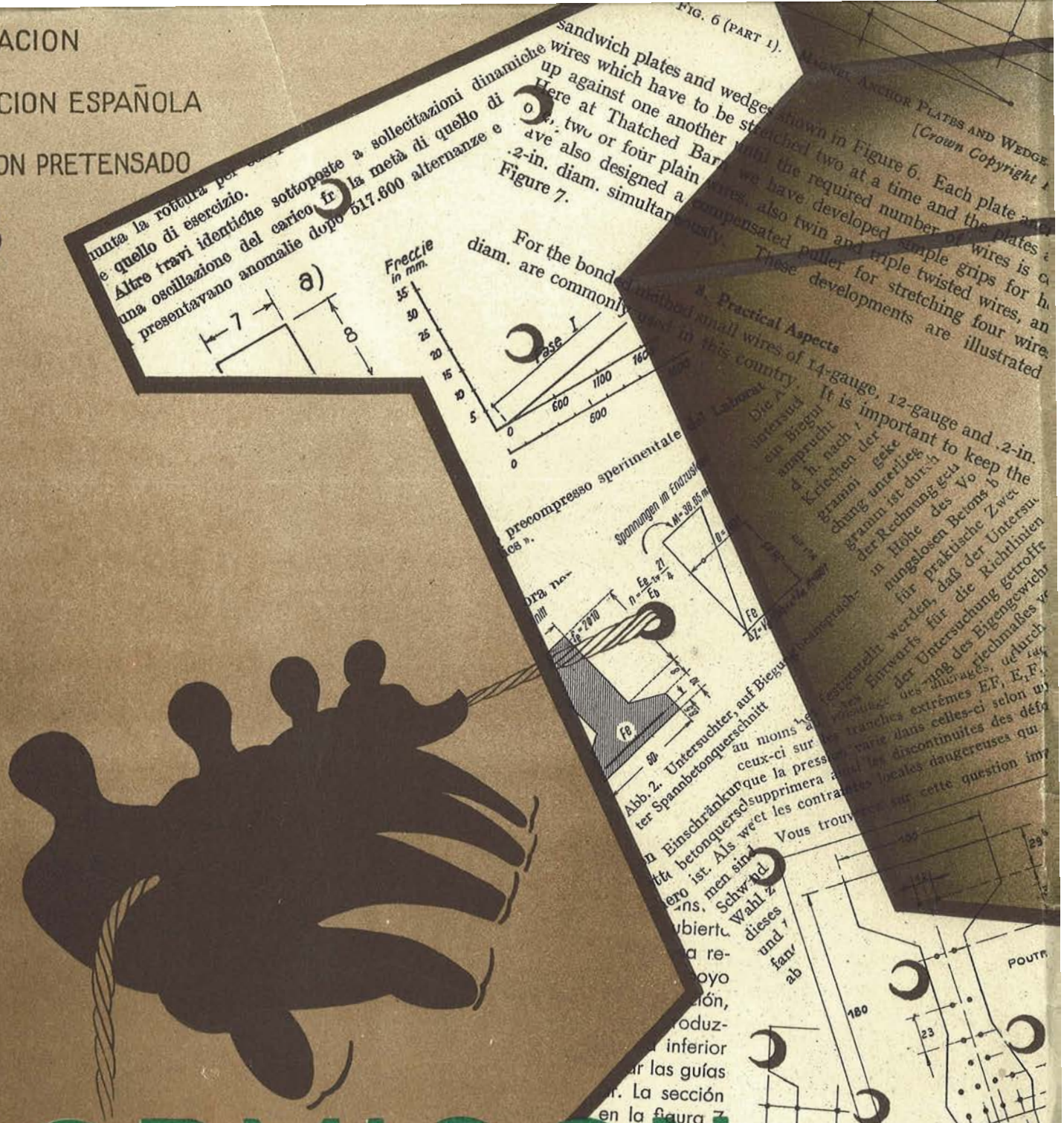
PUBLICACION
DE LA
ASOCIACION ESPAÑOLA
DEL
HORMIGON PRETENSADO

3



HORMIGON PRETENSADO

ULTIMAS NOTICIAS

INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

Documento descargado de www.e-ache.com

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

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 3.

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

I N D I C E

457-1-1	DIMENSIONADO DE PIEZAS QUE TRABAJAN A FLEXION	Pág.	1
457-2-2	DETERMINACION DEL MOMENTO DE ROTURA EN VIGAS DE HORMIGON PRETENSADO	"	11
457-4-1	LAS DEFORMACIONES LENTAS Y LOS DISPOSITIVOS DE PRETENSADO	"	17
591-2-3	EN BRASIL SE CONSTRUYE UN PUENTE DE HORMIGON PRETENSADO	"	23
591-4-1	DEPOSITOS Y TUBERIAS DE HORMIGON PRETENSADO	"	25
837-4-2	UNA FABRICA MODELO DE TRAVIESAS DE HORMIGON PRETENSADO	"	35

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 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

457-1-1 DIMENSIONADO DE PIEZAS QUE TRABAJAN A FLEXION

Por: Rafael Piñeiro.

S I N O P S I S

En el presente artículo se explica, de un modo elemental, el comportamiento elástico de las piezas de hormigón pretensado - sometidas a flexión, del que se deduce un procedimiento rápido para el cálculo de la tensión de precompresión.

También se indican las fórmulas aplicables al dimensionado de elementos estructurales de sección rectangular.

Se sabe que el hormigón, material constructivo que ofrece una buena resistencia a compresión, apenas es capaz de soportar solicitaciones de tracción, por cuyo motivo, en los proyectos de elementos estructurales que hayan de trabajar a flexión, es corriente despreciar para el cálculo la zona de tracciones del hormigón y colocar en ella la armadura o número de redondos suficientes para absorber la totalidad de los esfuerzos de tal naturaleza. Esto - implica un gasto inútil de material, toda vez que el hormigón colocado en dicha zona de tracciones, resulta casi ineficaz desde el - punto de vista resistente de la estructura.

A obviar este inconveniente vino la nueva técnica del hormigón pretensado que, según la definición dada por M. Ritter y

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Lardy[1], se basa en el principio de eliminar los esfuerzos de tracción en el hormigón, introduciendo, con anterioridad a la aplicación de las cargas, fuerzas artificiales de compresión, obtenidas por el pretesado de alambres convenientemente situados, de tal manera que el estado de tensión se transforma en un estado de compresión compuesta.

Es de hacer notar el carácter esencialmente distinto de la armadura en los elementos de hormigón armado ordinario y en los de hormigón pretensado. En los primeros, se puede decir que actúa de una manera activa, absorbiendo las tensiones de tracción que se originan con la puesta en carga de la estructura. En los segundos, crea la tensión inicial de compresión, transformando el hormigón en un nuevo material capaz de soportar solicitaciones de compresión y tracción, pero una vez realizado el pretensado y puesta en carga la pieza, puede decirse que, prácticamente, es el hormigón sólo el que resiste la totalidad de los esfuerzos.

Comportamiento elástico de las piezas de hormigón pretensado.

Primer caso.- Esfuerzo axil de pretensado.- (Fig. 1). El esfuerzo axil de pretensado en una pieza, producirá un diagrama de compresiones tal como el a). Por su parte, las solicitaciones exteriores al actuar sobre la pieza darán lugar, en general, a un momento flector, cuyo diagrama de tensiones en la sección, será el b).

(1) Le béton précontraint.- (París.- 1948)

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Por la superposición de efectos, el diagrama final será el c). Se comprende que, conocido b) por las condiciones de trabajo de la estructura, variando a) puede hacerse que las tensiones máximas de - c) no sobrepasen las admisibles en el hormigón de las características del que se disponga para realizar la pieza, permitiendo así la citada superposición de esfuerzos.

Segundo caso.- Esfuerzo excéntrico de pretensado.- En general, resulta más favorable aplicar el esfuerzo de pretensado con una cierta excentricidad. Supóngase el caso en que dicho esfuerzo actúa a una distancia "e" por debajo de la fibra neutra de la sección. Entonces (Fig. 2), su efecto puede considerarse descompuesto en dos: uno de compresión que dará lugar al diagrama 1) y otro de flexión que originará el diagrama 2) con tracciones en la parte superior y compresiones en la inferior. Las solicitaciones externas originarán el diagrama 3) y en conjunto, las tensiones de la sección se distribuirán con arreglo al 4) siendo $\sigma_c = a_s - b_s + c_s$ y $\sigma_t = a_i + b_i - c_i$.

Siempre podrá encontrarse una combinación adecuada de la que resulten unas tensiones, σ_c y σ_t inferiores a las máximas admisibles.

Cálculo rápido de la tensión de precompresión.- Sea (Fig. 3) una viga de sección cualquiera, de luz "l", apoyada en ambos extremos, y sometida, por ejemplo, a una sobrecarga uniformemente repartida. Tal viga, antes de su puesta en carga, estará sometida exclusiva-

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

mente al momento originado por su peso propio M_p. La sobrecarga, dará lugar a otro momento, M_s y en definitiva, sobre la pieza en servicio, actuará un momento total M_t igual a la suma de los dos anteriores: $M_t = M_p + M_s$.

Notación utilizada

M_p = Momento producido por el peso propio.

M_s = Momento producido por la sobrecarga.

M_t = Momento total

Ω = Area de la sección de la pieza.

ω_a = Area de la sección de la armadura.

I = Momento de inercia de la sección de la pieza respecto al eje que pasa por su c.d.g.

v_i = Distancia del c.d.g. a la fibra extrema inferior.

v_s = Idem. a la fibra extrema superior.

W_i = Momento resistente I/v_i respecto a la fibra inferior.

W_s = Momento resistente I/v_s respecto a la fibra superior.

N = Esfuerzo de pretensado.

e = Excentricidad de la armadura (Positiva por debajo del eje baricéntrico).

σ_{max} = Máxima tensión de compresión admisible en el hormigón.

σ_{min} = Máxima tensión de tracción admisible en el hormigón.

σ_{rb} = Tensión de rotura del hormigón.

σ_{ra} = Tensión de rotura del acero.

σ_{sp} = Tensión efectiva de la fibra superior en la pieza sin sobrecarga.

σ_{ip} = Tensión efectiva de la fibra inferior en la pieza de sobrecarga.

σ_{st} = Tensión efectiva de la fibra superior en la pieza con sobrecarga.

σ_{it} = Tensión efectiva de la fibra inferior en la pieza sin sobrecarga.

Con arreglo a esta anotación y tomando como positivas las compresiones, como negativas las tracciones, como momentos positi-

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

vos los que crean compresiones en la fibra superior y tracciones en la inferior, y como negativos los inversos, se pueden establecer las siguientes ecuaciones de equilibrio, deducidas de la simple aplicación de la fórmula de Navier:

Tensión efectiva en la fibra superior de la viga descargada (Actuando sólo su peso propio).

a) $$\sigma_{sp} = \frac{N}{\Omega} + \frac{M_p}{I/v_s} - \frac{N.e}{I/v_s} = \frac{N}{\Omega} + \frac{M_p - Ne}{W_s}$$

Tensión efectiva en la fibra inferior de la viga descargada.

b) $$\sigma_{ip} = \frac{N}{\Omega} - \frac{M_p}{I/v_i} + \frac{N.e}{I/v_i} = \frac{N}{\Omega} - \frac{M_p - N.e}{W_i}$$

Tensión efectiva en la fibra superior de la viga cargada.

c) $$\sigma_{st} = \frac{N}{\Omega} + \frac{M_t}{I/v_s} - \frac{N.e}{I/v_s} = \frac{N}{\Omega} + \frac{M_t - N.e}{W_s}$$

Tensión efectiva en la fibra inferior de la viga cargada

d) $$\sigma_{it} = \frac{N}{\Omega} - \frac{M_t}{I/v_i} + \frac{N.e}{I/v_i} = \frac{N}{\Omega} - \frac{M_t - N.e}{W_i}$$

Evidentemente, siendo σ_{max} y σ_{min} las tensiones máximas y mínima admisibles, deberá verificarse: $\sigma_{sp} \geq \sigma_{min}$; $\sigma_{ip} \leq \sigma_{max}$; $\sigma_{st} \leq \sigma_{max}$; $\sigma_{it} \geq \sigma_{min}$ Si sobre un sistema de ejes coordenados (Fig. 4) se llevan, a escala conveniente, los valores de N sobre el eje de abscisas, y los de $N.e$ sobre el de ordenadas, las cuatro condiciones de seguridad representarán las ecuaciones de cuatro rectas que serán:

1) $$N.e \leq \frac{W_s}{\Omega} N + M_p - \sigma_{min} W_s$$

$$y = \frac{W_s}{\Omega} x + \left[M_p - \sigma_{min} W_s \right]$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

2) $N.e \geq -\frac{W_i}{\Omega} N + M_p + \sigma_{max} W_i$

$$y = -\frac{W_i}{\Omega} x + \left[M_p + \sigma_{max} W_i\right]$$

3) $N.e \geq \frac{W_s}{\Omega} N + M_t - \sigma_{max} W_s$

$$y = \frac{W_s}{\Omega} x + \left[M_t - \sigma_{max} W_s\right]$$

4) $N e \geq -\frac{W_i}{\Omega} N + M_t + \sigma_{min} W_i$

$$y = -\frac{W_i}{\Omega} x + \left[M_t + \sigma_{min} W_i\right]$$

En ellas, las cantidades $\frac{W_i}{\Omega}$ y $\frac{W_s}{\Omega}$, indican los coeficientes angulares y las cantidades entre corchetes las ordenadas en el orígen.

