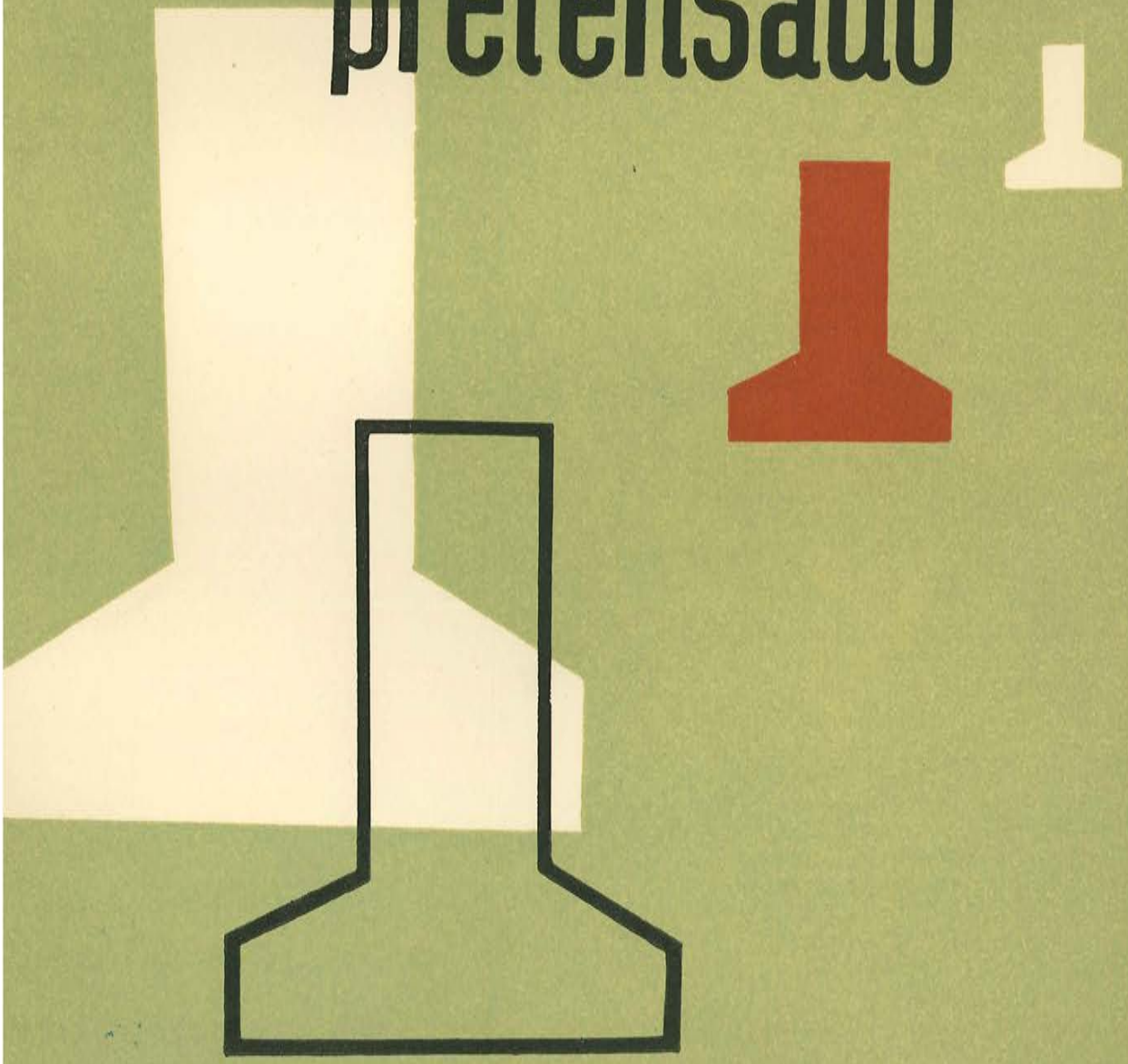
ULTIMAS NOTICIAS SOBRE

hormigón pretensado



BOLETIN NUM. 25 DE LA ASOCIACION ESPAÑOLA DEL HORMIGON PRETENSADO
DEL INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

a

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

Técnicas en Estructuras

Hormigón Pretensado

Boletín de circulación limitada

Nº 25

Marzo-Abril 1955

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

I N D I C E

457-0-15	Normas suizas para el hormigón pretensado	pág.	1
591-0-5	Nueva aplicación del pretensado . .	"	13
591-2-13	Acueducto tubular, de hormigón pretensado, para cruzar la carretera de Casilina	"	16
591-5-2	Porvenir de las carreteras de hormigón pretensado	"	34
837-4-7	Consideraciones prácticas sobre las industrias dedicadas a la fabricación de elementos de hormigón pretensado	"	40

- - -

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 18/08/2025

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

457-0-15 NORMAS SUIZAS PARA EL HORMIGON PRETENSADO

(Le norme Svizzere per le costruzioni in calcestruzzo precompreso)

por U. P. Rossetti

"IL CEMENTO", Marzo 1954

- S i n o p s i s -

En el presente artículo el autor estudia las nuevas normas suizas para obras de hormigón pretensado. En las observaciones y comentarios que hace sobre ellas sigue el mismo orden del texto original; y así, se ocupa de los distintos temas que a continuación se indican, en el orden que se mencionan: primero, normas de carácter general; segundo, los materiales; tercero, las tensiones admisibles; cuarto, el cálculo de tensiones, y quinto, los coeficientes de seguridad.

