 50 m.; altura, 7,5 m.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

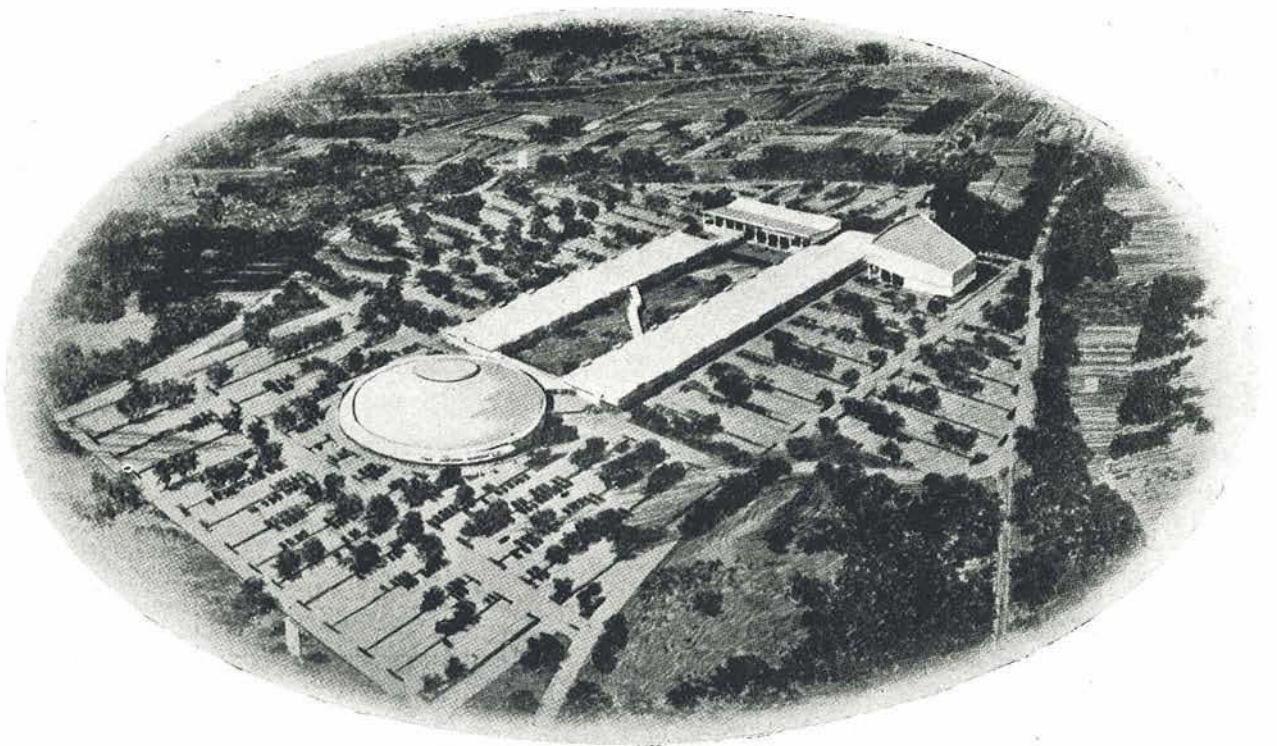


Fig. 3

Cúpula de 67 metros de diámetro, sin apoyos intermedios, en construcción para el nuevo «centro de almaceness» en Beverley (Massachusetts).

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

trucción de silos destinados al almacenamiento de toda clase de productos sólidos: cemento, carbón, granos, etc.

Conducciones de agua.- Las tuberías de gran diámetro se construyen por un sistema parecido al Preload. Estos elementos de hormigón pretensado son mucho más económicos que los de hormigón armado y presentan la ventaja de ser totalmente impermeables mientras los segundos no lo son.

La fabricación de estas piezas se hace en varias fases: La primera consiste en hormigonar una superficie cilíndrica en un molde vertical. El macho o molde interior está constituido por tres piezas para que pueda retirarse fácilmente. A continuación se colocan las armaduras longitudinales y después del moldeo y endurecimiento en una cámara de vapor, se retira el molde.

Después se coloca la pieza entre dos placas que la sujetan por sus extremos. Se ancla el cable de pretensar y se devana imprimiendo un movimiento de rotación al cilindro. El aparato de devanar es fijo y solamente se desplaza la guía, que dá a las espiras el paso conveniente, en el sentido longitudinal del tubo. El tesado del hilo se obtiene por el mismo procedimiento que en los depósitos, haciéndolo pasar por una hilera.

Una vez terminado el devanado del alambre se le recubre con una capa de gunita de protección de 12 a 25 milímetros de espesor.

Cubiertas.- Las cubiertas que en un principio se proyectaron solamente para los depósitos, pueden utilizarse para cerrar grandes espacios sin apoyos intermedios.

En Norteamérica se han empleado especialmente en edificios destinados a almacenes establecidos en las proximidades de

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

grandes aglomeraciones. Estos almacenes agrupan comercios, hoteles, restaurantes, etc.

En la figura 3 se muestra una vista de la cúpula de 67 metros, sin apoyos intermedios y con un anillo en su base de hormigón pretensado, construida en Beverley (Massachusetts).

Este procedimiento para cubrir grandes espacios sin apoyos intermedios puede aplicarse a la construcción de hangares, estudios de cine, locales cerrados para deportes, iglesias, etc.

Con diámetros superiores a los 45 m. el uso de estas cúpulas ha permitido obtener economías en el costo de un 30% o más sobre cualquier otro tipo de cubierta permanente de igual luz.

Otra características de estas cubiertas es la de ser capaces de soportar cargas. Un ejemplo típico de esta aplicación lo constituye un grupo de depósitos subterraneos construidos por la "North Shore Paper Company" en Canadá. Las cubiertas se proyectaron para resistir 40 toneladas de maquinaria suspendida de la clave más una capa de tierra de 76 cm. de espesor y otra de nieve con un peso de 244 Kg/m^2. La carga total que soporta la superficie de la cubierta, que solamente tiene 5 cm. de espesor, es de 1.500 Kg/m^2.

Por último puede ser de interés dar una idea de las dimensiones y materiales que se precisan para construir un depósito corriente de 7.570.000 litros de capacidad con cubierta de cúpula pretensada cuyo diámetro interior es de 34 m. El espesor de la solera es de 5 cm. y el del muro de cierre de 24 cm. en la parte inferior de la base y de 12 cm. en la coronación. La cúpula tiene una altura de 4,22 m. y un espesor de 63 milímetros.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Las cantidades de material necesario son: hormigón 20 m^3; gunita 284,4 m^3; encofrado 1904 m^2. El peso del cable para zunchar el depósito, incluyendo el del anillo de la base de la cúpula es de 9 toneladas, y el del conjunto de alambres verticales - 1428 kg. Además se precisan 875 kg. de tela metálica y 5.239 kilogramos de redondo corriente a armar.

C. S. C.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

837-3-2 SISTEMA DE CONSTRUCCION DE PIEZAS DE HORMIGON PRE-COMPRIMIDO.

Por: Antonio Angulo Alvarez.

De: "LAS CIENCIAS" Año XIV, nº 4.

S I N O P S I S

En el presente artículo se expone un sistima original - que pretende resolver las dificultades materiales que se presentan al tesar las armaduras.

Se estudian las deformaciones del hormigón y del acero y se deduce una fórmula aproximada para calcular la magnitud del desplazamiento que hay que dar a la armadura para obtener el esfuerzo de precompresión nedesario en cada caso, fórmula que se - resuelve gráficamente.

Finalmente, después de una breve reseña de las ecuaciones fundamentales para el dimensionado racional de las vigas de hormigón pretensado, se indican las expresiones que dan el valor de la fuerza que es preciso efectuar para tesar los alambres utilizando el sistema propuesto.