Puede observarse que las ecuaciones 1) y 2) son dos leyes de máximo y las 3) y 4) dos de mínimo, de las ordenadas N.e, luego, como se indica en la fig. 4 cada recta limita la zona de valores posibles de N.e, al otro lado de la zona rayada y el conjunto de todas ellas deja reducida esta zona de posibilidad al cuadrilátero A. Cualquier punto (a) del interior de este cuadrilátero, será solución del problema. Su abscisa dará directamente el valor del esfuerzo de precompresión N, y su ordenada, dividida por la abscisa, el de la excentricidad e ($e = \frac{N e}{N}$).

Generalmente, en la práctica e no puede exceder de una determinada magnitud impuesta por el canto de la pieza y el espesor mínimo indispensable para el recubrimiento de la armadura. Es-

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

to introduce una nueva limitación que viene dada por la recta 5) que, pasando por el orígen, tiene por coeficiente angular el máximo valor posible de e .

En la práctica interesa, con objeto de reducir la armadura, que el esfuerzo N sea el mínimo compatible con las condiciones de seguridad de la estructura. En consecuencia, normalmente, se toma para N el menor valor dado por el gráfico de la figura 4, como posible.

Una vez determinados N y e el cálculo de la sección de armadura necesaria y su colocación, es inmediato. Hay que tener en cuenta que la tensión inicial σ_i dada al acero, que no pueda ser mayor que la tensión de rotura σ_{ra} de este material($\sigma_i \leq \sigma_{ra}$) con el tiempo, disminuye como consecuencia principalmente, de los fenómenos de retracción y fluencia del hormigón y de los de fluencia del acero. La caída total de tensión por estas causas, de acuerdo con el criterio sustentado por la mayor parte de los tratadistas, puede evaluarse con suficiente aproximación en un 20% de la tensión inicial. Es decir, que una tensión inicial σ_i , representa con el tiempo una tensión efectiva σ_a , de valor $\sigma_a = \frac{80\,\sigma_i}{100}$ que es el que tiene que tomarse para el cálculo.

Por consiguiente, la sección de armadura ω_a , vendrá dada por:

$$\omega_a = \frac{N}{\sigma_a}$$

Dividiendo ω_a por el área de la sección de un alambre, se determina el número n de alambres necesarios y su distribu-

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

ción en la pieza se efectuará teniendo en cuenta que el momento de la resultante de todos ellos con relación al eje baricéntrico de la sección de hormigón, ha de ser igual a N.e . En cada caso particular, las condiciones prácticas indicarán la solución más favorable a adoptar por el proyectista.

Tensiones del hormigón. Un hormigón, viene definido, generalmente, por su carga de rotura a compresión σ_{rb}. Para los proyectos de piezas de hormigón pretensado, se suele tomar, con un coeficiente de seguridad igual a 3, $\sigma_{max} = \frac{1}{3}\,\sigma_{rb}$. En cuanto a la tensión mínima admisible, aunque corrientemente se considera que el hormigón no puede trabajar a tracción y por lo tanto σ_{min} debe ser igual a cero, se admite también, en determinadas circunstancias, que dicho material es capaz de resistir, sin agrietarse, una tensión de tracción que puede tomarse igual a $\frac{1}{11}$ de la de compresión, en cuyo caso se tendrá: $\sigma_{min} \cong -\frac{1}{11}\,\sigma_{max} \cong -\frac{1}{33}\,\sigma_{rb}$.

Fórmula de posibilidad y dimensionado de piezas rectangulares.- Sea una viga de sección rectangular. Entonces, $W_s = W_i = W$ y las ecuaciones 1), 2), 3) y 4) quedan:

1') $N.e \gtrsim \frac{W}{\Omega} N + M_p - \sigma_{min} W$

2') $N.e \gtrsim -\frac{W}{\Omega} N + M_p + \sigma_{max} W$

3') $N e \geq \frac{W}{\Omega} N + M_f - \sigma_{max} W$

4') $N e \geq -\frac{W}{\Omega} N + M_f + \sigma_{min} W$

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Sumando 1') y 2'), resulta:

$$5) \qquad 2\,N.e \geq 2\,M_p + W(\sigma_{max} - \sigma_{min})$$

y sumando 3') y 4')

$$6) \qquad 2\,N.e \geq 2\,M_t - W(\sigma_{max} - \sigma_{min})$$

De las desigualdades 5) y 6) se deduce:

$$7) \qquad 2\,M_p + W(\sigma_{max} - \sigma_{min}) \geq 2\,M_t - W(\sigma_{max} - \sigma_{min})$$

$$8) \qquad 2\,W(\sigma_{max} - \sigma_{min}) \geq 2\,M_t - 2\,M_p$$

$$9) \qquad W \geq \frac{M_t - M_p}{\sigma_{max} - \sigma_{min}}$$

Recordando que $M_t - M_p = M_s$ la expresión a) puede escribirse, finalmente:

$$10) \qquad W \geq \frac{M_s}{\sigma_{max} - \sigma_{min}}$$

cuya interpretación indica que el momento resistente de la sección ha de ser igual o mayor al momento flector producido por la sobrecarga, dividido por la diferencia de tensiones admisibles, cantidades todas datos del problema de dimensionado a resolver, y que permiten determinar W .

En una sección rectangular como la que se considera, de ancho a y canto c, el momento resistente viene dado por la fórmula

$$11) \qquad W = \frac{a\,c^2}{6}$$

Llamando

$$12) \qquad \frac{M_s}{\sigma_{max} - \sigma_{min}} = K$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

y sustituyendo los valores 11) y 12) en la expresión 10)

13) $\frac{a \cdot c^2}{6} \geq k$

14) $a\, c^2 \geq 6k$

En la práctica, o bien el canto, o bien el ancho de la viga, vienen impuestos por las condiciones de la estructura, en cuyo caso la ecuación 14) permite determinar inmediatamente la dimensión desconocida.

a) = Canto dado:

15) $a \geq \frac{6k}{c^2}$

b) = Ancho dado:

16) $c \geq \sqrt{\frac{6k}{a}}$

Otras veces, por el contrario, se impone una relación determinada entre ancho y canto $\frac{a}{c} = B$ y entonces:

17) $B \cdot c \cdot c^2 \geq 6k$

de donde, finalmente:

18) $c \geq \sqrt[3]{\frac{6k}{B}}$

R. P. A.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

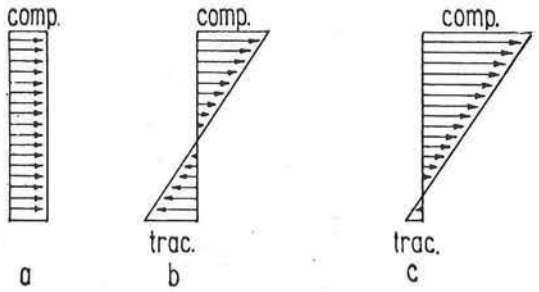


Fig. 1

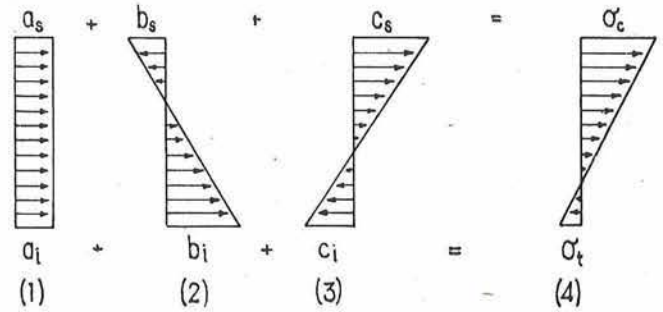


Fig. 2

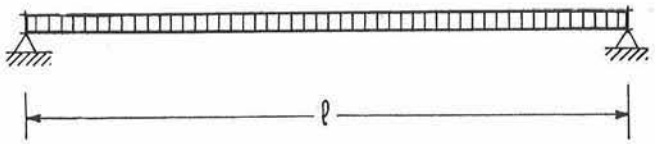


Fig. 3

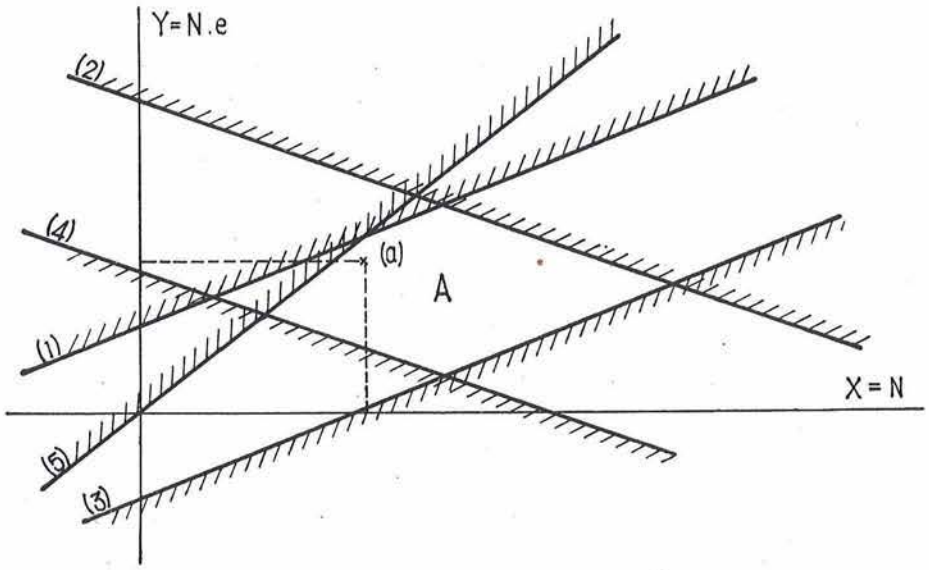


Fig. 4

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

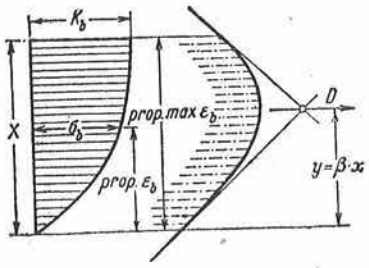


Fig. 1

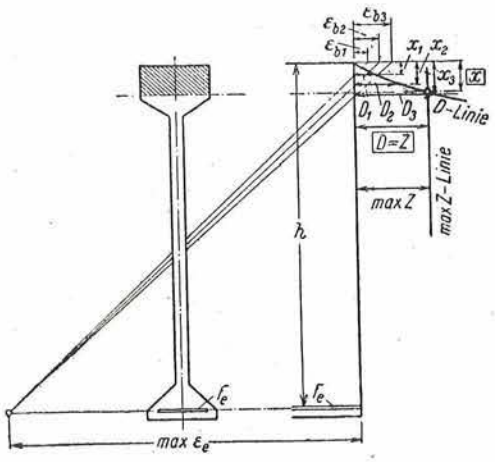
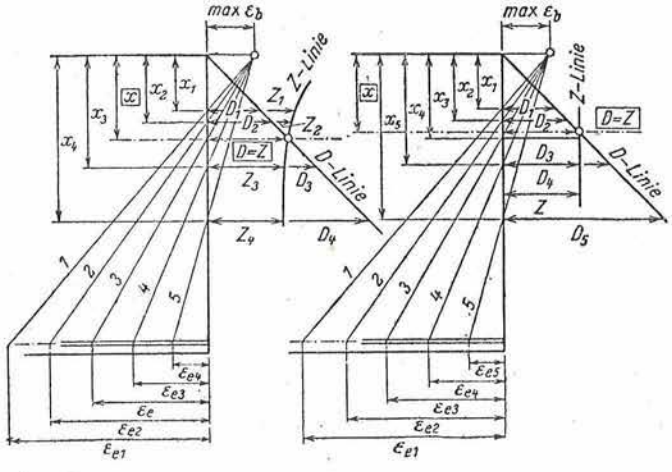


Fig. 4



F g. 2 a

Fig. 2 b

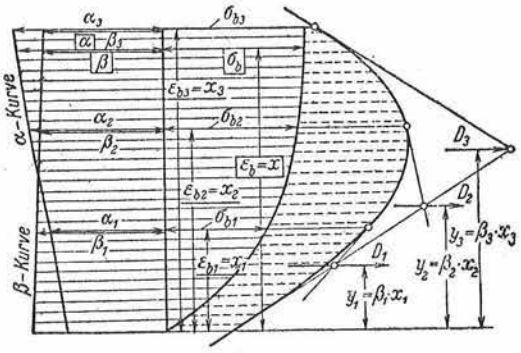


Fig. 5

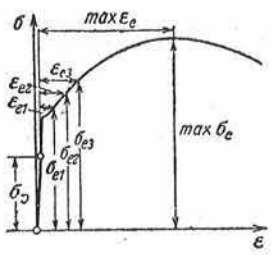


Fig. 3 a

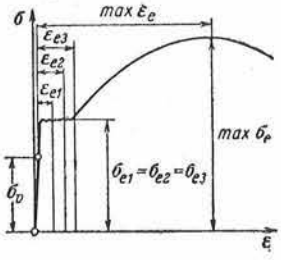


Fig. 3 b

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

457-2-2 DETERMINACION DEL MOMENTO DE ROTURA EN VIGAS DE HORMIGON PRETENSADO

(Die Ermittlung des Bruchmoments von Spannbetonträger)

Prof. Ing. Emil Mörsch

De: "DIE BAUTECHNIK", abril 1949.