- - -

Las normas suizas para las obras de hormigón comprenden tres partes, que corresponden respectivamente a: al hormigón en masa, al hormigón armado y al hormigón pretensado. Han sido publicadas por la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos y reproducen el texto oficial de las Normas Federales correspondientes.

La parte referente al hormigón pretensado está subdividida en cuatro capítulos: generalidades, materiales, solicitaciones admisibles y, finalmente, cálculos estáticos y coeficientes de seguridad. La idea inspiradora de las normas es la de reunir, en un texto orgánico, distintas reglas, directrices, órdenes de magnitud y consejos que sirvan de guía a los proyectistas y constructores, sin tener carácter preceptivo. La extensión de las normas, en lo que se refieren al pretensado, es bastante limitada y el tono de los artículos resulta más bien vago; cosa conveniente en un tema que, como

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

el del pretensado en su estado actual, es difícil de codificar y reglamentar de un modo definitivo.

El preámbulo de las normas es muy explícito en este sentido, y dice: "La técnica del hormigón pretensado está aún en plena evolución; las prescripciones que siguen son directrices, que no pueden ser modificadas más que en el caso de que ensayos concluyentes lo justifiquen".

Este deseo de no dar carácter definitivo a las disposiciones, sobre la materia, está plenamente justificado: es cierto que las obras de hormigón pretensado son, hoy día, muy numerosas y que los resultados en ellas obtenidos son plenamente satisfactorios; pero todavía el conocimiento de esta nueva técnica evoluciona continuamente en virtud de los estudios cada vez más profundos que se están realizando sobre el particular.

Todo esto se comprende recordando que el concepto teórico de los estados de coacción, en los que se funda el pretensado, no ha sido introducido, hasta fecha muy reciente, en el campo de la técnica constructiva; además, las características de los materiales que se emplean son muy distintas de las de aquellas que se utilizan en el hormigón armado ordinario; por otra parte, y en particular, por lo que respecta al acero no se ha llegado todavía a la definitiva normalización de los más convenientes tipos a emplear, estando actualmente en curso estudios para mejorar su alta calidad manteniendo el costo en un límite razonable. Finalmente, y para resolver el problema del equilibrio estático de la estructura, deben considerarse, también, nuevos aspectos del comportamiento de los materiales, tales como: efectos plásticos, deformación lenta, retracción del hormigón y el relajamiento del acero. El problema resulta aún más complicado en las estructuras hiperestáticas; los -

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

efectos hiperestáticos del pretensado requieren especial atención, no sólo al proyectar la obra, sino, también, al planear las sucesivas operaciones constructivas. La bibliografía sobre estos temas es bastante abundante, pero algunos problemas no están todavía completamente resueltos. Por otra parte, los ensayos que es necesario realizar han de ser de larga duración, dada la importancia del factor tiempo en el pretensado, por lo cual sólo se podrá llegar a conclusiones interesantes, mediante observaciones sistemáticas a lo largo de muchos años, sobre los materiales y las estructuras.

Existe, no obstante, un concepto fundamental, por todos conocido que es el siguiente: en el pretensado, es necesario emplear siempre materiales de alta calidad.

Volviendo al examen de las "normas suizas" se ve que el artículo 57 dice: "El hormigón pretensado sólo debe aplicarse cuando se posea la garantía de poder fabricar un hormigón de calidad constante, de gran compacidad, y se disponga de un acero de alto límite elástico. Em principio las calidades de los materiales empleados deben ser comprobadas de una manera sistemática, mediante ensayos previos.

Por lo que respecta al hormigón, el artículo 58 especifica que: "En el hormigón pretensado únicamente se emplearán los hormigones de alta resistencia -tipo BH- y los especiales -tipo BS- y cuya resistencia debe ser especificada y garantizada mediante ensayos sistemáticos previos. La granulometría de los áridos, el amasado y el hormigonado deben estudiarse de manera que el hormigón obtenido sea de calidad constante y muy compacto.

La resistencia a la tracción por flexión debe llegar a:

$$\sigma_f = 3\sqrt{\sigma_c}\ \mathrm{Kg/cm^2}\ \text{(tolerancia } -15\%)$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

En el momento de introducir el esfuerzo de pretensado, la resistencia en compresión del hormigón en probeta cúbica debe ser 2,25 veces mayor que la tensión máxima originada por el esfuerzo inicial de pretensado".

Respecto al módulo de elasticidad, a introducir en el cálculo, las normas proponen la fórmula siguiente:

$$E = \frac{600.000 \times R}{200 + R}$$

Debe señalarse que en recientes estudios sobre la relación entre E y R se ha acordado darla en la forma:

$$E = K \sqrt[n]{R}$$

siendo K una constante dependiente de las características del hormigón y n variable de 2 a 5 según las distintas propuestas (véase el informe sobre el "Coloquio Internacional de Ensayos no Destructivos del Hormigón"); se ha demostrado que dicha fórmula se ajusta más a la realidad que la lineal dada en primer lugar.

Para la retracción específica las "normas suizas" publican la siguiente tabla de valores medios:

$$\bar{\varepsilon}_r = 0,00003;\ 0,00006;\ 0,0001;\ 0,0002;\ 0,0003;\ 0,0005,$$

respectivamente, a los 3; 7; 14; 28 y 90 días y al final.