La moderna técnica del hormigón pretensado, ofrece importantes ventajas que, por ser suficientemente conocidas, no es preciso comentar. Pero al mismo tiempo, presenta algunos inconvenientes, como son el tener que emplear hormigones de gran compacidad y resistencia y aceros especiales de muy alto límite de - elasticidad, cuyo tesado resulta complicado.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

A continuación se detalla un sistema original que pretende resolver la dificultad material de tesar las armaduras.

El procedimiento normal de tesado, consiste en sujetar los extremos de la armadura en piezas muy resistentes, existiendo un mecanismo de tracción en uno de los extremos, por lo menos. Una vez estirados los alambres, se procede al hormigonado de las piezas y cuando el hormigón ha endurecido se sueltan las amarras de las armaduras, las cuales, por adherencia, quedan ancladas en el hormigón.

El sistema que se describe en el presente artículo, exige una técnica distinta. Para mayor facilidad de compresión, se hace aplicación del mismo a una viga isostática apoyada en sus extremos, de sección rectangular, cuyo esquema, en planta y alzado, se representa en la figura 1. Las armaduras, simbolizadas por un sólo alambre, van embebidas en el hormigón solamente en los extremos de la viga.

Para realizar tal tipo de viga, se sujetan las armaduras al encofrado bien con yeso o con horquillas de carpintero, embadurnando de yeso, o colocando un papel sobre la parte central de los cables, para evitar su adherencia con el hormigón. Una vez éste endurecido, para tesar las armaduras basta deformar su parte exterior, sujetándolas en la posición deformada. En el alzado de la fig. 1, se indica con trazos (A.D.C.B.), la posición de las armaduras una vez deformadas. El anclaje debe ser eficaz. Si el radio r (fig. 1), es pequeño, se produce el "corte" del hormigón por la armadura cuando ésta se tesa, pero si r tiene cierta dimensión, el anclaje se comporta perfectamente. Para sujetar -

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

los alambres una vez deformados, se pueden utilizar (Fig. 2) - unas pletinas dobladas en forma de U y con los extremos vueltos. Solamente a título informativo y para que conste la posibilidad práctica de realizar tales piezas, se indica que para alambres - de 5 mm. de diámetro, sometidos a esfuerzos del orden de 100 Kg/ milímetro cuadrado que son los normales en aceros de alta resistencia, tales pletinas deberán tener una sección de 52 x 30 mm.

Medios para deformar las armaduras.

Cuando se comienzan a desviar las armaduras, el esfuerzo que es preciso realizar es muy pequeño pues los alambres están - sin tensión, y el ángulo que forman, es de escasa magnitud. A - medida que la deformación vá siendo más acentuada, los esfuerzos van aumentando. El mecanismo de accionamiento debe ser, por lo tanto, adecuado para realizar pequeños esfuerzos al principio y de cierta importancia al final. Para ello se ha ideado el aparato esquematizado en la fig. 3, que consta de una base A, existe una pieza móvil D, con un mango que puede girar alrededor del eje E, fijo en A. D, a su vez, tiene un eje F al cual se fijan - los tirantes G, que en su parte superior enganchan las armaduras H, para lo cual tienen sus extremos curvados.

Forma de las armaduras en su posición definitiva.

Las armaduras, en su posición definitiva, deben situarse según indique el funicular de cargas. Pero como no es posible - variar la posición de las armaduras según las diversas cargas - que actúan sobre la estructura, ni ajustarlas exactamente a la - envolvente de los momentos máximos, se adaptan a segmentos rectilíneos.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