S I N O P S I S

El autor indica un sencillo procedimiento gráfico para la determinación de los momentos de rotura en la viga de hormigón pretensado, en los casos de que sea originada por el fallo de la armadura o bien del área de compresión.

Cuando se trata de hallar el momento de rotura de una viga de hormigón pretensado, se tiene que conocer, a modo de dato, el diagrama de tensión-deformación del hormigón y del acero hasta el límite de rotura, ya que la compresión de rotura del hormigón y la tracción de rotura del acero están en la zona no elástica.

Todas las suposiciones teóricas que se hacen sobre la citada curva $\sigma - \varepsilon$, son de suyo imprecisas y no ofrecen una objetiva garantía de que correspondan a la realidad. Desde luego las curvas $\sigma - \varepsilon$, halladas experimentalmente para una misma clase de hormigón y de acero, pueden ser siempre utilizadas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

En la rotura hay que distinguir si se ha producido por el fallo del hormigón o del acero tensado, ya que en el caso en que el hormigón está agrietado por tracción, las únicas fuerzas internas que actúan en la sección son el esfuerzo de tracción $Z = F_e \sigma_e$ en el acero y el esfuerzo D en la zona de compresión.

El equilibrio exige que $Z = D$ y $M = D(h - x + y)$. Admitiendo el principio de que las secciones permanecen planas, o mejor, que existe proporcionalidad entre las deformaciones longitudinales de las fibras y la distancia a la fibra neutra, el reparto de tensiones en la zona de compresión es una gráfica de la curva $\sigma - \varepsilon$ del hormigón. La profundidad de la fibra neutra se obtiene por la intersección de la sección con la recta que une la deformación ε_b del borde superior con la deformación ε_e de la armadura.

Para ε_e hay que tomar solo la deformación que corresponda a la tracción del acero $\sigma_e - \sigma_v$ que sobrepasa a la tracción σ_v que se ejerce en el pretensado.

Las siguientes consideraciones sólo son válidas para b constante (Zona de compresión rectangular).

Teniendo en cuenta una anchura variable el estudio se puede aplicar también a secciones cualquiera.

1) Rotura por agotamiento del hormigón

Dividiendo (Fig. 1) la superficie limitada por el diagrama de tensiones del hormigón para una x cualquiera, en bandas ho-

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

rizontales pueden calcularse sus áreas y dibujar un funicular que determine la posición de la resultante D. Si se multiplican las áreas de las bandas por la anchura b de las zonas de compresión se obtiene para cada banda su correspondiente compresión y la magnitud de D.

Si se modifica la altura x de la zona de compresión para un mismo valor de K_b entonces D e y varían proporcionalmente - con x.

Por tanto puede escribirse

$$D = \alpha . K_b . b . x$$

y

$$y = \beta x$$

Los valores α y β se hallan por medio de la determinación de las áreas y su funicular correspondiente.

$$\alpha = \frac{D}{K_b . x . b} \qquad \beta = \frac{y}{x}$$

Llevando (Fig. 2a) sobre el borde superior de la sección la deformación ε_b máxima, se trazan a partir de ella una serie de rectas, 1, 2, 3 ... que definen unas profundidades de fibra - neutra x_1, x_2, x_3 ..... y unas deformaciones de la armadura ε_{e1}, $\varepsilon_{e2}, \varepsilon_{e3}$.....

Del diagrama de tensión deformación del acero se halla la tensión en la armadura como sigue:

Ya que la dilatación del hormigón es despreciable compa-

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

rada con la del acero cuando éste está sometido a la tensión de - pretesado σ_{p_1} se determinan las tensiones σ_e a partir de las deformaciones ε_{e_1} , ε_{e_2} , ε_{e_3} por medio del citado diagrama (Fig. 3a).

Con ello se calculan $Z_1 = F_e \cdot \sigma_{e_1}$, $Z_2 = F_e \cdot \sigma_{e_2}$, $Z_3 = F_e \cdot \sigma_{e_3}$, esfuerzos que se llevan perpendicularmente a la sección, en la correspondiente línea neutra, con lo que se establece la curva -Z representada en la(Fig. 2a). Lo mismo se hace con el esfuerzo de - compresión

$$D_1 = \alpha \cdot K_b \cdot x_1 \, b \quad , \quad D_2 = \alpha \cdot K_b \cdot x_2 \cdot b \quad , \quad D = \alpha \cdot K_b \cdot x_3 \cdot b$$

estableciéndose la recta -D que pasa por el extremo superior de la sección (Fig. 2a). Esta, corta a la curva -Z en la fibra neutra real ya que en el punto de intersección

$$Z = F_e \, \sigma_e = D = \alpha \cdot K_b \, x \, b$$

El momento de rotura es entonces:

$$M_{max} = D(h - x + y) = \alpha K_b x b (h - x + \beta x)$$

Si el acero tiene marcado límite de fluencia, (Fig. 3b) - entonces este queda patente en la curva Z que entonces tiene un - determinado trozo paralelo a la sección (Fig. 2b). Si este trozo es muy largo entonces el punto de intersección de la curva Z- con la recta D, caerá justamente en este trozo. (Fig. 2a y 2b).

2. Rotura por agotamiento de la armadura pretesa

Cuando la rotura de la viga se debe al agotamiento de la armadura pretesa, entonces, esta ha alcanzado la tensión σ_{ε} máx.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

y la dilatación correspondiente. Entonces se conoce también -

$$Z_{max} = F_e \cdot \sigma_{e\,max}$$

En este caso se lleva (fig. 4) la ε_e máx. a la altura - de la armadura perpendicularmente a la sección y a partir de este punto trazamos una serie de rectas que cada vez definen una - deformación del hormigón $\varepsilon_{b_1} \ldots \varepsilon_{b_2} \ldots \varepsilon_{b_3}$.

La tensiones σ_b que corresponden a las deformaciones ε_{b_1} - $\varepsilon_{b_2} \ldots \varepsilon_{b_3}$ obtenidas de la curva $\sigma - \varepsilon$ del hormigón, delimitan - el gráfico de distribución de tensiones, cuya área y centro de - gravedad pueden ser determinadas. Esto está representado convenientemente en la (fig. 1) por el funicular para el área de las bandas, y si es caso, se puede determinar con él la altura de la resultante de las áreas que están debajo de una banda determinada (Fig. 5)

Estableciendo una relación entre las magnitudes y_1, y_2, y_3 y las x_1, x_2, x_3 correspondientes, se obtienen los valores β - dados por las condiciones:

$$y_1 = \beta_1 x_1 \qquad y_2 = \beta_2 x_2 \qquad y_3 = \beta_3 x_3$$

Asímismo los valores α están dados por las relaciones

$$D_1 = \alpha_1 \cdot \sigma_{b_1} x_1 b\,, \qquad D_2 = \alpha_2 \cdot \sigma_{b_2} x_2 \cdot b\,, \qquad D_3 = \alpha_3 \cdot \sigma_{b_3} x_3 \cdot b\,, \text{ etc.}$$

Llevando los esfuerzos de compresión D_1 D_2 D_3 perpendicularmente a la sección, en la fibra neutra correspondiente se obtiene así la curva de D cuyo punto de intersección con la línea de -

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Z_{max} (fig. 4) define la posición de la fibra neutra. Con esto se obtiene el verdadero valor de x, el acortamiento correspondiente ε_b del borde, la tensión σ_b del hormigón y $y = \beta x$. Además se puede determinar:

$$D = \alpha \, \sigma_b \, x \, b = F_e \, \sigma_{e\,max}$$

y el momento de rotura

$$M_{max} = \alpha \, \sigma_b \times b \left(h - x + y\right)$$

Para poder interpolar α y β fácilmente, se dibuja la curva de estos valores que se determina por puntos por los valores $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ y $\beta_1 \beta_2 \beta_3$ (Fig. 5).

Naturalmente, el estudio aquí esbozado del momento de rotura puede ser aplicado a las vigas corrientes de hormigón armado sin pretensar, sin más que hacer $\sigma_v = 0$.

El marcado límite de fluencia del acero corriente determina el fuerte agrietamiento de flexión y el estado indeseable - al final del Estudio II; el acero costoso de tesar no tiene un periodo de fluencia marcado y esto permite la determinación de - la seguridad contra rotura de la viga de hormigón pretensado. Para esto hace falta determinar experimentalmente la verdadera curva $\sigma - \varepsilon$ de los dos materiales.

J. G. F.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

457-4-1 LAS DEFORMACIONES LENTAS Y LOS DISPOSITIVOS DE PRETENSADO

Por Alfredo Páez Balaca, Ingeniero de Caminos

S I N O P S I S

Uno de los problemas que plantea el cálculo de piezas de hormigón pretensado, es la determinación de la magnitud de las deformaciones no elásticas que pueden aparecer en el transcurso del tiempo. Su perniciosa acción, origina un lento destesado de la armadura que puede romper el equilibrio de esfuerzos establecido en el cálculo y ser orígen de un nuevo estado de tensión distinto del previsto.

Por medio del dispositivo de pretensado preconizado por D. Eduardo Torroja, pueden no solamente eliminarse las deformaciones de acortamiento elástico y de retracción, sino que es posible reducir a límites francamente despreciables los fenómenos de fluencia en el acero y en el hormigón.

Una de las principales ventajas que presenta el hormigón pretensado es la notable reducción en el peso propio de sus elementos resistentes. Esta propiedad, junto con la posibilidad de empleo de aceros de alta calidad y hormigones de gran resistencia, fabricados en taller o moldeados en obra, puede conducir a una extraordinaria ligereza de dimensiones, sumamente adecuada a las grandes estructuras.

Su máxima reducción, se alcanza cuando el dimensionado de las distintas piezas se realiza de un modo tal que, manteniendose la sección de hormigón totalmente activa, se llega bajo la so

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

licitación de rotura, a un agotamiento simultáneo del hormigón a compresión, y del hormigón y el acero de la armadura inferior a tracción.

Es indudable que, en estas circunstancias, el material está aprovechado hasta el límite. El hecho de que las deformaciones del hormigón sean del orden del décimo respecto a las del acero, permite situar a este, desde un principio, fuera del dominio elástico, sin que se pueda producir su rotura más que cuando haya fallado el hormigón por tracción, rompiendo el equilibrio - establecido.

Este procedimiento solo adolece de los riesgos derivados de la acción de los esfuerzos oscilantes en un material que trabaja en las proximidades de la rotura y de la caída de tensión - a que dá lugar el mantenimiento de tal carga a longitud constante. En cuanto al primero, la citada proporción de deformaciones entre el hormigón y el acero hace que el campo de variabilidad - de las deformaciones, de suyo reducido, apenas suponga una débil fluctuación de las tensiones en una zona en la cual el módulo de elasticidad tangente es tan pequeño, que puede admitirse sin grave error, que el acero trabaja a tensión constante aún bajo los más fuertes ciclos de sobrecarga.

En cambio, un material sometido a tan elevados esfuerzos, ha de presentar unas grandes deformaciones lentas cuya magnitud ha de depender de un conjunto de oscuras circunstancias entre -

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

las cuales figura el propio proceso de fabricación.

A menos que una adecuada experimentación justifique lo - contrario, no parece que sea posible conjeturar, con una cierta aproximación, cual ha de ser el comportamiento del material y cuales las deformaciones que quepan esperar. Por otra parte, el fundamentar todo un dimensionado en unas cifras que representen un - valor medio de los distintos aceros de diferentes calidades empleados en el extranjero, pero que no sean apropiados al material realmente utilizado, supone una peligrosa extrapolación. Toda caída - de tensión en la armadura que, en el transcurso del tiempo supone a la prevista, conduce al incumplimiento de las condiciones de - equilibrio admitidas, y con ello, el agotamiento prematuro de la resistencia a la tracción del hormigón. Una vez alcanzado este - límite, se produce la rotura, por metástasis, del hormigón a compresión o del acero según que este último sea o no capaz de sufrir un nuevo incremento en su deformación.