Debe observarse que la retracción es un fenómeno difícilmente "tabulable" porque depende de muchos factores. Los valores indicados se pueden considerar, de todos modos, como representativos del fenómeno y siempre del lado de la seguridad.

Para la deformación lenta las "normas" aconsejan tomar $\bar{\varepsilon}_f = 1,5\ \varepsilon$, si el pretensado se realiza cuando el hormigón tiene 14 días de edad como mínimo. La relación propuesta se puede expre-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

sar de la siguiente forma:

$$\varepsilon_f = \bar{\varepsilon} \times \sigma = 1{,}5 \frac{\sigma}{E}; \quad \varepsilon = \frac{1{,}5}{E}$$

Así pues, esta "norma" prescribe que deben tenerse en cuenta las deformaciones lentas considerando que las deformaciones elástica y plástica se pueden sumar y, por consiguiente, valorar - globalmente, dando un valor ficticio al módulo de elasticidad (módulo de deformación). Esto representa imperfectamente el fenómeno, porque las deformaciones lentas son permanentes, mientras que la deformación elástica desaparece al cesar la solicitación: además el módulo de deformación se calcula partiendo de la hipótesis de que la tensión es constante e igual a su valor final; y la realidad es que, en ocasiones, la tensión llega al valor final después de haber pasado por valores más elevados. Esto significa que la valoración del efecto de la deformación lenta por el procedimiento de la variación del módulo, da lugar, muchas veces, a la obtención de valores inferiores a los reales. Por lo tanto, la aplicación de este método debe ser examinada caso por caso.

Respecto al acero, el artículo 59 dice:

1º) Los aceros destinados a crear los esfuerzos de pretensado deben poder soportar, sin deteriorarse en el momento de su puesta en carga, y con los márgenes de seguridad señalados en el - artículo 62, alargamientos elásticos tres veces superiores, por lo menos, a los acortamientos sufridos por el hormigón, a causa de la deformación lenta y al resto de la retracción.

2º) En general, se emplearán alambres de acero de alta resistencia, con las siguientes características mínimas:

resistencia a la rotura	12.000 Kg/cm^2
límite aparente de elasticidad	10.000 Kg/cm^2

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

3º) El relajamiento de los aceros, es decir, la pérdida de tensión consecuente a la deformación plástica de los alambres tesos, mantenidos a longitud constante, puede ser valorada mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta\sigma = 350 \frac{\frac{\sigma_i}{\sigma_2} - 0,5}{1,05 - \frac{\sigma_2}{\sigma_i}} \ (Kg/cm^2)$$

en donde:

$\Delta\sigma$ representa la pérdida de tensión en el acero

σ_i representa la tensión tensión inicial

σ_2 representa el límite aparente de elasticidad

Para la correcta utilización de la fórmula se debe tener presente la prescripción del artículo 62, la cual indica que la tensión en el acero no debe superar a 0,85 σ_2. En estas condiciones la fórmula anterior da resultados aceptables y, a título de ejemplo, se presenta el siguiente cálculo:

$\sigma_i = 110$ Kg/mm^2; $\sigma_2 = 130$ Kg/mm^2
$\Delta\sigma = 9,3$ Kg/mm^2 (8,5 %)
$\sigma_i = 110$ Kg/mm^2; $\sigma_2 = 150$ Kg/mm^2
$\Delta\sigma = 2,6$ Kg/mm^2 (2,4 %)

El segundo valor resulta, en realidad, un poco bajo, pero ello es debido a que el ejemplo se separa sensiblemente del campo de aplicación de la fórmula. Podría ser útil modificar la fórmula de modo que fuese válida para un campo de variación más amplio.

Si se emplea la fórmula para tensiones iniciales, muy próximas al límite elástico, y, por consiguiente, en contradicción con lo dispuesto en el artículo 62, se obtienen valores muy elevados para la pérdida de tensión, lo que indica que tales casos quedan fuera de los límites de aplicación de la fórmula dada.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

En lo concerniente a los anclajes, el artículo 60 dice: "La resistencia de los anclajes de la armadura debe ser controlada por medio de ensayos adecuados.

Si el pretensado es transmitido al hormigón por adherencia, sin dispositivo especial de anclaje, no deberán, en principio, utilizarse barras redondas, lisas y sin resaltos; en caso de que se llegasen a utilizar, tales barras, su diámetro será inferior a 3 m m."

La utilidad de las prescripciones precedentes no requiere ningún comentario.

Con esto se concluyen las prescripciones sobre los materiales.

El capítulo siguiente señala los valores de las tensiones admisibles y está subdividido, a su vez, en dos artículos.

El artículo 61, relativo al hormigón, prescribe como valores máximos 120 Kg/cm^2, en los bordes más solicitados, para el hormigón de alta resistencia y $\frac{R}{2,5}$ Kg/cm^2 para el hormigón especial (siendo R la carga de rotura). La tensión principal de tracción oblicua en las proximidades del centro de gravedad no debe ser superior al valor $\frac{R}{50}$ y en ningún caso a 8 Kg/cm^2. No se permite ninguna tracción permanente en los bordes sea cual fuere el estado de carga. En el curso de la ejecución se toleran tracciones temporales, siempre que sean inferiores al valor de 8 Kg/cm^2 antes señalado. En el caso de que las tensiones principales de tracción oblicua en las proximidades del centro de gravedad (fibra neutra) superen el valor indicado anteriormente se deberán aplicar las prescripciones del hormigón armado ordinario.