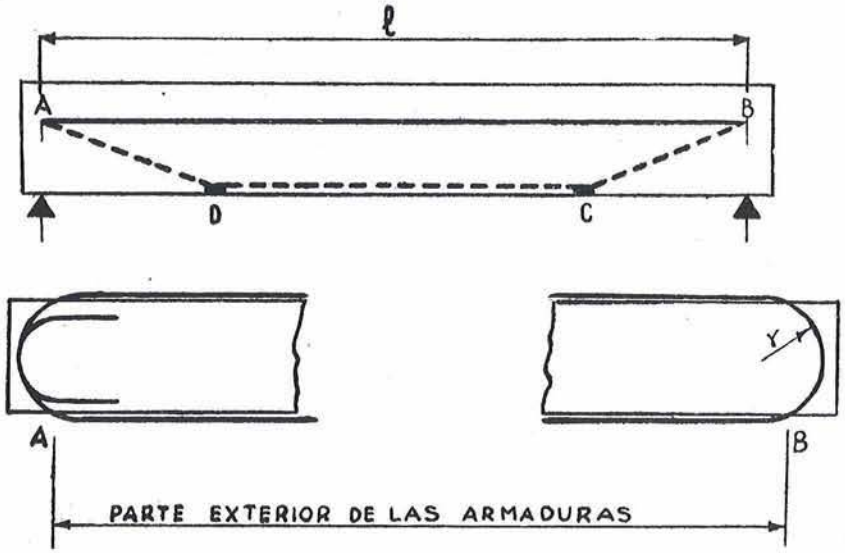


Fig. 1

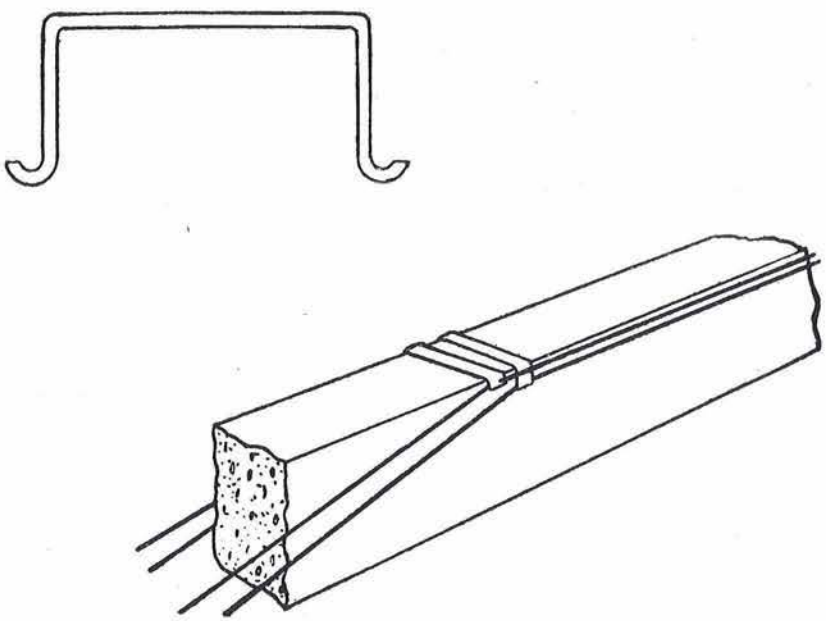


Fig. 2

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

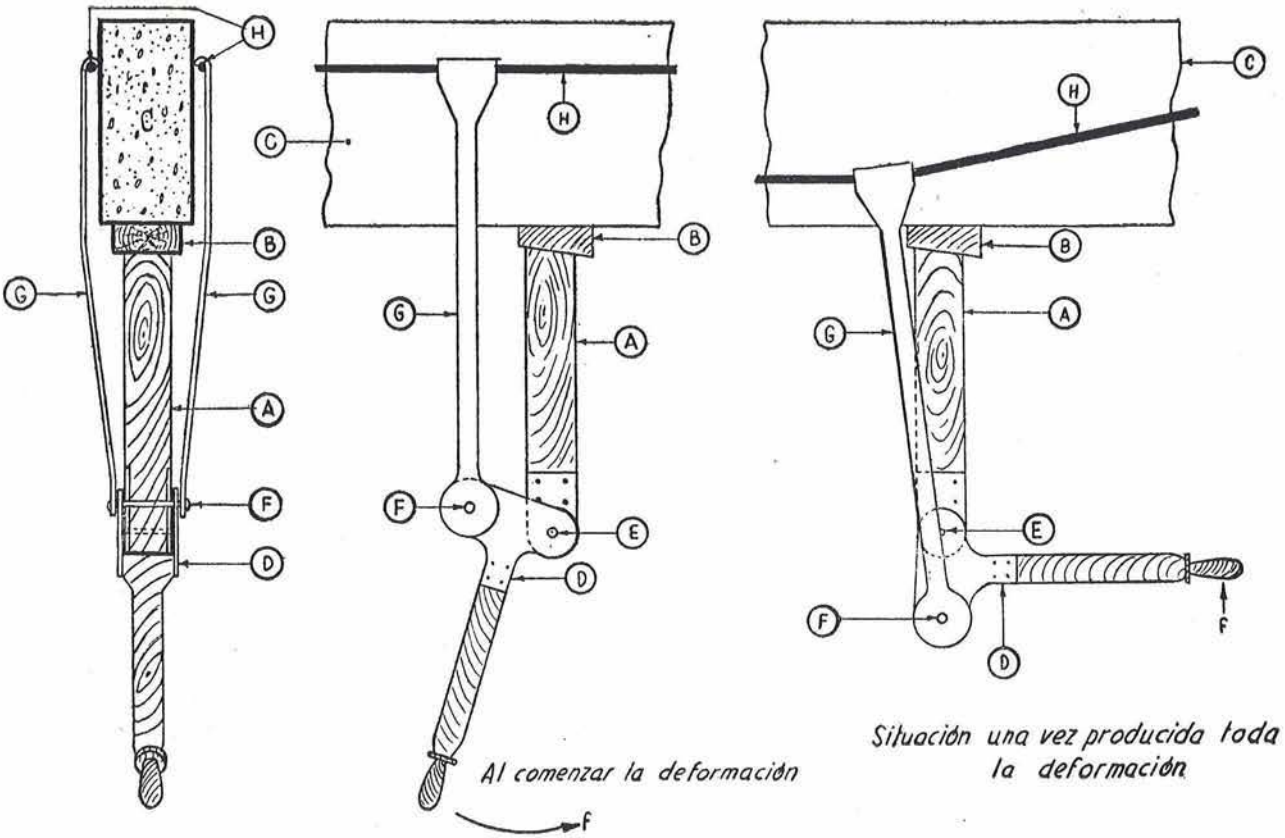


Fig. 3

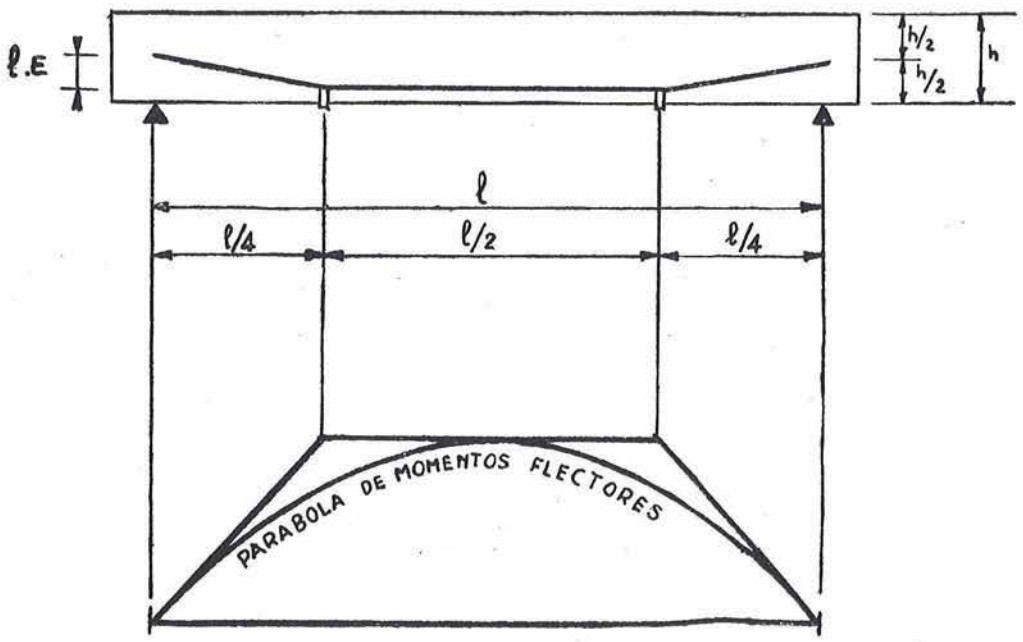


Fig. 4

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

En la figura 4 se indica la forma sencilla que puede darse a la armadura de una viga isostática, sometida a una carga uniformemente repartida. La línea quebrada envolvente de la ley parabólica de distribución de momentos flectores, puede representar muy bien la ley de momentos correspondiente a tener compresiones uniformes en todas las secciones de la viga.

Cálculo de los esfuerzos.

Para fijar ideas, se designa por $\Delta\ell$ al aumento de longitud geométrica (no real) que supone la línea de las armaduras, en exceso sobre la longitud ℓ que tienen antes de ser deformadas.

El alargamiento específico es por tanto $\frac{\Delta\ell}{\ell}$. Para el caso particular de la fig. 4, este alargamiento valdrá:

$$\frac{\Delta\ell}{\ell} = \frac{\frac{\ell}{2} + 2\sqrt{\frac{\ell^2}{16} + \ell^2\xi^2} - \ell}{\ell} = 2\left[\sqrt{\frac{1}{16} + \xi^2} - \frac{1}{4}\right]$$

que resulta función únicamente de ξ, coeficiente numérico que relaciona la deformación de la armadura, en sentido vertical, con la luz ℓ.

A efectos de cálculo de esfuerzos y deformaciones debe tenerse en cuenta que éstos son los siguientes:

Alargamientos de las armaduras { Elásticos
Plásticos.

Acortamientos del hormigón ... { Retracción del fraguado
Elásticos
Plásticos.

Alargamiento elástico de las armaduras: Es normal admitir que ta-

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

les deformaciones obedecen a un módulo de elasticidad del acero de 2.100.000 Kg/cm^2.

Alargamiento plástico de las armaduras: Esta deformación esta poco estudiada. Sin embargo, de los trabajos de Ritter y Lardy se deduce que es de cierta consideración, cuando las armaduras se tesan a cargas elevadas, como es corriente en el hormigón pretensado. Los citados investigadores establecen, como carga límite de un acero, aquélla que produce una deformación plástica de dos milésimas de su longitud, indicando como norma, que con cargas del 50% y del 90% de la límite citada, se consiguen deformaciones plásticas nula y de 0,5 milésimas, respectivamente.

Retracción del fraguado del hormigón: La importancia de esta retracción ha sido estimada de muy diversas maneras.

La vigente "Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón" del Ministerio de Obras Públicas, en su artículo 28, indica los siguientes valores:

150×10^{-6} para hormigones corrientes,

120×10^{-6} para hormigones que hayan sufrido un curado suficientemente largo,

200×10^{-6} para hormigones dosificados con más de 200 kg. de cemento por m3.

Los doctores Ritter y Lardy fijan la retracción del hormigón empleado en obras pretensadas, en 500×10^{-6}.

Las Instrucciones inglesas para traviesas pretensadas, fijan la retracción en 300×10^{-6}.

Acortamientos elásticos del hormigón: El módulo de elasticidad del hormigón suele definirse en relación con el del acero, osci-

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

lando tal relación entre 5 y 15. En las Instrucciones españolas vigentes, este coeficiente varía de 10 á 15, según la calidad del hormigón. Ritter y Lardy indican que para el hormigón de calidad suficiente para poder ser empleado en obras pretensadas, este coeficiente ha de ser 5. Las Instrucciones inglesas citadas lo fijan en 7,5.