Pero no es solo la fluencia del acero la única causa capaz de producir un descenso de tensión en las armaduras. El deslizamiento de los cables durante el anclaje, las deformaciones del hormigón bajo la acción del pretensado, el acortamiento sufrido por - este material por retracción y las deformaciones lentas originadas por la carga transmitida por el pretensado, dan lugar a una serie de fenómenos cuyo efecto es el de destesar los hilos.

Al igual que los fenómenos de fluencia del acero, su va-

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

loración es un tanto imprecisa. El procedimiento seguido para el tesado de las armaduras, la calidad de los materiales empleados y las mismas condiciones climatológicas, influyen como parámetros - de difícil estimación arrojando una sombra de incertidumbre en el comportamiento final de la estructura.

La solución lógica estriba en reducir estos efectos a un mínimo y poder acotar así su valor entre unos estrechos límites que permitan conocer el estado de tensión de los distintos elementos con una tolerancia compatible con las necesidades prácticas.

Probablemente uno de los dispositivos de tesado que garantizan una mayor reducción de estos efectos parásitos en el - preconizado por D. Eduardo Torroja. La armadura, alojada en el interior de unos conductos o enhebrada a través de unos cercos - que sobresalen de la viga, se anclan, a uno y otro lado, en una - pieza transversal de hormigón situada a todo lo ancho de la viga o conjunto de vigas a pretensar.

Por medio de unos gatos introducidos entre la viga y la pieza transversal de anclaje, se produce el tesado de la armadura, por desplazamiento del anclaje y la compresión simultánea de la viga.

Una vez alcanzada la tensión requerida, se hormigonan - unos bloques entre gatos que mantienen la deformación, pudiéndose retirar éstos cuando el hormigón haya endurecido.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

La característica esencial de este procedimiento, estriba en la extraordinaria facilidad con que puede repetirse un nuevo - proceso de pretensado correctivo con todas las ventajas que de él se derivan.

Según se desprende de los ensayos realizados por Magnel sobre aceros para hormigón pretensado, una armadura, que durante los dos primeros minutos se ha cargado con una tensión $\sigma_2 = 1,1\,\sigma_1$ para bajar después a una tensión σ_1, sufre una caída de tensión, cuando se la mantiene a longitud constante, que dura 15 días, pasados los cuales no se aprecia ninguna alteración en su estado tensional.

Por consiguiente, si n es el número de alambres que poseen las armaduras de una viga, y σ_r la tensión mínima de rotura sobre n ensayos, parece lógico comenzar por tesar los hilos - a una carga σ_r por el procedimiento descrito, manteniendo los gatos en acción durante cinco minutos, pasados los cuales, se rebaja la tensión a $\sigma_t = 0,9\,\sigma_m$ hormigonando los espacios entre los gatos y retirandolos una vez hayan endurecido los bloques.

Transcurridos dos meses, se vuelven a tesar los cables. - En este plazo, se han producido las más importantes deformaciones plásticas y de retracción, mientras que según se deduce de los ensayos realizados por Magnel, Campus y Freyssinet, las deformaciones diferidas que pueden aparecer pasado este intervalo, son tan pequeñas, que prácticamente pueden considerarse como despreciables.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Si σ es la tensión de la armadura supuesta en el cálculo, basta con introducir en esta segunda maniobra de corrección una tensión $\sigma_c = 1{,}02\,\sigma = 0{,}92\,\sigma_r$ para poder asegurar que la tensión de cálculo $\sigma = 0{,}9\,\sigma_r$ se mantendrá a lo largo del tiempo.

Quedan así eliminadas todas las indeterminaciones debidas al desconocimiento de los distintos fenómenos perturbadores. Mediante un esmerado control del hormigonado de los espacios entre gatos, así como de las cajas ocupadas por ellos en la maniobra definitiva, puede conseguirse que sea despreciable la caída de tensión por estos conceptos, garantizándose así la perfecta concordancia entre las hipótesis efectuadas y las condiciones reales de trabajo.

El hecho de que se haya fijado la relación $\sigma = 0{,}9\,\sigma_r$ se basa en la conveniencia de establecer un cierto márgen para que pueda producirse, sin riesgo alguno, un alargamiento adicional de los alambres de 0,0036. De un modo más preciso, este límite se ha establecido partiendo de la base de que solo se alcance la tensión de rotura cuando el alargamiento unitario adicional sea de 0,0036 x 3, o sea, el triple del necesario para dar lugar a la rotura del hormigón a tracción.

A. P. B.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

591-2-3 EN BRASIL SE CONSTRUYE UN PUENTE DE HORMIGON PRETENSADO

(Brazilians Build a 15 - Span Prestressed Bridge)

Editorial

De: "ENGINEERING NEWS-RECORD", julio 1949.

Este puente, denominado Puente Galeao, está todavía incompleto pero ha sido ya abierto al tráfico entre la Isla del Gobernador, emplazamiento del más importante aeródromo de la ciudad de Río de Janeiro, y una pequeña isla situada a 370 m. que ya está unida a tierra firma por un puente.

Cuando esté concluido, constará de 6 líneas de circulación de 2,6 m. flanqueadas por dos aceras de 2 m.; el ancho total será pues de 20 m. Construido con una ligera pendiente, está dividido en 15 tramos de los cuales el más largo es de 43,5 m. dos tienen 34,3 m. dos 28,2 y los 10 restantes 19 m. Sobre las pilas se colocan, apoyadas simplemente, 19 vigas a 1,11 m. de centro a centro. Estas son de sección constante con excepción de las más largas (las centrales) que tienen 1,90 m. el centro y 1,55 m. en los extremos. Las más cortas son de 0,94 m.

La sección recta (doble T modificada), varía en el espesor del nervio central, siendo menor en el centro y mayor en los extremos y las vigas presentan arriostramientos cada 6 m.

La precompresión del hormigón se hace mediante cables de

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

acero de 12 alambres de 4,7 mm., con arreglo al método Freyssinet.

Cada tramo del puente, es soportado sobre tres soportes de 2 m. de diámetro sobre las que va montada una viga de hormigón de 10 m. de largo 1,09 de ancho y 0,99 m. a 1,5 de canto.

Los cables de pretesado se colocan en forma parabólica en el interior de cada viga. En la parte inferior y en el centro de cada viga, hay un haz de 20 cables los que se curvan hacia arriba y van quedando anclados a diferentes puntos de la cara superior de la viga, en tal forma que en los extremos de la misma, solo quedan 8 cables en su interior, los cuales quedan anclados en dichos extremos.

Las tensiones de trabajo utilizadas, fueron de 119 kg/cm^2 para el hormigón y 8.500 Kg/cm^2 para el acero. El acero tiene un límite de elasticidad de 10.546 Kg/cm^2 y una resistencia a la tracción de 16.000 Kg/cm^2. El hormigón, vibrado, muestra a los 90 días una resistencia de 450 Kg/cm^2.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

591-4-1 DEPOSITOS Y TUBERIAS DE HORMIGON PRETENSADO

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

S I N O P S I S

La construcción de grandes depósitos cilíndricos de hormigón armado ha presentado siempre dificultades como consecuencia del agrietamiento que se produce al trabajar a tracción este material en los muros de cierre.

Mediante la técnica del hormigón pretensado, se ha conseguido evitar este inconveniente.

Para construir un depósito es preciso seguir un cierto orden. En primer lugar es necesario preparar el terreno donde se desea ubicar cubriéndole con arena compacta, para que tenga una superficie de apoyo uniforme, y dotándole de tuberías de drenaje. A continuación una solera de gunita de varios centímetros de espesor sirve de fondo del depósito.

El muro de cierre se hormigona entre dos encofrados concéntricos.

El procedimiento Preload para el pretensado de depósitos consiste en colocar un zuncho alrededor del muro de cierre, efectuándose esta operación mediante un dispositivo rápido y económico que proporciona una tensión uniforme a la armadura.

Estos depósitos se cubren con una delgada cúpula, de hormigón armado con tela metálica, pretensado en su periferia por el mismo zuncho del muro de cierre.

1ª Parte: Procedimientos de Construcción

La técnica americana hasta hace -

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

poco tiempo no ha dedicado gran atención al estudio del hormigón pretensado para construir elementos rectos tales como vigas, losas, puentes etc. En cambio, en Norteamérica, el empleo de esto material para construir elementos circulares, ha logrado un alto grado de perfeccionamiento.

El primer procedimiento para pretensar depósitos cilíndricos consistió en tesar las armaduras alrededor de los recipientes para contrarrestar la tracción que sufrían las paredes por la presión del líquido; pero esta técnica fracasó porque no compensaba la retracción y fluencia plástica de los materiales que se empleaban.

Para mantener las paredes de un depósito de hormigón en compresión permanente es imprescindible someter al acero una tensión mínima de tracción de 2.400 Kg/cm^2, para así poder contrarrestar las pérdidas debidas a la retracción y fluencia plástica.

Ciertos aceros tienen una carga de rotura de 5 t/cm^2 y pueden tesarse con seguridad a 3,5 t/cm^2.

Antes de encontrar el mencionado valor mínimo de 2,4 t/cm^2 solamente se aplicaba 1 t/cm^2 como carga de trabajo. Este procedimiento que solo aprovechaba el 30% del esfuerzo que es capaz de resistir el acero ni es práctico ni económico. Por tanto se hizo preciso emplear alambres de acero de alta resistencia para pretensar en sentido vertical y periférico las paredes de los depósitos.

Existe otro alambre especial de alta resistencia que tiene

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

una carga límite de 12.300 Kg/cm^2 y el cual se puede tesar sin - peligro alguno a 9.800 kg/cm^2, proporcionando, después de deducir las pérdidas por fluencia y retracción, una tensión de trabajo de 7.400 Kg/cm^2, o sea el 0,6 de su carga límite.

Como la sección de acero que se necesita para armar las paredes de los depósitos depende de la carga de trabajo, se deduce que la cantidad de varillas de alta resistencia estará en la relación 1000/7.400, o sea, 1/7 de la cantidad de acero que se precisa para el hormigón armado.

El empleo de alambre resistente permite hacer importantes economías de acero y hormigón que oscilan respectivamente del 75 al 85% y del 25 al 50%.

En la tabla que se muestra a continuación se dá un ejemplo de este ahorro detallándose las respectivas cantidades de hormigón y acero que se necesitan para la construcción de los ocho - depósitos de 8,516.300 litros de capacidad, construidos por el - procedimiento Preload y en hormigón corriente.

Material	Procedimiento Preload	Procedimiento corriente.
Hormigón m^3	5535'2	10826'2
Armaduras Kg.	250.000	1.070,400

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Construcción de un depósito por el procedimiento Preload.

La mayor parte de las estructuras de hormigón requieren - que el suelo donde han de asentarse tenga gran rigidez para que - pueda distribuir las cargas concentradas. No es este el caso de los depósitos, ya que el peso del líquido se distribuye uniformemente sobre la superficie del fondo. Como no hay carga locales de únicas propiedades que ha de reunir la solera es que sea impermeable y posea la suficiente flexibilidad para amoldarse a los pequeños asientos del subsuelo.

Por esta razón antes de proyectar o construir cualquier - depósito, se debe dedicar especial atención al terreno en el cual se desea ubicar la obra, examinándole cuidadosamente y comprobando su comportamiento.

Si el suelo natural no es uniforme puede cubrirse con arena compacta para dotarle así de una superficie de apoyo adecuada.

Cuando, por cualquier causa, se acumule agua alrededor del depósito, en cantidad tal que llegue a producir filtraciones y - asientos del terreno, se puede instalar una tubería de drenaje alrededor del mismo.

Para ello se dispone, casi a flor de tierra, y circundando el muro de recinto, a una distancia de 15 cm., una red de tuberías de suficiente diámetro para que pueda desalojar todo el agua del terreno.

Esta corona de tuberías se empalma a una conducción de - desagüe.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

La solera más adecuada para grandes o pequeños depósitos es la constituida por una losa de gunita monolítica, armada con un 5% de acero en cada dirección. Tal piso tiene suficiente flexibilidad para amoldarse a los pequeños movimientos originados por helados o asientos moderados del terreno. Puede prescindirse de las juntas de dilatación si el espesor del fondo no tiene más de 5 cm.

Si la losa fuese de mayor canto no puede prescindirse de la colocación de tales juntas de dilatación.

La pared de los depósitos construidos por el procedimiento Preload pueden hacerse de hormigón o de gunita.

Si el muro se construye de hormigón es preciso levantar un encofrado circular (Ver fig. 1ª) y verter en él la masa, como si se tratase de un depósito corriente; a continuación hay que dejar endurecer el hormigón durante 7 días, como mínimo, antes de aplicarle el alambre de pretensado.