Se admite que las tensiones locales de compresión, ori

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

ginadas bajo los dispositivos de anclaje, alcancen hasta el 66 % de la resistencia del hormigón en el momento de aplicar el pretensado, siempre que se cumpla la doble condición siguiente: a) que la superficie de contacto cargada no alcance los bordes del elemento de hormigón. Debe quedar un contorno libre de una anchura no inferior a $\frac{1}{3}$ de la menor dimensión de la superficie de contacto. b) que se dispongan armaduras locales de acero dulce que garanticen la resistencia a las deformaciones oblicuas del hormigón.

El artículo 62, al que ya anteriormente se ha hecho referencia, prescribe que la tensión admisible del acero en el momento de aplicar el pretensado viene dada por el menor de los dos valores siguientes:

$$\sigma_i = 0,85\ \sigma_2$$

$$\sigma_i = 0,70\ \sigma_r$$

donde:

σ_2 es el límite aparente de elasticidad (tensión que produce una deformación remanente del 0,2 %).

y σ_r es la carga de rotura

No se dice si en los valores indicados se tiene en cuenta el rozamiento del cable, cuya existencia obliga, en algunos casos, a aplicar al acero unas tensiones unitarias más elevadas en el acto del tesado, para compensar la pérdida de tensión debida a dicho rozamiento. Tal pérdida es considerable y, naturalmente, mayor en los cables largos y no rectilíneos, por lo cual, en muchas ocasiones, su valoración tiene gran importancia.

El cuarto capítulo se titula: "Cálculos estáticos y coeficientes de seguridad".

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

El artículo 63 destaca la neta diferencia existente entre el hormigón armado ordinario y el pretensado en lo que respecta a la comprobación de la estabilidad de las secciones. En el hormigón armado esta comprobación se efectúa, especialmente, considerando el estado o los estados de carga más desfavorables que se presentan en la estructura después del desencofrado. En el pretensado, por el contrario, debe también hacerse la comprobación al comenzar el pretensado total o parcial. Las "normas suizas" dicen a este respecto: "Las tensiones se calcularán teniendo en cuenta las combinaciones más desfavorables del pretensado inicial o final y de los diversos estados de carga correspondientes a las sucesivas fases de la construcción. Si el pretensado se efectúa en una estructura hiperestática se tendrán en cuenta los efectos adicionales originados por las deformaciones ocasionadas por dicho pretensado.

Este párrafo señala claramente los puntos en los cuales debe concentrar su atención el proyectista al comprobar una estructura, comprobación que debe repetir a lo largo de las distintas fases constructivas, desde el momento en que se aplica el pretensado, teniendo presente que, en muchas ocasiones, las situaciones más peligrosas son las intermedias.

El artículo, a continuación, prescribe que se adopte la hipótesis de una distribución lineal para las tensiones normales; así como que se tome el valor 5 para la relación entre los módulos en el caso de vigas con armadura adherida. En dichas piezas, cuando la cuantía de armadura es inferior al 1 %, no es necesario tener en cuenta las secciones de acero, al realizar el cálculo de la sección homogénea de hormigón, ficticia.

En los cálculos deberá tenerse en cuenta la disminución del esfuerzo de pretensado ocasionada por la deformación lenta y la

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

retracción del hormigón y por el relajamiento de la armadura.

En las estructuras mixtas, en las cuales se utilizan elementos pretensados asociados a otros de hormigón armado, se consideran los esfuerzos secundarios debidos a la diferencia de retracción y de deformación lenta entre las dos partes del conjunto. Será necesario, finalmente, examinar con mucho detenimiento los efectos de las tensiones tangenciales en la zona del anclaje.

En lo referente a los márgenes de seguridad, el coeficiente a la fisuración debe ser por lo menos igual a 1,5. Dicho coeficiente se define por la relación entre el momento flector, originado por la sobrecarga que provoca la fisuración, y el momento producido por la sobrecarga útil. Al hacer este cálculo se admitirá que la resistencia en tracción del hormigón es igual a la mitad de su resistencia en flexión, en el caso de estructuras monolíticas, e igual a cero cuando existan juntas.

En el artículo 65 se prescribe que el valor del coeficiente de seguridad a rotura, cuando se tiene en cuenta el peso propio y la sobrecarga útil, debe ser, por lo menos, igual a 2.

Podría ser interesante precisar más el valor del coeficiente de seguridad, teniendo en cuenta la relación entre el peso propio y la sobrecarga accidental de la estructura que se considera.

En efecto, resulta evidentemente que en aquellas obras en las que la carga permanente es muy superior a la sobrecarga útil, dicha "prescripción" permite aumentar notablemente la sobrecarga antes de alcanzar la rotura; por el contrario, en las estructuras en las cuales la sobrecarga accidental es mayor que el peso propio el aumento que puede experimentar la sobrecarga, antes de que se alcance la rotura, resulta más bien limitado y, por tanto, disminuído el coeficiente de seguridad.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Las "normas suizas" no prescriben ningún método para calcular el momento de rotura, dejando en libertad al proyectista para que elija el que crea más conveniente.