Acortamientos plásticos del hormigón: Los datos existentes sobre este extremo, son muy variables. La experimentación suiza, aconseja agrupar las deformaciones elásticas y plásticas del hormigón bajo un coeficiente único igual a 20, lo cual significa que supone que la deformación plástica es triple que la elástica.

Las normas inglesas fijan la deformación plástica de tal manera que equivale a tener en cuenta un módulo que sea 1/9 del de elasticidad del acero, resultando por lo tanto un coeficiente de 9 para estas deformaciones, comparadas con las elásticas del acero.

Fórmula fundamental. La igualdad básica para los cálculos de fuerzas y deformaciones, se obtienen con el siguiente criterio:

"Aumento específico de longitud = alargamiento de las armaduras + acortamiento del hormigón".

De un modo suficientemente aproximado, se puede expresar algebraicamente por:

$$\frac{\Delta l}{l} = \left(\delta_a + \frac{\sigma_a}{E_a}\right) + \left(\delta_h + \frac{\sigma_h}{E_h} + \frac{\sigma_h}{E_{ph}}\right)$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

en la que: δ_a = alargamiento plástico de la armadura.

σ_a = carga de trabajo de la armadura

E_a = módulo de elasticidad de la armadura.

δ_h = retracción del fraguado del hormigón

σ_h = carga de trabajo " "

E_h = módulo de elasticidad

E_{ph} = módulo correspondiente a la deformación plástica del hormigón.

Llamando, q = cuantía = $\frac{\text{Sección de las armaduras}}{\text{Sección del hormigón}}$

$$n = E_a\left(\frac{1}{E_h} + \frac{1}{E_{ph}}\right) = \frac{E_a}{E_h} + \frac{E_a}{E_{ph}}$$

la fórmula anterior se transforma en:

$$\frac{\Delta l}{l} = \delta_{total} + \frac{\sigma_a}{E_a}(1 + n.q)$$

habiendo englobado en δ_{total} la suma de las deformaciones permanentes del acero y del hormigón.

Esta fórmula es tan sólo aproximada pues se considera que la carga de la armadura es constante en toda su longitud y que el hormigón se acorta de un modo uniforme, lo que no es matemáticamente exacto. Sin embargo, en la práctica basta con la aproximación así obtenida.

En el caso particular de la pieza indicada en la fig. 4, la deformación necesaria para obtener la precompresión correspondiente a la carga σ_a, viene definida por el coeficiente ξ, dado por la igualdad:

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

$$2\left[\sqrt{\frac{1}{16}+\xi^2}-\frac{1}{4}\right]=\delta_{total}+\frac{\sigma_a}{E_a}(1+n.q)$$

Ante la dificultad que presenta la resolución de esta igualdad, se puede recurrir al gráfico de la figura 5. En la vertical de la derecha y a ambos lados de ella, se toman los valores $\frac{\Delta l}{l}$ y los correspondientes de ξ. Por su elemental sencillez, se omite la explicación de este gráfico, sustituyéndola por la clave que, para su manejo, se indica al pie del mismo. El cálculo de los esfuerzos y deformaciones que deben darse a las armaduras, resulta así muy sencillo.

Aprovechamiento de las armaduras.

Se comprende que en el procedimiento normal de anclaje por adherencia, las armaduras deben someterse a tensiones muy elevadas, para poder compensar las pérdidas posteriores. Estas pérdidas pueden tener poca importancia cuando se trata de aceros de alta calidad. Magnel las fija en un 15%. Sin embargo, hay ocasiones en que conviene utilizar aceros no tan buenos, pero, por lo mismo, no tan caros, y entonces el procedimiento de adherencia ocasiona una pérdida importante de la carga máxima admisible del material.

Supóngase, por ejemplo, un acero de límite elástico próximo a los 60 Kg/mm^2, al cual de acuerdo con los ensayos realizados, no convenga cargar a más de 45 Kg/mm^2, para evitar caer en la zona de deformaciones plásticas del mismo.

Sea la cantía q = 1% y, con arreglo a las normas inglesas, n = 16,5 y la retracción de fraguado $\delta_h = 300 \times 10^{-6}$.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Llamando σ_a a la carga a que quedarán las armaduras, una vez estabilizada la pieza, o sea, después de producidas incluso - las deformaciones plásticas, resultará que el acortamiento de las armaduras será: $(45 - \sigma_a) \frac{1}{21.000}$, siendo el módulo de elasticidad del acero 21.000 Kg/mm^2.

El acortamiento del hormigón, hasta la situación de equilibrio, debe ser el mismo y tiene por expresión:

$$\delta_h + n.q \frac{\sigma_a}{E_a} = 300.10^{-6} + 16,5 \frac{1}{100} \frac{\sigma_a}{21.000}$$

Igualando y resolviendo la ecuación, resulta: $\sigma_a = 33,2$ Kg/mm^2

Por el contrario, con el procedimiento propuesto, pueden tesarse las armaduras, una vez endurecido el hormigón, deformándose aquellas a la misma carga máxima de 45 Kg/mm^2. Desde luego, esta carga ha de reducirse también, aunque menos, pues sólo interviene la deformación plástica del hormigón.

Para concretar ideas, a continuación se calcula la pérdida de tensión debida a esta deformación plástica.

Sea σ_a la carga (menor de 45 Kg/mm^2) estable de las armaduras, después de dicha deformación. Sea n' el coeficiente que relaciona el módulo de elasticidad del acero con el plástico del hormigón, cuyo valor, de acuerdo con las normas inglesas es 9.

El acortamiento plástico vale: $\frac{\sigma_a . n' . q}{E_a}$, que queda - compensado con un acortamiento de la armadura, correspondiente a la diferencia de carga $(45 - \sigma_a)$, que vale $\frac{45 - \sigma_a}{E_a}$. Debe considerarse también el alargamiento elástico del hormigón al descargue de 45 a σ_a Kg/mm^2. Este aumento de longitud, valdrá: - $\frac{(45 - \sigma_a) . q . n}{E_a}$ siendo n el coeficiente de equivalencia de los módulos elásticos únicamente, que, con arreglo a las normas inglesas citadas, es 7,5.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Igualando, resulta:

$$\frac{\sigma_a \cdot n' \cdot q}{E_a} - \frac{45 - \sigma_a}{E_a} n q = \frac{45 - \sigma_a}{E_a}$$

de donde:

$$\sigma_a = 45 \frac{1 + n q}{1 + q(n + n')}$$

Dando valores, en el caso que se considera, se tendrá:

$$\sigma_a = 45 \frac{1 + 7{,}5 \cdot 0{,}01}{1 + 0{,}01(7{,}5 + 9)} = 41{,}5 \quad \text{Kg/mm}^2.$$

Se comprende que es posible repetir el tesado, después de producidas las deformaciones plásticas, es decir que, prácticamente, se puede conseguir que las armaduras trabajen a la carga de 45 - Kg/mm^2 admitida como máxima.

En este caso concreto, comprendo las cargas resultantes, con las obtenidas por el procedimiento corriente, se obtiene:

a) practicando una sola operación de tesado: $\frac{41{,}5}{32{,}2} = 1{,}25$

b) " varias operaciones " " : $\frac{45}{32{,}2} = 1{,}35$

lo que da idea de la ventaja de este sistema, respecto al aprovechamiento del acero.