Dentro de la masa de hormigón de los muros, y verticalmente dispuestos, se dejan unos alojamientos alargados que abarcan casi toda la altura del recinto. En estos huecos se colocan unos tirantes de acero especial de gran diámetro (18 a 25 milímetros) cuya tensión efectiva es de 3.500 kg/cm^2. (Su carga de rotura es de 7.000 Kg/cm^2). Estas armaduras se fijan en sus extremos por unos anclajes embebidos en la masa de hormigón (fig. 2). Los tirantes se tesan, parcialmente, una vez hormigonado el muro, y,

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

definitivamente, después de pretensar periféricamente la pared y el anillo inferior de la cúpula, si se construye con ella. A partir del año 1947 los tirantes se suelen sustituir por alambres parecidos a los que se emplean en el pretensado horizontal y tesados a 10.000 kgs/cm^2 mediante gatos hidráulicos.

El fin de estos tirantes es ejercer un pretensado vertical, y eliminar así las grietas horizontales debidas a la retracción y a los esfuerzos secundarios que se originan durante la operación del pretensado periférico.

Si el muro se construye con gunita se levanta un encofrado, para el paramento exterior solamente, y sobre él se efectúa el riego neumático.

Una vez construida la pared se refuerza ésta por medio de un zuncho pretensado de 5 milímetros de diámetro que previamente se ancla al muro por medio de un perno o una placa de retención. Cada cinco o diez espiras se fija por el mismo procedimiento para aminorar las consecuencias de una rotura del hilo durante la operación de montaje; a continuación se le aplica un recubrimiento de gunita, de 15 milímetros de espesor, aproximadamente, a la pared exterior del depósito.

La rotura del alambre, una vez terminada la obra, se puede prácticamente excluir pues la tensión disminuye con el tiempo. Además la capa de gunita hace a la armadura absolutamente solidaria con el hormigón.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Cuando el arrollamiento es de varias capas, cada una de ellas va protegida por otra de gunita.

El cable está devanado en bobinas de 1650 m. La unión de dos terminales se efectúa por medio de un casquillo "torpedo", sencillo y económico, parecido a los utilizados para empalmar hilos telefónicos o eléctricos.

Para efectuar el pretensado periférico se emplea una máquina autopropulsora especial equipada con un motor de 8 a 12 caballos que permite a un sólo hombre tender en una hora de 140 a 160 kilos de cable.

La plataforma de la máquina (ver figs. 3, 4 y 5) lleva el motor, el mecanismo de arrastre, las bobinas y el dispositivo de tesar el hilo. Está suspendida por cables del carretón que rueda por el borde superior de la pared. Un cable sin fin, de 18 milímetros de diámetro circunda al depósito y un bucle de este cable pasa por una polea que al girar obliga a desplazarse el aparato.

En la figura 4 se aprecia perfectamente la disposición de la polea de arrastre y del cable.

Los movimientos verticales de la plataforma se efectúan a mano o mecánicamente por medio de los cables de suspensión que regulan con gran precisión el paso de las espiras.

El tesado del hilo se efectuaba en un principio mediante un tambor con freno, pero este sistema era irregular e incómodo. El procedimiento actual es de gran sencillez. Se hace atravesar el alambre por una hilera de acero extraduro, de un diámetro tal

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

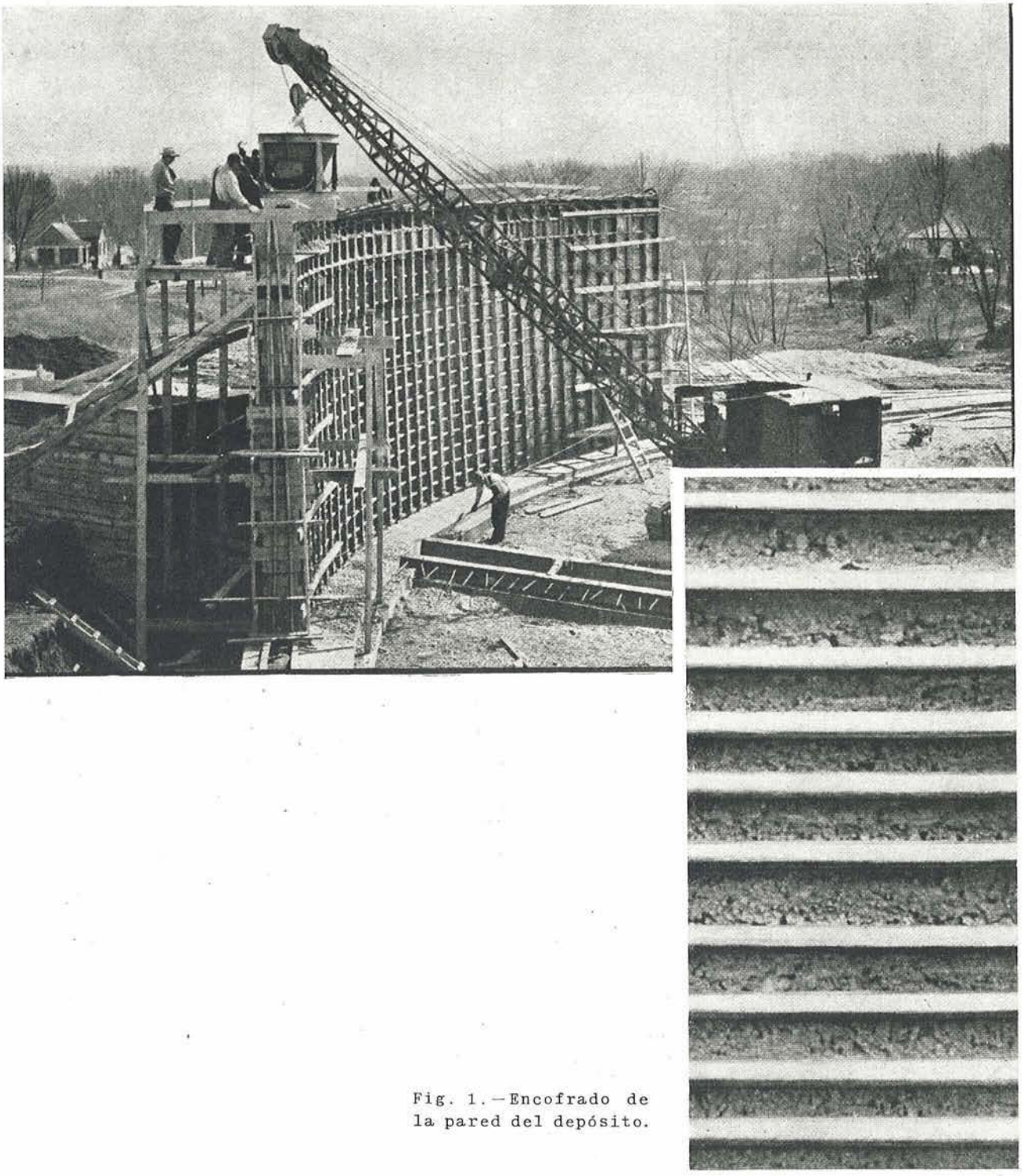


Fig. 1.—Encofrado de la pared del depósito.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

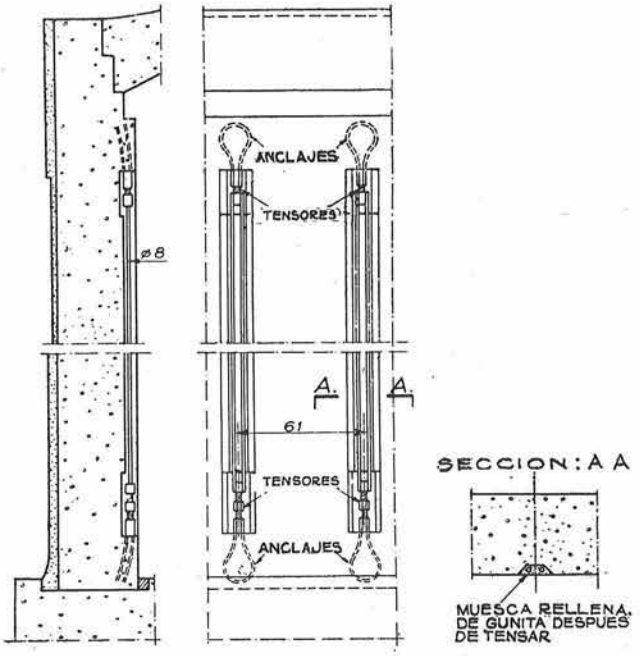


Fig. 2.—Detalle de las barras verticales de pretensado.

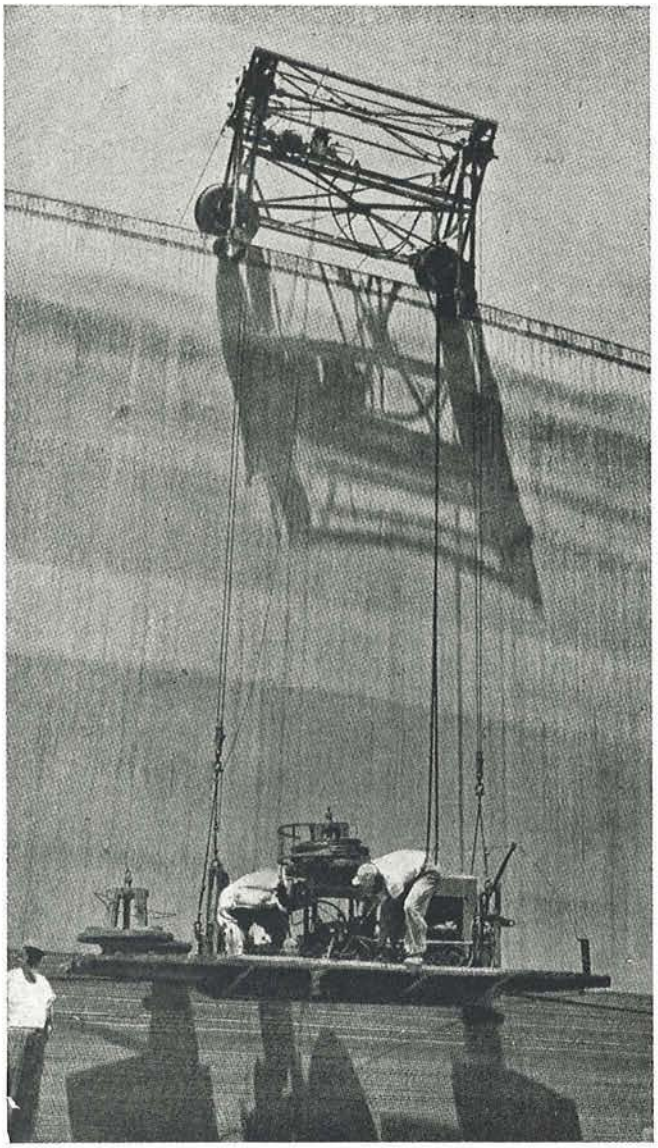


Fig. 3.—Dispositivo para efectuar el pretensado horizontal.

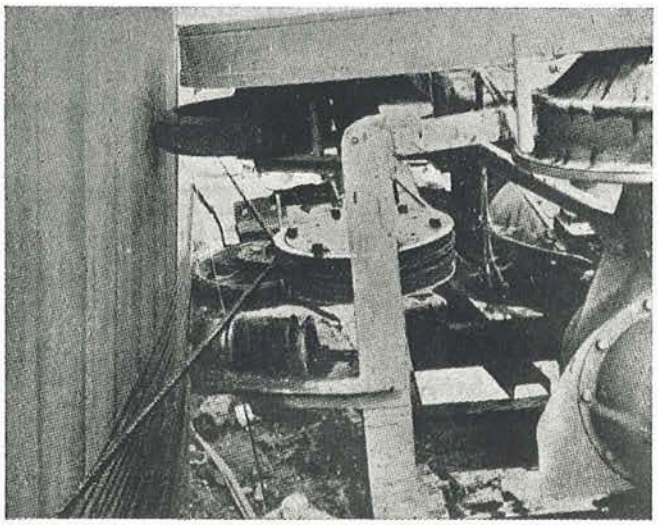


Fig. 4.—Detalle del dispositivo de arrollamiento del cable.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

que el esfuerzo de trefilado sea igual a la tensión que se desea. Antes de comenzar la operación, se determina mediante ensayos el calibre de la hilera que se necesita.

El esfuerzo de tesado varía algunos kilos por milímetro cuadrado, según se va arrollando el cable, en función de la temperatura, de la velocidad y del desgaste de la hilera. Por tanto es preciso tener en cuenta esta pérdida para la determinación de la tensión inicial.

Todas las ruedas de la máquinas van montadas sobre neumáticos. El motor puede ser de gasolina o de aire comprimido. Las máquinas ligeras arrollan el hilo a razón de 1.400 m. de cable a la hora, y las máquinas pesadas, que se utilizan en las grandes obras, lo hacen a velocidades comprendidas entre 1800 y 3200 m. por hora.