Este criterio está plenamente justificado. Hay que tener en cuenta que, en general, cada una de las distintas fórmulas que se conocen posee un específico campo de aplicación, definido por las características del elemento que se trata de pretensar. Parece lógico, por lo tanto, que el calculista aplique en cada caso el método que considere más adecuado a la clase de obra que tiene que proyectar.

Para concluir este breve comentario puede decirse que las "normas suizas" constituyen una interesante y útil recopilación de prescripciones y consejos para el proyectista y el constructor de obras pretensadas.

Las pequeñas reservas que en este artículo han sido formuladas, conciernen exclusivamente a determinados puntos concretos, que pueden ser fácilmente modificados en la nueva edicción de las "normas" cuya publicación parece inmediata. En general, puede decirse que las "normas suizas" representan una reglamentación que se adapta muy bien al estado actual de la técnica del pretensado; establece de un modo concreto, los puntos fundamentales en que se basa la nueva técnica y fija el orden de magnitud de los datos de partida para el proyecto de una estructura; deja, por otra parte, una cierta libertad al calculista, confiando a su buen criterio la elección del sistema de cálculo más conveniente y dándole la oportunidad de modificar alguna norma, sobre la base de los resultados obtenidos en experiencias concluyentes.

Esta relativa libertad de acción concedida al proyectista y, como consecuencia lógica, la exigencia de una mayor responsa-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

bilidad, es la forma más racional de reglamentar una técnica todavía en plena evolución y de favorecer al mismo tiempo su desarrollo y progreso.

Por otra parte, parece evidente que, teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, las "normas" dictadas sobre esta materia, en lugar de cristalizar en prescripciones restrictivas y definitivas, deben conservar la flexibilidad necesaria para poderlas adaptar, en todo momento, a lo que las circunstancias exijan o aconsejen.

- - -

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

591-0-5 NUEVA APLICACION DEL PRETENSADO

(Novel use of prestressing)

Anónimo

"THE INDIAN CONCRETE JOURNAL", 15 Agosto 1954

- S i n o p s i s -

Se describe un sencillo procedimiento que, con un gran ahorro de armadura, permite eliminar el peligro de fisuración al que están expuestas las vigas prefabricadas de hormigón, con una sola armadura en tracción, si durante su transporte desde el taller a la obra se colocan en posición invertida. Consiste en introducir en la pieza un esfuerzo provisional de pretensado, mediante una barra adicional que se recupera una vez colocada la viga en su posición definitiva.

- - -

Mr. Izhar Ahmed Quereshi, ingeniero ayudante de la "Fábrica de Cemento de Hyderabad" (Sind), da cuenta de una interesante aplicación dada a la técnica del pretensado. Gracias a ella se logra, de una forma fácil y económica, que las vigas prefabricadas de hormigón armado sean capaces de resistir las tensiones que en ellas pueden originarse cuando, durante su transporte desde el taller a la obra, se colocan en posición invertida.

Se trata de unas vigas, de 3,65 m de longitud, destinadas a formar los pórticos de unas viviendas para obreros que se están construyendo para el alojamiento de los operarios de la fábrica de cemento de Hyderabad. Dichas piezas han de ir colocadas apoyadas, simplemente, en cada extremo, sobre sendos soportes de ladrillo y se proyectaron para que fuesen capaces de absorber las tensiones originadas por un esfuerzo vertical de 744 Kg por metro lineal,

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

que es la única carga prevista para las condiciones normales de servicio. Las vigas son de sección rectangular de 30 × 18 cm y llevan, solamente, una armadura de tracción en la parte inferior, ya que no necesitan armadura para esfuerzo cortante, ni se preven momentos de empotramiento en los extremos. Pero existía el peligro de que estos elementos prefabricados se fisuren si, durante su transporte, se colocaban invertidos sometiéndolos así al momento flector producido por su peso propio, momento que seria de signo contrario al originado por las cargas de trabajo. Para eliminar este riesgo se recurrió a la aplicación de un pretensado temporal, evitándose con ello el tener que disponer otra armadura en la cabeza superior de la viga, armadura que careceria en absoluto de utilidad, una vez colocada la pieza, en obra, en su posición definitiva.

Para poder realizar dicho pretensado, al hormigonar el elemento se dejó, a unos 3 cm de su borde superior, un orificio de 2,5 cm de diámetro, orificio que se obtuvo colocando adecuadamente en el molde un tubo de hierro galvanizado (ver fig. 1). Después de una semana de curado, se introdujo en el orificio una barra, de acero dulce, de 19 mm de diámetro, roscada por ambos extremos, tesándola convenientemente mediante tuercas. Esta barra tesa ha de crear en el hormigón la compresión suficiente para que la viga sea capaz de resistir, sin fisurarse, las tensiones que pueden aparecer durante su transporte, si se coloca en posición invertida sujetándola por ambos extremos. Es decir, que el momento flector producido por el esfuerzo de pretensado debe ser igual al que origina el peso propio del elemento. Como la viga pesa 129,6 Kg por metro lineal, resulta:

$$0,1075\ F = \frac{129,6 \times \overline{3,65}^{2}}{8} = 215,8$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

$$F = \frac{215,8}{0,1075} = 2007,6 \text{ Kg}$$

o sea que el esfuerzo de pretensado a introducir en la barra es de ca. si dos toneladas. En la práctica, para saber cuando había que suspender el pretensado, se colocaba la viga sobre el suelo, en posición invertida, y se tesaba la barra, apoyándose contra los extremos de la pieza, hasta que ésta comenzaba a despegarse del suelo por su parte central. Debe, a este respecto, hacerse notar que un exceso de pretensado no supone peligro alguno, teniendo en cuenta que en el otro borde de la sección se encuentra situada la armadura normal de tracción de la viga.