Acomodación de las armaduras según las cargas soportadas. Esta ventaja atañe únicamente a las piezas que han de soportar esfuerzos de distinto orden, según las circunstancias de fabricación. - Concretamente se piensa en las piezas prefabricadas. Tales piezas construidas por el procedimiento normal, han de proyectarse de modo que las cargas de trabajo del material, cuando la viga no soporta carga alguna, sean las admisibles.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Sea la viga de la fig. 6 a), en la cual se ha dibujado, en el centro, la ley de variación lineal de las cargas de trabajo. No admitiendo esfuerzos de tracción, la resultante de las fuerzas ejercidas por la armadura, debe estar en el borde del núcleo central de la sección considerada. La ley de variación de la carga normal, correspondiente a la viga sin carga alguna, es la recta AB. La resultante de todas las fuerzas que actúan sobre la sección del medio de la viga es F, situada a la distancia a_1 del paramento inferior. La carga máxima σ_h está localizada en dicho paramento. Al actuar las cargas exteriores (peso propio y sobrecarga) la ley de tensiones viene definida por la línea CD (Fig. 6, b). Un dimensionado exacto de la pieza, debe hacer que las cargas debidas a estos esfuerzos, sean del mismo valor σ_h. De esta forma, la suma algebraica de ambas leyes de cargas conduce a la línea DE, como ley real de cargas sufridas por la sección. La resultante F de las fuerzas que actúan sobre la sección, estará ahora a una distancia a_2 del borde inferior.

La magnitud del momento flector admisible, será, evidentemente: $F\ (a_2 - a_1)$.

Utilizando el sistema que se estudia, puede procederse al tesado de la armadura ocasionando en la sección central la ley de esfuerzos definida por A' B' (Fig. 6, c). La resultante F, está más baja (a una altura a_3) que en los casos anteriores, debido a que la carga de compresión máxima σ_{h_1}, es mayor que la anterior σ_h, lo que también origina tracciones en la fibra superior.

De hecho, no se producen estos esfuerzos, pues si se efectúa, como está previsto, el tesado de la armadura existiendo la -

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

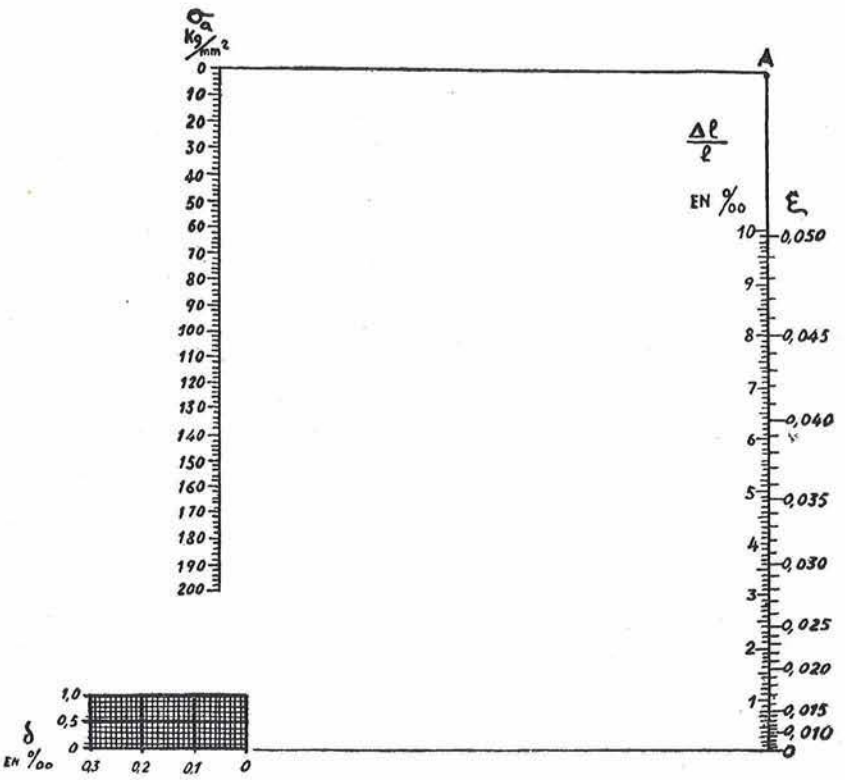


Fig. 5

CLAVE: Se une el punto A con el representativo de la carga admisible en el acero σ_a. En el plano de δ (retracción de fraguado) y n. q. se sitúa el punto correspondiente. Por este punto se traza la paralela a la recta anterior, que en la vertical de la derecha define la relación $\frac{\Delta l}{l}$ y el coeficiente ξ.