La unión entre la pared y el fondo de los depósitos Preload puede ser libre o fija. Es corriente, en estructuras de diámetro inferior a 30 m., enlazar las paredes y el fondo rígidamente por medio de unos redondos embebidos en la base (fig. 6). Los momentos que se crean en las paredes, como consecuencia de este empotramiento, son absorbidos fácilmente por el pretensado vertical.

En los tanques de gran diámetro el pretensado horizontal origina un desplazamiento importante de las paredes laterales con relación a la base. Por tanto se producirá desgarramiento si no se le dota de una junta que permita un cierto deslizamiento duran-

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

te el tendido del cable horizontal. Posteriormente la junta se retaca de asfalto para que quede absolutamente estanca (fig. 7).

Construcción de la cubierta.- El mismo dispositivo que se emplea para el armado horizontal de las paredes de los depósitos - puede utilizarse para tesar el cable del anillo inferior de refuerzo de la cubierta.

La cimbra, para estas cúpulas, generalmente se construye sobre unos pies derechos de madera que se colocan a intervalos convenientes; sobre ellos se disponen unas especies de correas que - forman anillos concéntricos. Sobre estas correas van otros elementos que se pueden asimilar a parecillos que se cortan según la curvatura que se precise. Por último va un entablado de 20 milímetros de grueso que cubre toda la superficie (Fig. 8).

El armado de la cubierta consiste en una malla de tela metálica, que se dispone dentro de la capa de hormigón o de gunita - que se vierte sobre la cimbra. El espesor de este revestimiento - varía de 5 a 15 cm. según el diámetro que tenga el depósito.

Es preciso dejar endurecer el hormigón durante unos días y a continuación, una o más capas, del mismo cable que se emplea para armar horizontalmente la pared, se tesan en el perímetro de la cubierta. Durante esta operación la cúpula aumenta ligeramente de flecha sufriendo compresiones radiales y perifóricas.

Por último, y como protección interior se le aplica un - revestimiento de gunita de unos 3 milímetros de espesor a la pa-

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

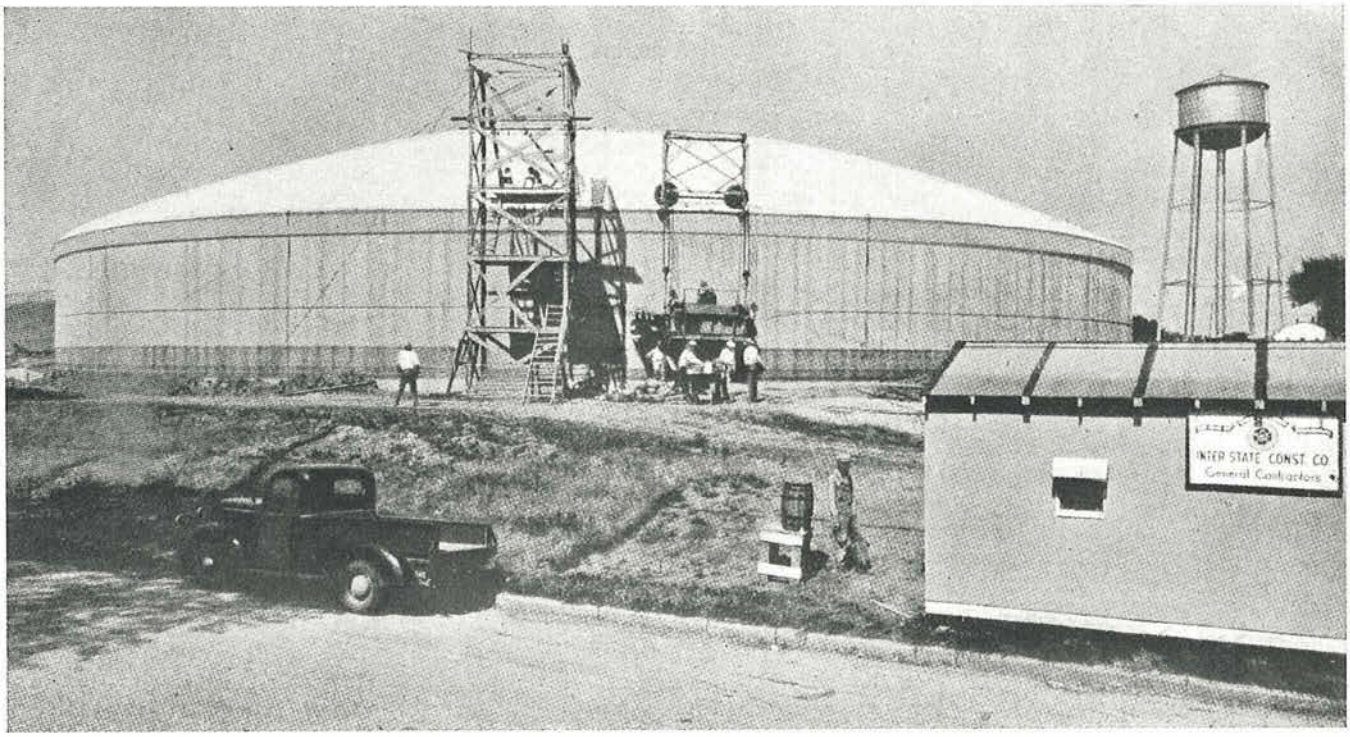


Fig. 5.— Depósito de agua en Kansas City. Diámetro 55 m. Altura 4,95 m. Capacidad 18.000 m³.

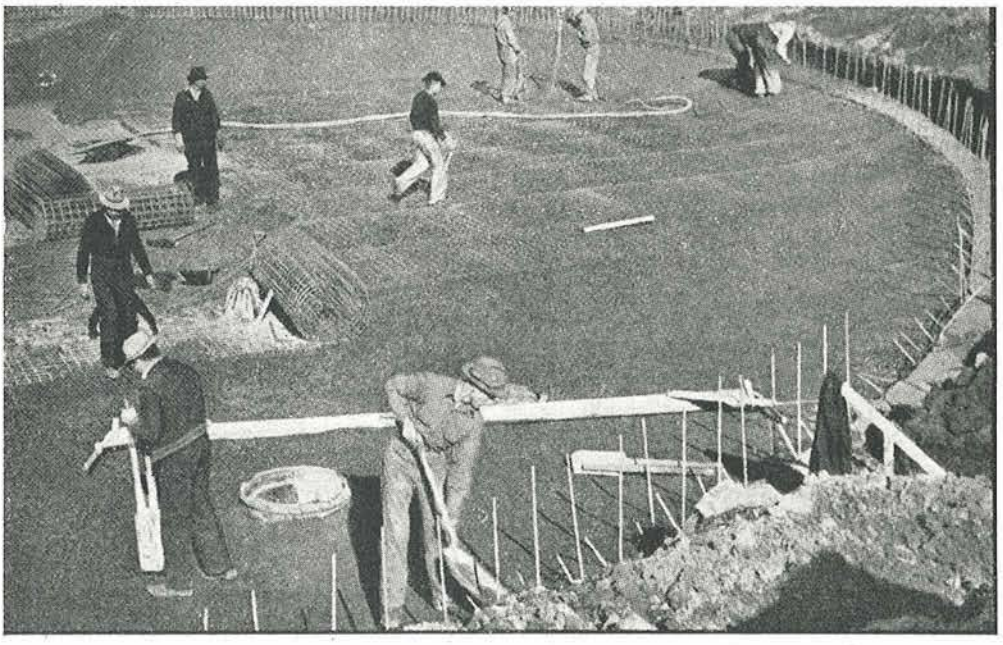


Fig. 6.— Construcción de la solera de 5 cm. de espesor para un depósito de hormigón pretensado.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

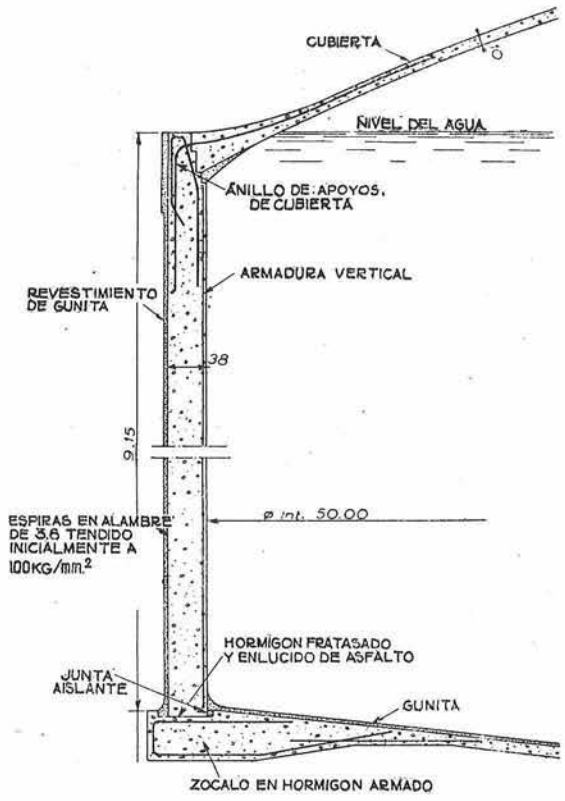


Fig 7.—Sección vertical parcial que muestra la disposición de las armaduras.

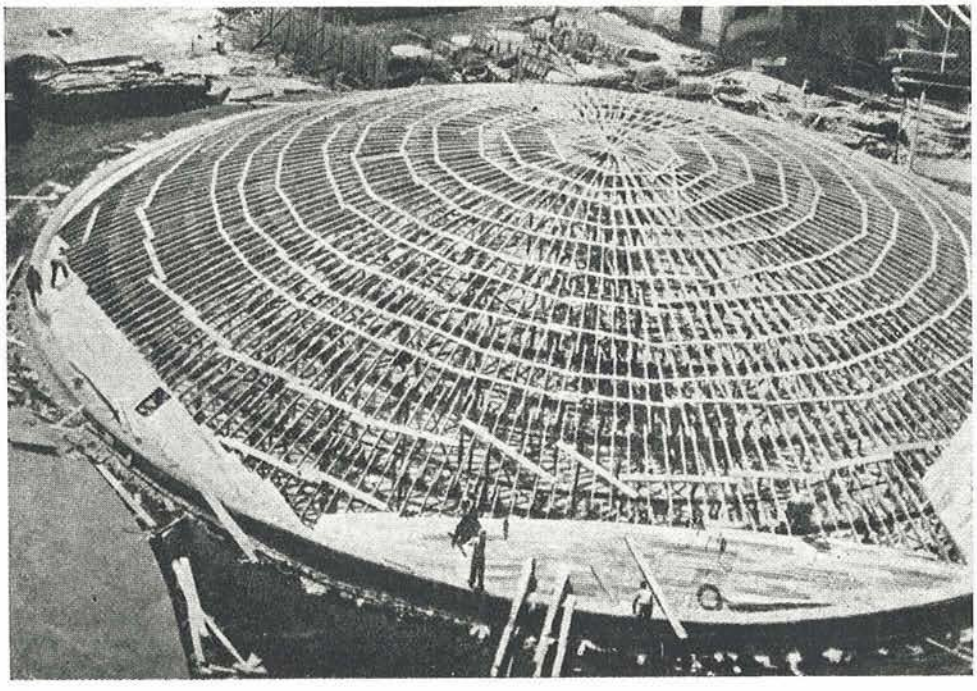


Fig. 8.—Construcción de la cubierta. Encofrado para moldear la cúpula.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

red del depósito.

Las aplicaciones prácticas del procedimiento Preload son muy numerosas, tanto en las construcciones circulares como en las cubiertas, y su exposición será objeto de la segunda parte de este artículo.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

837-4-2 UNA FABRICA MODELO DE TRAVIESAS DE HORMIGON PRETENSADO

(The development and Manufacture of Pre-stressed Concrete Units)

De: "THE SOCIETY OF ENGINEERS (Incorporated)".

S I N O P S I S

Se describe en este artículo el método de fabricación - en serie que se sigue en la fábrica de traviesas de hormigón pretensado de Talington (Inglaterra). La producción se realiza en cadena y la fábrica, que tenía una capacidad para 20 filas de - cien piezas tipo normal, cada una, dispuestas por parejas, se ha ampliado al doble posteriormente.

Primero se tesa la armadura correspondiente a cada fila y después se colocan por debajo los moldes. Estos, mediante un transportador de rodillos, se llevan a la tolva de carga situada en el centro de la fábrica y una vez llenos y vibrados para asegurar la perfecta adherencia entre el hormigón y el acero, se dejan en reposo. Cuando las traviesas ya están curadas, se retiran de los moldes y se someten a un ensayo práctico para comprobar su resistencia.

Para evitar a los operarios todo esfuerzo o fatiga innecesario, los trabajos se disponen siempre sobre masas de altura apropiada y el transporte y elevación, tanto de los materiales - como de los moldes o piezas ya terminadas, se realiza mecánicamente.

Las traviesas así obtenidas han dado excelentes resultados, y el coste total de producción por este procedimiento, representa una economía de 88% sobre el del método primitivo.