Una vez colocado en obra el elemento, en su posición definitiva, se retira la barra de pretensado para reutilizarla en la pieza siguiente. Mediante este sencillo procedimiento, se consiguió un sensible ahorro en la cantidad de acero necesario para construir las mencionadas vigas.

- - -

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

591-2-13 ACUEDUCTO TUBULAR, DE HORMIGÓN PRETENSADO, PARA CRUZAR LA CARRETERA DE CASILINA. CENTRAL HIDROELECTRICA VOLTURNO-GARIGLIANO (*)

(Ponte-tubo in precompresso per l'attraversamento della Statale Casilina)

por el Prof. Ing. Adriano Galli y los Ingrs. Mario Aprato y Giulio Nicolosi

"GIORNALE DEL GENIO CIVILE", Octubre 1954

- S i n o p s i s -

Se expone el método de cálculo y los detalles constructivos del acueducto, de hormigón pretensado, para cruzar la carretera de Casilina, de la central hidroélectrica Volturno-Garigliano.

Se señalan también los ensayos realizados.

- - -

Las instalaciones hidroeléctricas Volturno-Garigliano derivan parte del caudal del río Volturno, en su confluencia con el río Sava, devolviéndolo al río Garigliano, en su confluencia con el río Peccia.

El desnivel útil medio de 149,55 m es aprovechado por las dos centrales de Rocca d'Evandro y de Sant'Ambrogio, produciendo una energía media anual de 131.10^6 Kwh.

(*) La central hidroeléctrica Volturno Garigliano forma parte del plan de obras de la Sociedad Meridional de Electricidad. Se estudió el proyecto en la Oficina Técnica de dicha Sociedad, bajo la dirección del Prof. Ing. Carlo Dróli con la colaboración del Ing. Mario Cuocolo. El acueducto tubular lo ha construído el Ing. Nicola Rivelli, bajo la dirección de los Ingrs. Giacomo Baroncini y Ugo Carotenuto, pertenecientes a la Sociedad Meridional de Electricidad.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Dos kilómetros antes del monte en que esta instalado el primero de los saltos, el de Rocca d'Evandro, la tubería forzada - cruza la carretera de Casilina. El problema planteado por este cruce se ha resuelto con la construcción de un acueducto tubular de once tramos, de veinticuatro metros cada uno. Seis de ellos son autoportantes y se apoyan sobre horquillas. Los restantes descansan sobre un muro continuo. (Fig. 2).

La sección recta es una corona circular de 4,20 m de diámetro interior y 5 m de diámetro exterior; la altura libre de la tubería sobre el eje de la carretera es de 14,31 m. (Fig. 3).

La carga hidrostática, consideradas todas las oscilaciones de carácter dinámico, es de 31,25 m sobre la generatriz más alta; pero la estructura se ha calculado suponiendo una presión de 4 atmósferas.

La eliminación de los esfuerzos de tracción, siempre nocivos en una estructura para la cual la impermeabilidad es la característica principal, se ha conseguido mediante un pretensado longitudinal, con cables paralelos al eje del tubo, y un pretensado - circular, con cercos colocados cada 75 cms.

Para el cálculo de la estructura autosustentante se han empleado las conocidas fórmulas del tubo viga, obteniéndose - así las solicitaciones T_1, T_2 y S, tanto para el peso propio como para el peso propio más el empuje hidrostático.

Las solicitaciones resultantes fueron: (fig. 4)

a) para el peso propio:

$$T_1 = - \frac{2\, g\, m(x)}{H} \cos \varphi$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

$$T_2 = - g R \cos \varphi$$

$$S = - 2 g t (x) \operatorname{sen} \varphi,$$

siendo g el peso, por unidad de superficie, de la conducción e igual a 1 T/m^3 y m (x) y t (x) el momento y el esfuerzo cortante, respectivamente, en una sección transversal genérica, distante x del centro, de una viga apoyada de luz 2 l y solicitada por una carga de 1 T./m.l. Finalmente, φ es el ángulo indicado en la fig. 4, medido a partir de la generatriz más alta.

b) Por diferencia de nivel, variable en el tubo:

$$T_1 = - \gamma \operatorname{sen} (x) \cos \varphi,$$

$$T_2 = \gamma R^2 (1 - \cos \varphi)$$

$$S = - \gamma R t (x) \operatorname{sen} \varphi,$$

en donde $\gamma = 1 \ T/m^3$, es el peso específico del agua.

Cuando en las expresiones arriba indicadas se añade a T_2 el valor qR, correspondiente a la carga hidrostática (cuatro atmósferas), se obtienen las tensiones indicas en la tabla I.

Los soportes se han construído de acuerdo con las condiciones del proyecto, de tal forma que permiten la rotación de los tímpanos; para ello se han utilizado siete cables, independientes para cada tramo, articulados en la cota 141,94 sobre los caballetes. (Fig. 5). La continuidad hidráulica se consigue mediante juntas. (Fig. 6).