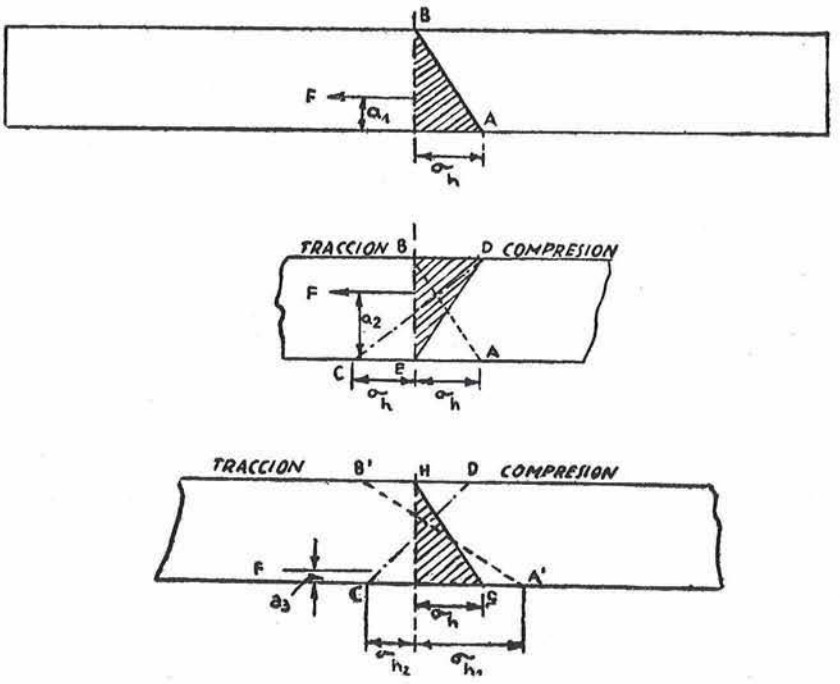


Fig. 6

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

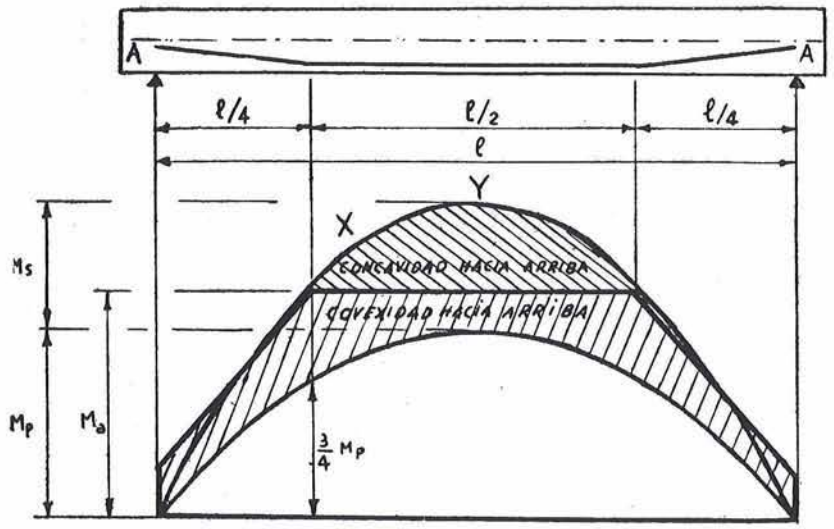


Fig. 7

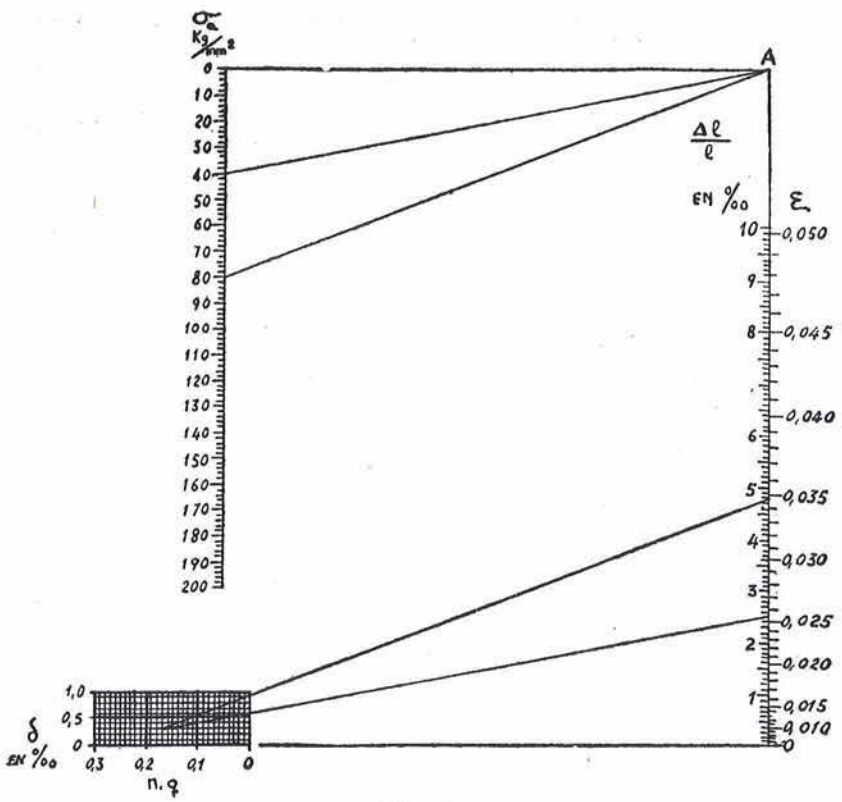


Fig. 8

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

parte inferior del encofrado de la viga, esta se levantará del mismo, soportando entonces su propio peso. Por ello, si la línea de cargas debidas al peso propio es la CD, la suma algebraica que por el principio de superposición ha de soportar realmente la sección central, es la línea GH. Por lo tanto, los esfuerzos sufridos por la sección, no son excesivos y pueden ser idénticos a los del caso anterior, cuando solo existe la precompresión, si $\sigma_{h_1} = \sigma_h + \sigma_{h_2}$, siendo σ_{h_2} la carga debida al peso propio de la viga.

De este modo, el momento flector útil de la sección, será $F\ (a_2 - a_3)$ y como a_3 es menor que a_1, aún cuando la sección de la viga sea la misma, existirá mayor capacidad para resistir momentos flectores.

Con objeto de apreciar lo que esta ventaja representa, considérese la viga de la figura 7, simplemente apoyada. En dicha figura, se han representado las leyes de momentos flectores debidos al peso propio (M_p) y a las sobrecargas (M_s), estando ambos sumados. También se ha trazado la poligonal de momentos debidos a la fuerza de la armadura. Debe señalarse que el momento en los extremos debido a las armaduras, no tiene por qué ser nulo. Claro es que, por causas de resistencia, el punto A debe estar dentro del núcleo central de la sección, ya que en ella no hay momentos flectores debidos a las cargas exteriores y sólo existen los esfuerzos unitarios ocasionados por las armaduras tesas.

De la figura 7, se deduce que, en el momento de tesar la armadura, la viga sufre los momentos comprendidos entre la poligonal y la parábola M_p. Como son mayores los debidos a la armadu

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

ra tesa, la viga tenderá a levantarse, separándose del fondo del encofrado, presentando la convexidad hacia arriba. La sección - de la viga que soporta los mayores esfuerzos es la situada a 1/4 de la luz, marcada con X en la figura. El momento que soporta es: $M_a - \frac{3}{4} M_p$. Cuando sufre la carga total de peso propio más sobrecarga, los momentos a ellos debidos son mayores que los de la armadura. El máximo momento flector sufrido por la sección, es entonces: $M_p + M_s - M_a$. El dimensionado de la sección debe - hacerse, por consiguiente, para que sea capaz de resistir, en - condiciones extremas, la suma de ambos momentos:

$$(M_a - \tfrac{3}{4} M_p) + (M_p + M_s - M_a) = M_s + \tfrac{1}{4} M_p$$

Es decir que se reduce en 3/4 M_p el momento a resistir, en relación con el caso en que el tesado se hace sin que la viga soporte su propio peso.

La ley de cargas unitarias deberá, por lo tanto, ser: (fig. 6) la AB para la sección X de la figura 7, cuando no actúan las sobrecargas y la DE para la sección Y de la misma fig. 7, cuando la viga soporta, tanto su peso propio, como todas las sobrecargas.

Límites de aplicación: Cabe preguntarse si este sistema tiene realmente aplicación práctica, o si la posición deformada de la armadura caerá fuera de los límites debidos. Para ello, lo mejor es considerar un caso práctico: Sea un acero que puede cargarse a - 80 Kg/mm^2, y que, con arreglo a las normas inglesas, q = 1%, n = 16,5, retracción = 300 x 10^{-6}. Del gráfico de la fig. 8, se deduce $\xi \simeq 0{,}035$. Imponiendo la condición de que la resultante de

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

la armadura caiga siempre dentro del núcleo central de la sección y considerando esta rectangular, el canto de la viga será, como mínimo, 3 x 0,035 = 0,105 de la luz, cosa perfectamente normal.

Empleando aceros con menos carga de trabajo, esta relación disminuiría, pudiéndose hacer piezas más esbeltas. Lo mismo ocurre si, como es lógico, se deforman las armaduras del modo indicado, soportando inmediatamente el peso propio de la viga.

Si se emplea, por ejemplo, acero cuya carga máxima admisible sea 40 Kg/mm^2 haciendo uso de la misma figura 8, se deduce $\xi \simeq 0{,}0255$. Si el peso propio es igual a la sobrecarga ($M_p = M_s$) y la viga es de sección rectangular, el momento total (entre límites máximo y mínimo) que debe soportar la sección es:

$$M_s + \frac{1}{4} M_s = \frac{5}{4} M_s$$

y el valor de M_a es: $$M_a = \frac{3}{4} M_s + \frac{1}{2} \frac{5}{4} M_s = \frac{11}{8} M_s$$

La resultante se desplaza 1/3 de la altura (la altura del núcleo central) para una variación del momento de 5/4 M_s. Por tanto, la distancia entre el eje y la resultante de la armadura en la zona horizontal, debe ser proporcional a M_a, o sea:

$$\frac{h}{3} \cdot \frac{\frac{11}{8} M_s}{\frac{5}{2} M_s} = h \cdot \frac{11}{30}$$

Y la altura sobre el paramento inferior, será pues:

$$h \cdot \frac{1}{2} - \frac{11}{30} h = \frac{4}{30} h$$

Como en el extremo, la altura máxima de la armadura sobre la fibra neutra, para que la resultante quede dentro del núcleo central, ha de ser 1/6 h, resulta que la diferencia de alturas de la armadura es:

$$\frac{1}{6} h + \frac{11}{30} h = \frac{16}{30} h$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

cuya diferencia debe ser igual a $\xi \ell = 0{,}0255.\ell$, o sea que:

$$\frac{16}{30}.\ h = 0{,}0255.\ell\ ,\ \text{de donde}\quad h \simeq 0{,}048.\ell .$$

lo que define unas vigas muy esbeltas.

Tesado de las armaduras. Como ya se ha indicado, las armaduras en una viga simplemente apoyada, deben deformarse haciéndolas descender hasta una posición calculada de antemano, en la que deben fijarse.