Para rebajar el coste de producción y obtener la necesaria economía de materias primas, se ha desarrollado una nueva - técnica basada en los principios de la fabricación en serie.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

De acuerdo con ella, se proyectó en 1943 una fábrica de traviesas de hormigón pretensado, en la que todas y cada una de las diferentes etapas de la producción están completamente mecanizadas y los materiales sometidos a constante vigilancia y frecuentes tomas de muestras para comprobar si reunen las características exigidas. En estas condiciones y aplicando los métodos previamente ensayados con resultados completamente satisfactorios en el centro experimental instalado en 1941 en Colwall, Malvern, Worcestershire, queda garantizada la perfección casi absoluta de las distintas piezas obtenidas.

Las obras de esta fábrica, ubicada en Tallington, Stamford Lincolnshire, se iniciaron en 1943 y se terminaron en 1944, año - en que empezó a funcionar normalmente, después de completada la - instalación de toda la maquinaria precisa. Ocupa un área de 152 m. de largo por 42,7 m. de ancho y en ella se sigue el procedimiento de producción en cadena, teniendo capacidad para veinte filas - de cien traviesas tipo normal, cada una, dispuestas por parejas. (Fig. 1). A la izquierda de la fotografía, puede apreciarse la - instalación destinada a la preparación del hormigón.

Posteriormente, se realizaron las obras necesarias para - ampliar al doble la capacidad de producción de esta factoría y - gracias a las medidas adoptadas al redactar el primitivo proyecto esta ampliación pudo llevarse a cabo sin paralizar ni perjudicar en lo más mínimo el programa de fabricación de las plantas en funcionamiento. El hormigón para las nuevas instalaciones, lo sumi-

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026



Fig. 1.—Vista de la fábrica de Tallington (Inglaterra).

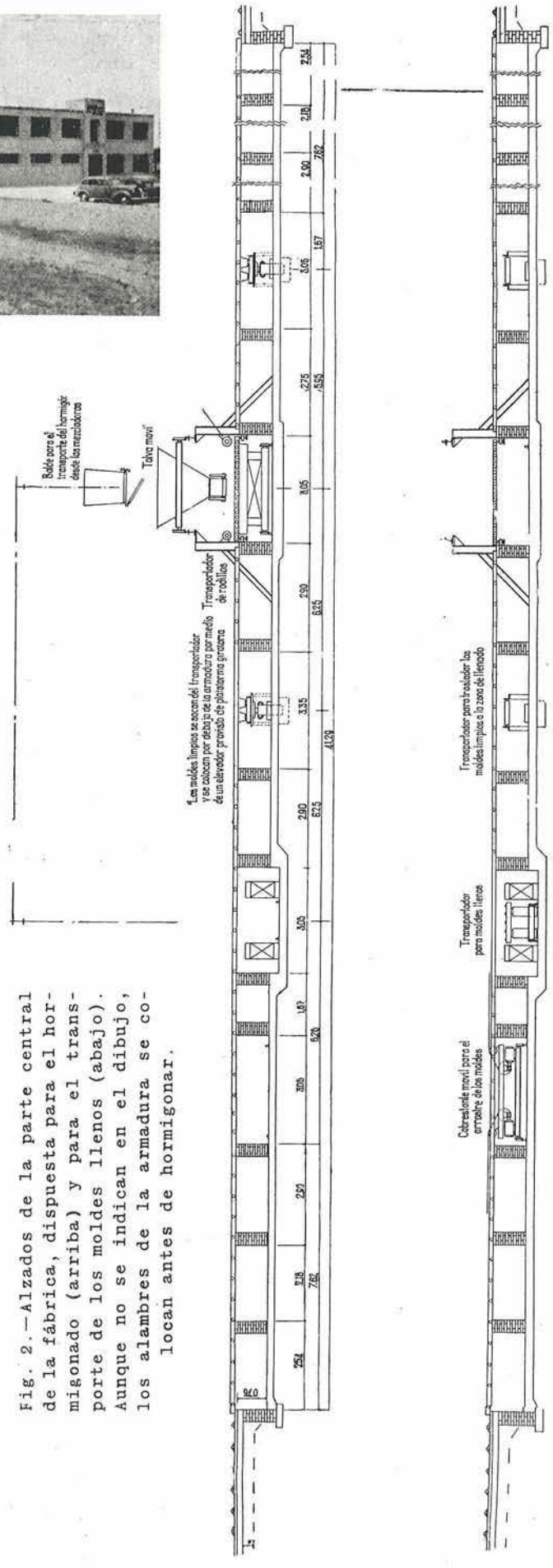


Fig. 2.—Alzados de la parte central de la fábrica, dispuesta para el hormigonado (arriba) y para el transporte de los moldes llenos (abajo). Aunque no se indican en el dibujo, los alambres de la armadura se colocan antes de hormigonar.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

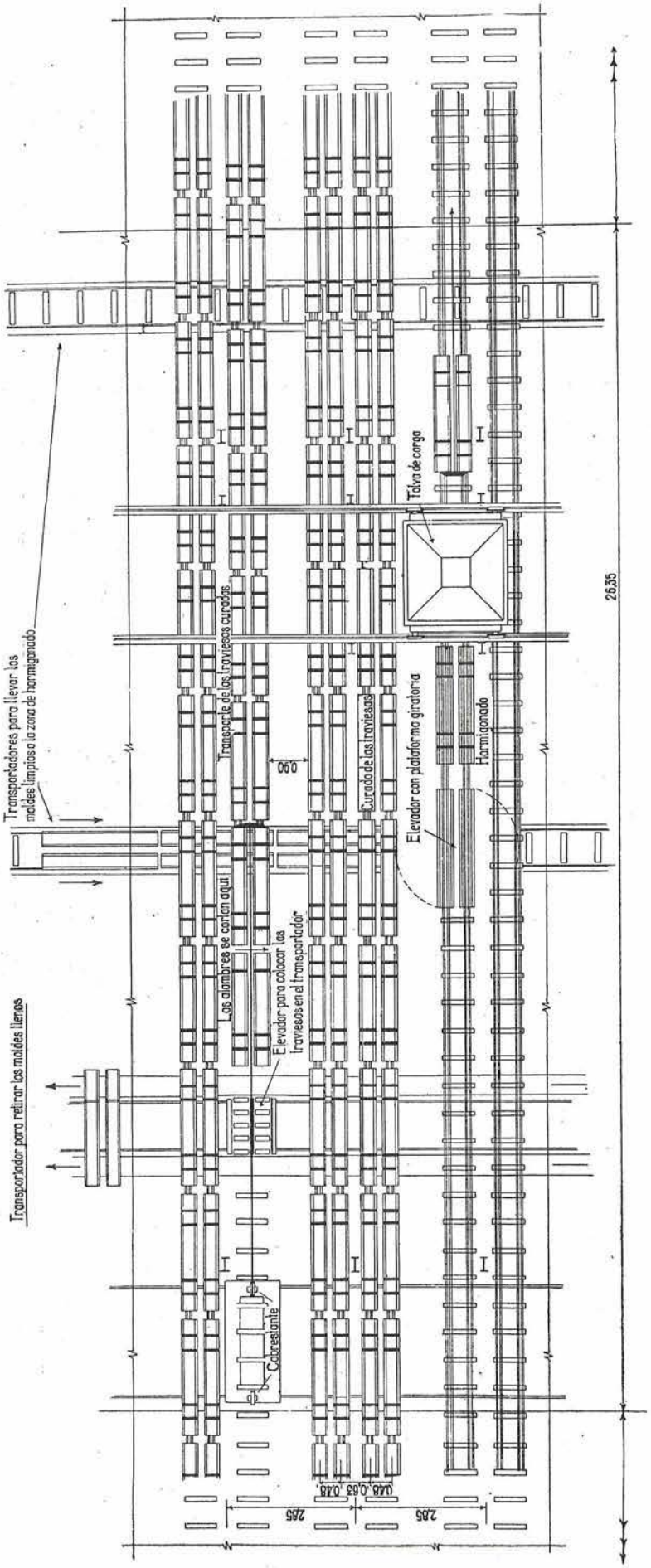


Fig. 3.—Planta de las cadenas de producción en el centro de la factoria.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

nistra una planta auxiliar levantada enfrente de la antigua, en el extremo opuesto de la superficie de la fábrica.

En este sistema de producción en serie, se procura evitar a los operarios todo esfuerzo o fatiga innecesario. A tal fin, - todos los trabajos los efectúan sobre mesas apropiadas y el transporte y elevación, tanto de los materiales, como de los moldes o - las piezas terminadas, se realiza mecánicamente (Figs. 2 y 3).

Como en dichas figuras puede verse, se han reducido el mínimo los desplazamientos, dentro de la fábrica, de las traviesas - ya desmoldadas y para mayor economía y al igual que en las fundiciones modernas, son los moldes los que se retiran de la pieza producida.

La figura 4, muestra una de las fases iniciales del proceso de fabricación. Los moldes vacíos, mediante un transportador de rodillos, se colocan debajo de la cadena de producción en la - que ha de realizarse su llenado. Desde aquí, un montacargas los eleva y después de girarlos automáticamente 90º, quedan situados en posición correcta bajo los alambres, previamente tesos, que - han de constituir la armadura de las traviesas. Seguidamente, - los operarios completan los moldes que hasta entonces están abiertos por los extremos, poniéndoles unos fondos o testeros que llevan unas ranuras para dar paso a los alambres de la armadura .Estas ranuras se cierran mediante unas pinzas de muelle. Para formar en las traviesas los orificios por los que habrán de introducirse los ti

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

rafondos, se colocan, a modo de machos, unos vástagos o espigones que se fijan a los bordes del molde con unos flejes. Al mismo - tiempo, otras dos piezas están hormigonándose a través de una tolva situada en el centro de la fábrica. Durante el vertido del - hormigón, los moldes, colocados en una masa de sacudidas, se vibran y de esta manera pueden emplearse mezclas secas, con una relación relación agua/cemento de sólo 0,39. Una vez llenos los - moldes, se trasladan a lo largo de las cadenas de producción, con el auxilio de unos cabrestantes que actúan desde el extremo de la nave. Cuando llegan al lugar apropiado, un dispositivo automático los detiene, quedando las traviesas a unos 10 cm. aproximadamente, unas de otras. Entonces se les somete a una segunda vibración para asegurar la perfecta adherencia entre el hormigón y los alambres (Fig. 5) y se procede al terminado de la superficie exterior.

La preparación del hormigón, como ya se ha dicho, se realiza en el centro de la fábrica, en lugar muy próximo al de su - vestido, con lo que se evitan gastos de transporte y se ahorra - tiempo. La figura 6 reproduce una vista de la planta de hormigonado que consta de mezcladoras dobles. En la parte superior de - la fotografía se ven los alimentadores de las tolvas de grava y - arena y exactamente detrás del operario está el tornillo de Arquímedes por medio del cual se vierte el cemento en la mezcladora. - El tamaño de la grava utilizada varía entre los 12,7 y 6,35 mm.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Desde las tolvas- depósitos la grava pasa, por dos canaletas laterales a otra tolva- báscula (centro de la fotografía) en la que también se introducen la arena y el cemento. Un dispositivo eléctrico, gradúa exactamente la cantidad de cemento vertida. El agua necesaria la suministran dos tanques alimentadores.

Debajo de la tolva-báscula se encuentran las mezcladoras. Estas son de un tipo especialmente proyectado para producir mezclas secas. Trabajan con gran rapidez y proporcionan masas muy uniformes.

De las mezcladoras, el hormigón, transportado en unos baldes, pasa a la tolva de carga. Los baldes están suspendidos de un puente-grúa y en la parte baja tienen unos salientes laterales que al apoyarse sobre la estructura superior de la tolva de carga, abren automáticamente la compuerta inferior del balde, vaciando su contenido en la tolva. Un operario llena después los moldes con el hormigón de ésta.

Las traviesas ya curadas, son retiradas con gran rapidez y exclusivamente por medios mecánicos, de la zona de fabricación. En uno de los extremos de la nave, como ya se ha dicho, existe un cabrestante, y con él se arrastran los moldes a lo largo de las cadenas de producción hasta la zona de cortado. En la figura 7, aparecen tres fotografías. En la primera puede verse el cabrestante entre dos cadenas de producción y a su mismo nivel, pero debe hacerse notar que, cuando está en funcionamiento, se encuen

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026



Fig. 4.—Colocación de los testeros en los moldes. Al fondo, la tolva de carga.