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

T A B L A I

Solicitaciones T y S (T/m.l)											
T_1						S					
x/l \ φ	0°	45°	90°	135°	180°	x/l \ φ	0°	45°	90°	135°	180°
0,00	-130,40	-92,20	0,00	+92,20	+130,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	-122,25	-86,60	0,00	+86,60	+122,25	0,25	0,00	-8,91	-12,61	-8,91	0,00
0,50	-97,80	-69,15	0,00	+69,15	+97,80	0,50	0,00	-17,85	-25,25	-17,85	0,00
0,75	-57,20	-40,00	0,00	+40,00	+57,20	0,75	0,00	-26,80	-37,90	-26,80	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,00	-35,70	-50,50	-35,70	0,00
T_2	+69,50	+71,76	77,09	+82,46	+84,68	-	-	-	-	-	-

PRETENSADO LONGITUDINAL

El pretensado longitudinal se ha ejecutado de manera que el esfuerzo máximo se produce para cada tramo, en el punto medio de la generatriz inferior con un valor igual a $\frac{130,40}{40 \times 100} \times 1000 =$ $= 32,6$ Kg/cm^2; disminuyendo después, según una ley parabólica, hacia los apoyos.

La disposición adoptada para los cables se indica enla fig. 7. A 4,6 m de cada uno de los extremos del tramo y por su parte inferior parten tres cables, de 40 ∅ 5, que se tesan desde el extrémo opuesto del tramo adyacente, quedando por lo tanto seis cables por el centro de la viga y tres en las proximidades de los -

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

apoyos. Con tal disposición, en las partes extremas de cada tramo, y una vez cargada la estructura, aparecen unos esfuerzos de tracción permanentes que han obligado a colocar, por la parte inferior de la tubería, en las zonas de los apoyos, dos cables de 28 ∅ 5 cada uno y 2,30 m de longitud.

Para el pretensado se ha seguido el sistema B.B.R.V., de la Stahlton de Zurich, que se representa en la fig. 8; los cables van sujetos por un extremo a un anillo, para el tesado, mientras que por el otro extremo los hilos quedan embebidos en el hormigón.

La sujección de los hilos se ha realizado mediante remache mecánico del extremo de cada uno de ellos. Para el anclaje se utilizó un tronco de cilindro, cerrado por una placa que va perforada por 42 agujeros de ∅ 5,5 m/m; en estos agujeros entran los alambres de ∅ 5, remachándose con una máquina portatil especial.

El cilindro de anclaje va roscado interior y exteriormente. Sobre la rosca externa se ajusta una tuerca de fijación y sobre la interna el gato de pretensado.

En las proximidades del anclaje la funda de los cables se empalma a un tubo al que se fija también la placa de apoyo, de 220 × 220 × 20 mm.

En la tabla II se indican las tensiones totales originadas por la suma de las cargas exteriores y esfuerzos de pretensado.

Debido al trazado rectilíneo de los cables, los valores de los esfuerzos cortantes eran muy considerables (si se hubiera dado a los cables un trazado helicoidal, se habría conseguido disminuir en gran parte estos esfuerzos; pero tal disposición pre

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

senta muchas dificultades constructivas). Por esta causa se dispu

T A B L A II

Solicitaciones unitarias Kg/cm²											
A. Pretensado + Peso Propio						B. Pretensado + Peso Propio + Peso del agua					
x/l \ φ	0°	45°	90°	135°	180°	x/l \ φ	0°	45°	90°	135°	180°
0,00	-5,00	-6,60	-10,50	-15,00	-16,80	0,00	-20,75	-18,00	-11,00	-4,00	-1,00
0,25	-3,80	-6,00	-10,70	-15,50	-17,50	0,25	-18,70	-16,20	-10,50	-4,80	-2,30
0,50	-1,00	-4,50	-11,00	-17,30	-20,00	0,50	-13,20	-12,60	-11,00	-9,10	-8,50
0,75	-1,50	-3,00	-5,00	-7,50	-8,50	0,75	-8,40	-7,40	-4,90	-2,50	-1,30
1,00	-0,80	-2,40	-7,10	-11,50	-13,50	1,00	-0,80	-2,40	-7,10	-11,50	-13,50
σ_2	-22,975	-22,807	-22,40	-22,807	-22,975	σ_2	-5,00	-4,40	-3,10	-1,75	-1,25

so una armadura orientada según las direcciones principales de los esfuerzos de tracción para contrarrestarlos.

PRETENSADO TRANSVERSAL

Para absorber los esfuerzos anulares de tracción se han colocado cada 75 cms, en el trasdós del tubo y antes del hormigonado, unos cercos constituídos por cables de 40 ∅ 5 m/m fig. 9

Una vez endurecido el hormigón se tesan los cercos aplicando sobre ellos, simultáneamente y en ocho puntos equidistantes,

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

una fuerza K que actúa radialmente, mediante gatos unidos en paralelo. Antes de descargar los gatos se introducen en unas hendiduras, especialmente dispuestas en la pared del tubo durante el hormigonado, unas cuñas que mantienen el alargamiento dado a los cables (fig. 10).