El medio más sencillo es que varios obreros provistos de un gancho, tiren de las armaduras hacia abajo. La fuerza que para ello tendrían que efectuar en cada uno de los puntos B (fig. 7), sería la misma que debe soportar la sujeción, de valor: $4.\ S\ .\ \sigma_a\ .\ \xi$, siendo S la sección de la armadura. Esta fuerza será mucho menor, si se utiliza el mecanismo de la figura 3. Para fijar ideas, supóngase (fig. 9) que la posición original de la máquina sea la dibujada con línea llena y que gira hasta tomar la posición necesaria para obtener la deformación total $\ell.\xi$ Si la longitud de la palanca es 1/10 de la luz de la viga, tomando momentos respecto al eje de giro de la palanca, se deduce, que la fuerza f que es preciso efectuar para cada valor de ξ , tiene por expresión:

$$f = 4.S.\sigma_a.\xi.10.\sqrt{\xi_o^2 - \xi^2}$$

Un ejemplo práctico dará idea de la importancia de estas fuerzas. Supóngase el caso de tener que tesar dos armaduras de 6,5 mm. de diámetro, por parejas, siendo por lo tanto $S = 2.\frac{\pi}{4}\overline{6{,}5}^2 = 66\ mm^2$. Sea 60 Kg/mm^2 la carga máxima admisible. Retracción -

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

del hormigón $0,5 \times 10^{-3}$. No se deben tener en cuenta las deformaciones plásticas, pues no tienen realidad en el momento de efectuar el tesado. Sea $n.q = 0,12$.

Utilizando el gráfico de la figura 10, se deduce el siguiente cuadro de valores, del que se desprende que las fuerzas indicadas, una vertical y otra sobre el mango, son perfectamente practicables en la realidad.

σ_a	ξ	Fuerza vertical $4.s.\sigma_a.\xi$	$\sqrt{\xi_o^2 - \xi^2}$	Fuerza en el mango $10.4.s.\sigma_a.\xi\sqrt{\xi_o^2-\xi^2}$
10	0'0171	45 Kgs.	0'0256	11'6 Kgs.
20	0'0202	106 "	0'0232	24'6 "
30	0'0238	188 "	0'0197	37'0 "
40	0'0262	276 "	0'0162	45'3 "
50	0'0285	375 "	0'0117	44'0 "
60	0'0308	487 "	0	0

Con todo lo expuesto, queda demostrado que el sistema estudiado es teóricamente realizable y ofrece ventajas de cierta consideración.

R. P. A.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

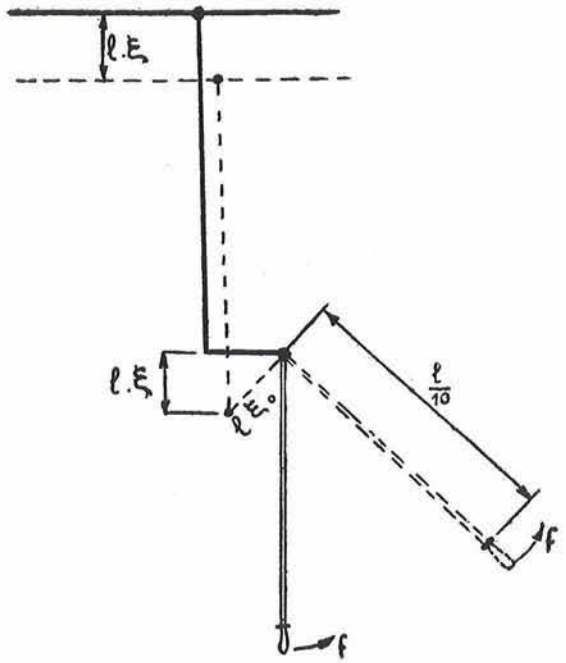


Fig. 9

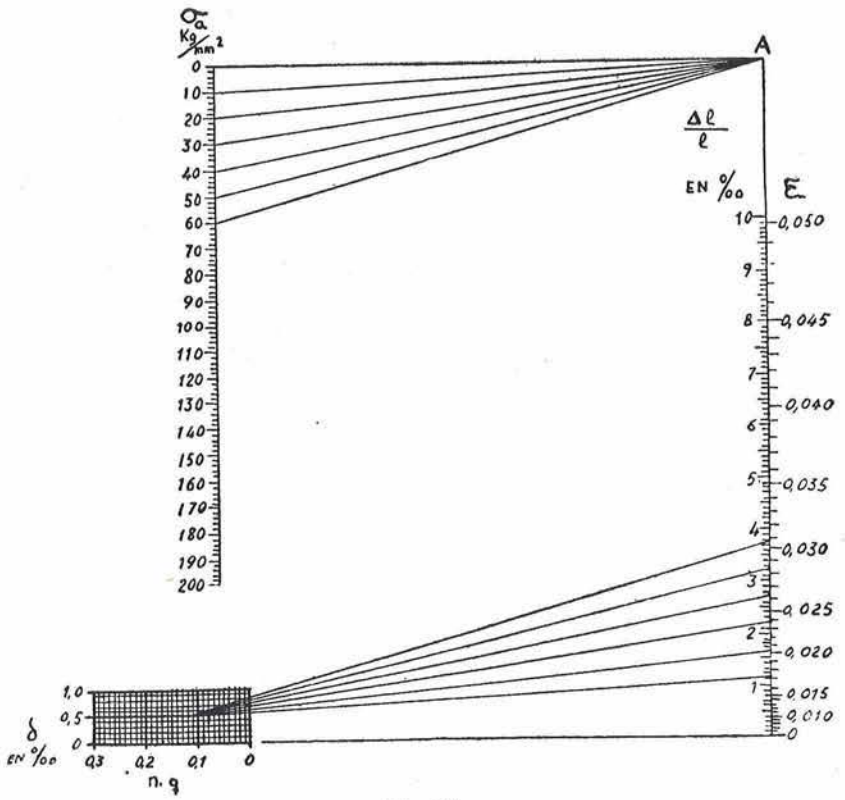


Fig 10

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

837-4-3 FABRICA FRANCESA DE VIGUETAS DE HORMIGON PRETENSADO PARA FORJADOS.

(Prestressed concrete makes joists for french floors)

Editorial

De: "Concrete Quaterly", Nº 5.- Enero 1949

S I N O P S I S

Se describe en este artículo un procedimiento de fabricación de viguetas de hormigón pretensado para forjados de pisos, mediante el cual se obtiene, con gran sencillez, rápida y económicamente, piezas de buena calidad.

En 1945, se construyó en Orleans (Francia) una fábrica de viguetas de hormigón pretensado, para forjados. La longitud de las piezas obtenidas varía entre los 3,65 y los 4,60 m. Los moldes empleados son de chapa de acero y están constituidos - por un fondo plano y costeros articulados sujetos por los dos testeros.

El proceso de fabricación se divide en varias etapas. En la primera se engrasan las superficies del molde que han - de quedar en contacto con el hormigón. A continuación se colocan los alambres de la armadura fijándolos en uno de los testeros e introduciéndolos a través de los orificios adecuados

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

practicados en el otro, para anclarlos en una placa móvil situada paralelamente, por la parte exterior.

En la tercera etapa se tesan los alambres separando la placa móvil del testero correspondiente por medio de un gato hidráulico (Fig. 1). Cuando la armadura ha alcanzado la tensión requerida, se fija la placa de anclaje con el auxilio de unos tornillos, y el molde se traslada a una mesa de vibrado para las 4ª y 5ª etapas de la fabricación.

La cuarta etapa es la del hormigonado de los moldes, para lo cual se dispone paralelamente, de dos en dos, sobre la mesa de vibrado . Una tolva prevista de vertedero doble, se desliza por un carril colocado por encima de los dos moldes y los llena simultáneamente. Mientras se realiza el vertido, la mesa está sometida a vibración con el fin de obtener un hormigón de buena calidad y densidad uniforme.