Fig. 5.—Aplicando la segunda vibración a los moldes ya llenos.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

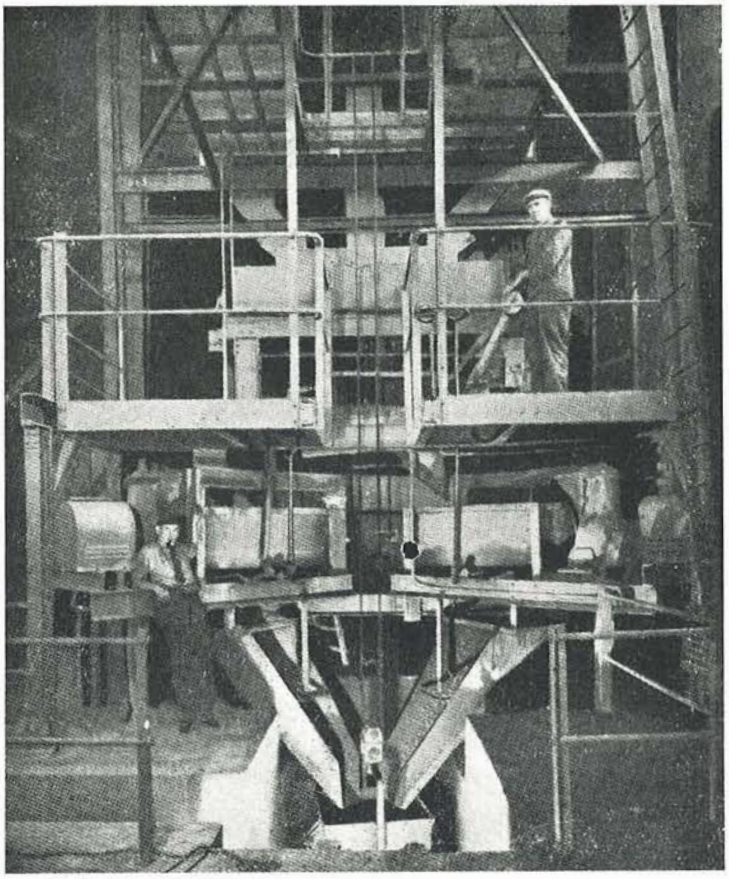


Fig. 6.—Instalación de hormigonado.

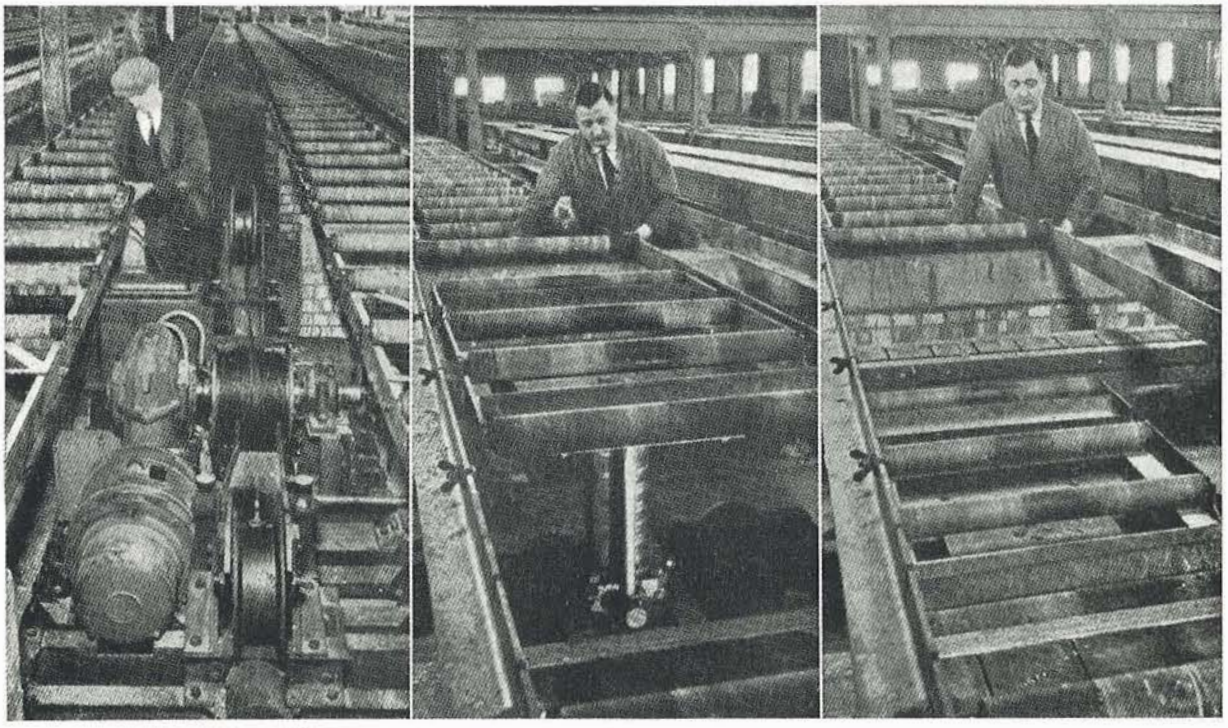


Fig. 7.—Cabrestante para mover las traviesas y elevador neumático para su traslado al transportador transversal.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

tra colocado por debajo de ellas para dejarlas despejadas. Como todas las traviesas están todavía enlazadas por medio de los alambres dela armadura, al tirar de una de ellas, se mueven solidariamente todas las de su misma fila. Cuando los alambres de un par de traviesas han sido ya cortados, y separadas éstas, por tanto, de las demás de sus filas respectivas, se cargan en un transportador transversal de rodillos por medio del elevador neumático a que se refieren las otras dos fotografías de la figura 7. En la primera se encuentra en su posición más elevada, a la altura de las cadenas de producción, y en la segunda, por debajo del transportador transversal que de esta forma se carga con las traviesas ya curadas, para llevarlas a la zona de ensayo y desmolde. A continuación vuelve a subir el elevador y repetirse la operación. Cuando se termina de descargar una fila, el aparato, que va montado sobre vías, se traslada hasta situarlo debajo de la siguiente.

Los alambres de la armadura, de 5 mm. de diámetro, van enrollados en unos tambores sobre plataformas móviles. Cada tambor lleva alambre suficiente para armar seis filas de traviesas de 137 m. de longitud cada fila.

Los alambres conducidos por unas guías, se introducen en unas cajas rellenas de gránulos de carborundo que, por rozamiento, dejan el acero perfectamente limpio. Un cabrestante, desde el extremo de la fábrica, tira de la armadura extendiéndola a lo largo de las cadenas de producción y pasándola por los orificios de las

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

placas que han de servirle de anclaje. Estas placas (Fig. 8) apoyan por medio de tres tornillos de tesado en el contrafuerte de una bancada de hormigón en masa que, a uno y otro extremo de las cadenas de producción, están proyectados para resistir la carga total de 2.000 Tm. originada por el tesado de las armaduras.

En la figura 9, puede apreciarse el procedimiento de tesado, que se aplica a los diferentes alambres, por parejas, para evitar los inconvenientes que representa el tener que actuar con cargas superiores a las 60 ó 90 Tm. Los alambres se estiran por medio de un gato hidráulico, que se detiene automáticamente, al entrar en acción una válvula de seguridad, cuando el fluido del interior del émbolo alcanza una presión determinada que corresponde a una carga de 2,2 Tm. por alambre. Cada uno de estos hilos, (de 137 m. de longitud) experimenta entonces un alargamiento total de 69 cm. Se sujetan a la placa de anclaje introduciendo unas cuñas metálicas. Después de acuñados, se desprenden del aparato de tesado, repitiéndose la operación en el par de alambres siguientes.

Cuando toda la armadura está ya tesa, como antes se ha indicado, se colocan los moldes y se llevan a la tolva de carga, dejándolos después en reposo hasta que el hormigón fragua y se endurece. Tan pronto como termina el curado de las traviesas, se aflojan los alambres soltando las placas de anclaje, que mediante los tres tornillos de tesado ya mencionados, se mantenían a cierta dis

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

tancia del contrafuerte de hormigón en masa. Un desplazamiento de la placa, de 10 cm. solamente, es suficiente para que pierdan su - tensión los trozos de alambre que quedan entre dos moldes consecutivos.

Seguidamente, se separan las distintas piezas cortando la armadura que las une, por medio del soplete de oxi-acetileno.

Terminada la fabricación, se someten las traviesas a un ensayo práctico realizado de acuerdo con las normas del B.S. Specf. 986: 1945, para traviesas de hormigón pretensado, y que es el mismo que se realizaba en el centro experimental de Colwall.

Gracias a las medidas adoptadas durante el proceso de fabricación, las traviesas obtenidas han dado excelentes resultados en las líneas de los ferrocarriles británicos (Fig. 10) lo que ha hecho posible el desarrollo de su producción en serie. También se han suministrado grandes cantidades a otros países.

En el hormigonado y transporte dentro de la fábrica, se - invierten sólo tres minutos y el coste total de producción, por - este procedimiento, representa una economía del 88% sobre el del método primitivo.

R. P. A.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

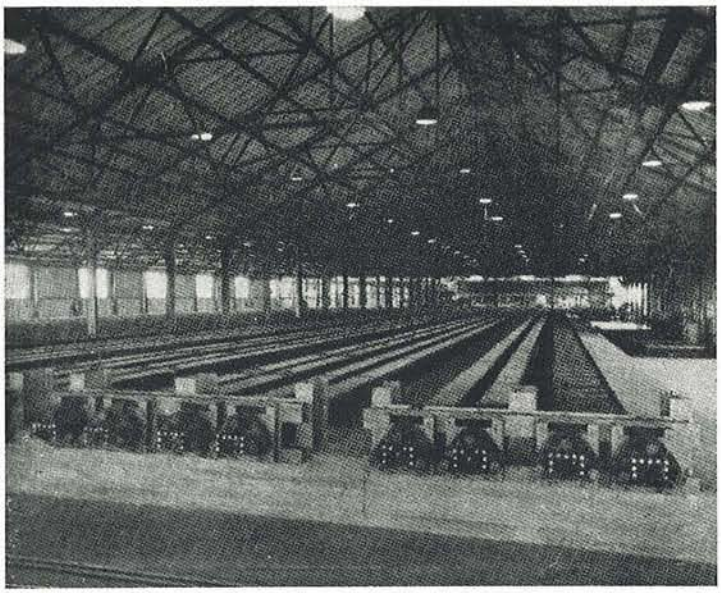


Fig. 8.—Placas de anclaje para fijar los alambres tesos.

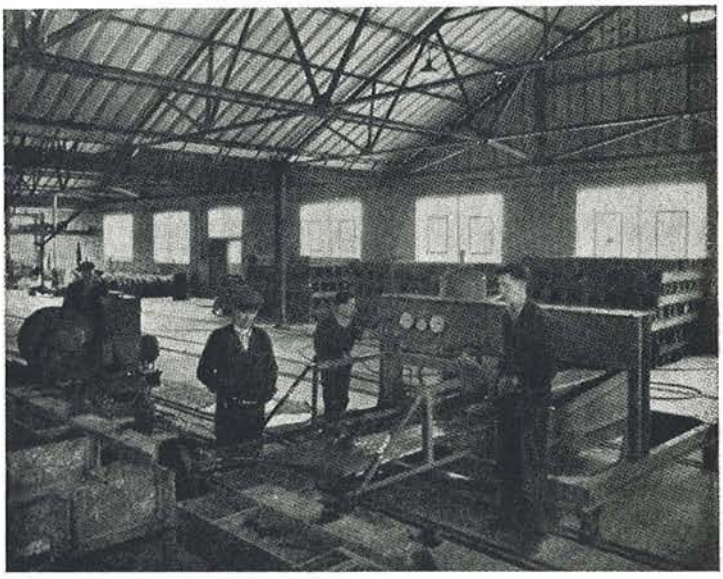


Fig. 9.—Tesando los alambres.

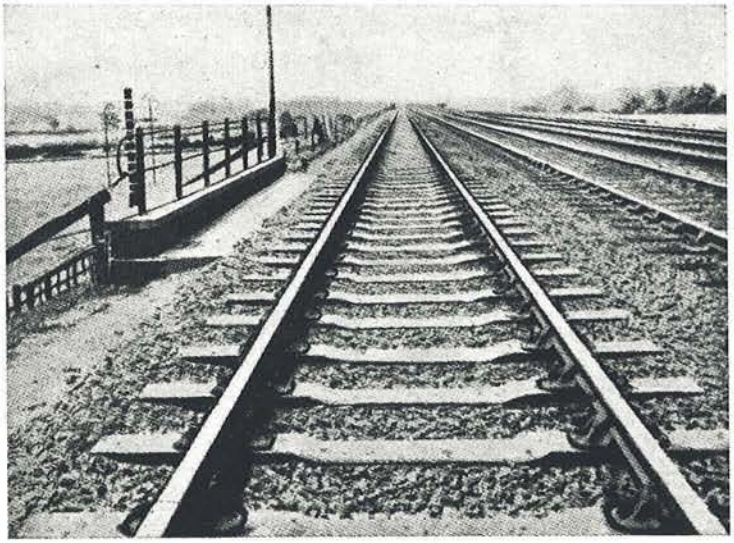


Fig. 10.—Vista de una vía férrea montada sobre traviesas de hormigón pretensado.

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026

Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026



Documento descargado de www.e-ache.com el 22/11/2026