La quinta etapa consiste en someter el hormigón a un nuevo vibrado y compresión para eliminar cualquier pequeño exceso de agua que pudiera existir. Para ello se tapan los moldes colocándoles encima un simple perfil U enlazado a un compresor (Fig. 2).

Finalmente, se introducen las viguetas en una cámara de vapor a la presión atmosférica, para acelerar su fraguado y endurecimiento. (Fig.3). A las dos horas, se sacan de la cámara y pueden ya ser desmoldadas. De esta manera, cada molde puede ser

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

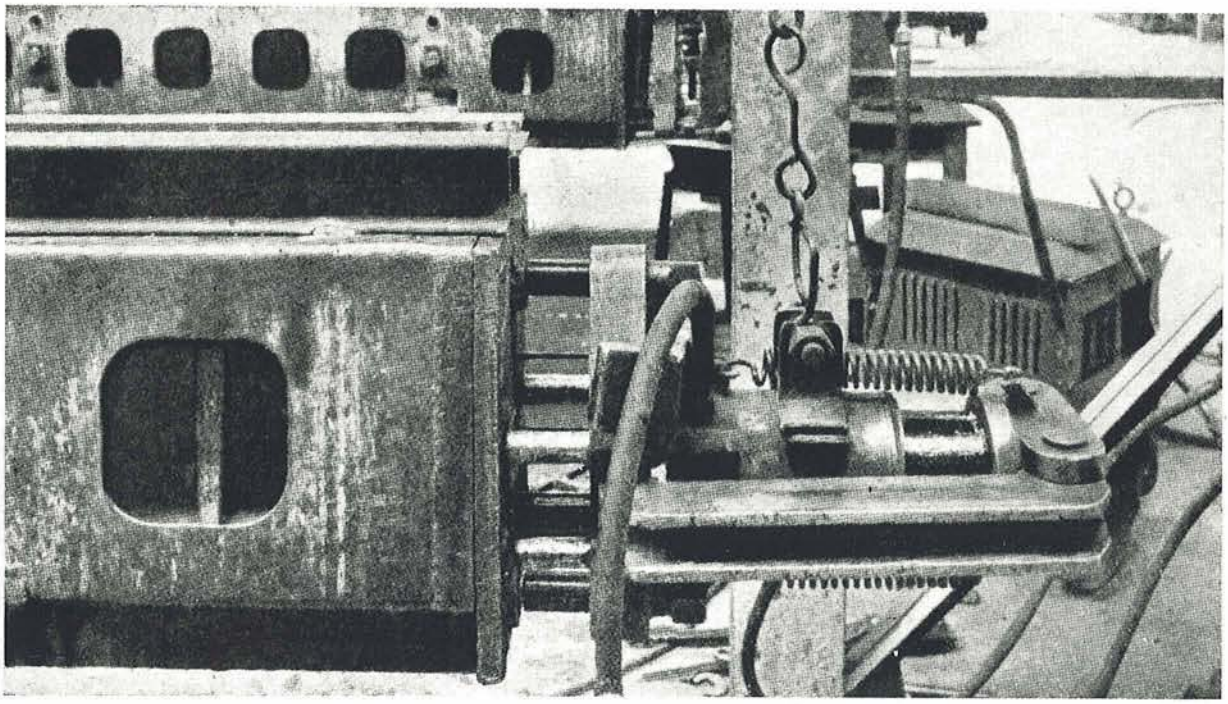


Fig. 1
Gato hidráulico para el tesado de la armadura.

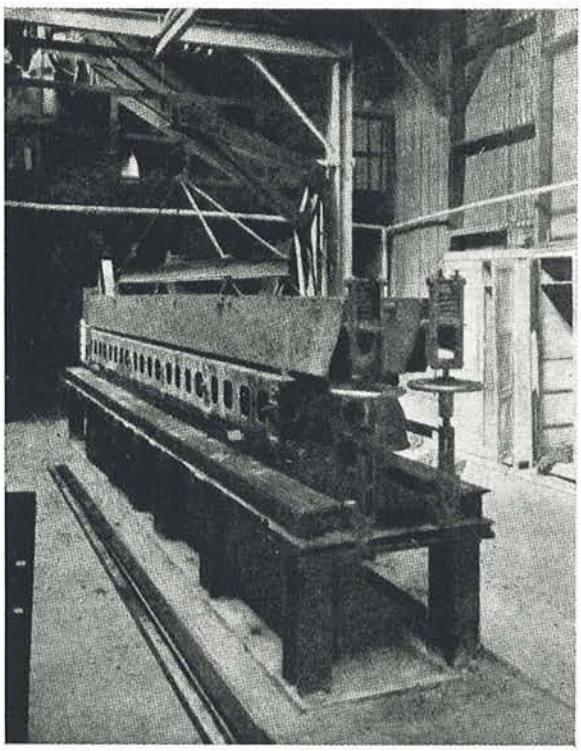


Fig. 2
Vibrado bajo presión, de dos moldes llenos.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

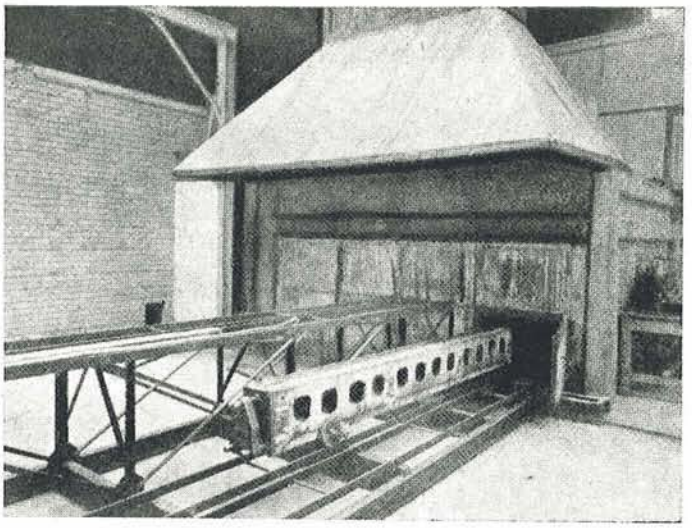


Fig. 3
Introducción de uno de los moldes en la cámara de vapor.

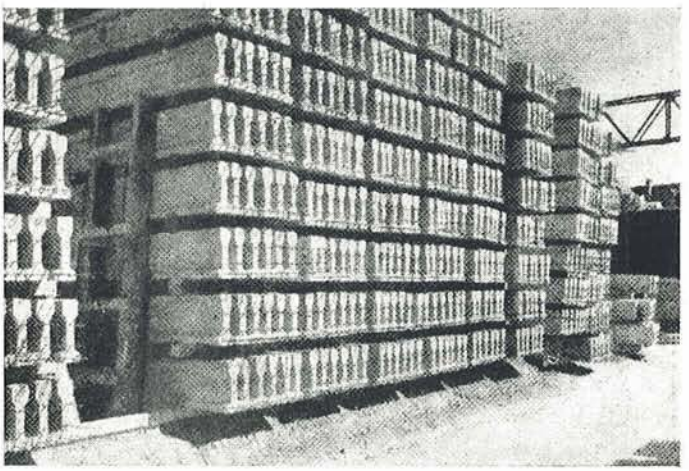


Fig. 4
Vista de las viguetas ya terminadas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

utilizado dos veces en una misma jornada de trabajo.

En el proceso entero de fabricación, se emplean sólamente unas tres horas y media. (Fig.3).

Por regla general, una de cada treinta piezas fabricadas se somete a ensayo.

Esta nueva aplicación del hormigón pretensado, proporcionará un considerable ahorro de madera y acero en la construcción de viviendas.

R. P. A.

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026



Documento descargado de www.e-ache.com el 24/11/2026