Con la notación de la fig. 11 y una vez conocidos la tensión z, el ángulo α y el radio R se deduce que los datos característicos, que es necesario conocer para las operaciones de tesado de los cercos, son:

$$t - S_2 = \frac{\sigma_v}{E_v} b \qquad b = R \text{ arc } \alpha$$

$$t = 2 R . \text{ tg. } \beta \qquad S_2 = 2 R \text{ arc } \beta$$

$$K = 2 Z \text{ sen } \beta \qquad a = R \left(\frac{1}{\cos \beta} - 1\right)$$

donde σ_v y E_v representan la tensión y el módulo de elasticidad de los alambres de acero de los cercos. Para el caso que se estudia $Z \simeq 71$ T, $\alpha = \frac{\pi}{4}$ y R = 2,5 m; con lo que resulta:

$$t = 90 \text{ m}$$
$$K = 25 \text{ T}$$
$$a = 4 \text{ cm}$$

El cálculo de los efectos del pretensado transversal en el tubo se ha realizado utilizando la siguiente fórmula:

$$\sigma_2 = \frac{E}{R} W = \frac{E\,p}{8\,R\,\beta^3\,D} A\,(x)$$

que da la tensión producida por un solo cerco en una sección situada a la distancia x de dicho cerco, siendo:

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

W = distancia entre radios

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3(1-V)^2}{R^2\ t^2}}$$

V = coeficiente de Poisson

t = espesor del tubo

$$D = \frac{E\ t^3}{12\ (1-V^2)}$$

R = radio del tubo

$$A\ (x) = e^{-\beta x}\ (\cos \beta\ x + \operatorname{sen} \beta\ x)$$

En la fig. 12 se representan los diagramas obtenidos para cuatro cercos sucesivos, y en la tabla II se indican las tensiones σ_2 en los diversos estados de carga.

Para reducir las solicitaciones de flexión longitudinal en la fase de pretensado (máximas para un solo cerco y, naturalmente, nulas una vez tesos todos los cercos) se adoptó durante su ejecución el siguiente procedimiento: Inicialmente se introdujo el 50 % del esfuerzo total de tesado en los dos primeros cercos, a partir de uno de los extremos de un tramo; después se tesó totalmente el primero y al 50 % el tercero; a continuación se tesó totalmente el segundo y al 50 % el cuarto, y así sucesivamente hasta el último cerco situado al otro extremo del tramo.

ESTUDIOS EXPERIMENTALES

a) Pruebas de los materiales: Los áridos para la fabricación del hormigón se han obtenido de la trituración y sucesivos cribados de las rocas calcáreas de la cuenca del río Volturno.

Previamente se dedujo la curva granulométrica más aconsejable para obtener la resistencia exigida en la obra; en la fig. 13 se representa dicha curva y las dos curvas límites admitidas -

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

por la instrucción italiana.

La dosificación, finalmente, adoptada para la fabricación del hormigón ha sido la siguiente:

grava	540 l	Cemento tipo "680" .... 350 Kg/m^3
gravilla	244 l	
arena gruesa . . .	248 l	relación $\frac{\text{agua}}{\text{cemento}} = 0,45$
arena fina	420 l	
	1.452 l	

Para compensar la baja relación agua-cemento se ha utilizado el fluidificante "Plastiment" en la proporción del 1 % del cemento.

Las probetas ensayadas durante el fraguado han dado las siguientes resistencias cúbicas medias:

Tramo	Carga unitaria de rotura (Kg/cm^2)
Soporte A-1	500 (a 90 días)
Soporte 1-2	429 (a 28 días)
Soporte 2-3	440 (a 28 días)
Soporte 3-4	401 (a 28 días)
Soporte 4-5	430 (a 28 días)
Soporte B-5	460 (a 28 días)

En la fig. 14 se representa el diagrama tensión-deformación del hormigón empleado en la construcción de la tubería y en la fig. 15 el diagrama de retracción; el valor medio del módulo E de elasticidad, resultante, ha sido de 300.000 Kg/cm^2, y la magnitud de la retracción, al mes aproximadamente del fraguado, ha sido del 0,28 ‰, tendiendo asintóticamente a un valor del 0,30 ‰ aproximadamente.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

El hormigón se ha vibrado con un vibrador de aguja y el hormigonado de cada tramo se ha hecho sin interrupción.

También con el acero se han efectuado una serie de pruebas para comprobar su calidad.

En la fig. 16 se representa un diagrama tensión-deformación y en la fig. 17 el de deformaciones lentas.

La pequeña pérdida de tensión registrada, 4,07 %, es debida a la calidad del acero y, principalmente, al hecho de que la carga de ensayo (100 Kg/m^2) era muy pequeña en relación con la de rotura (196 Kg/m^2) de la probeta.

Con el ensayo de resistencia se obtuvo, como valor medio de la tensión de relajamiento, 125-130 Kg/mm^2, considerando como tensión de relajamiento la que corresponde a una deformación remanente del 0,2 %; la carga media de rotura resultó ser de 154-170 Kg/mm^2, y el alargamiento, también de rotura, estaba comprendido entre el 6 y el 1,8 %.

b) Ensayos relacionados con el pretensado longitudinal

Para reducir al mínimo las pérdidas de tensión, el tesado se ha efectuado en dos etapas; la primera a los quince días de fraguar el hormigón y la segunda a los veintiocho días.

La medida de las deformaciones producidas por el pretensado se ha realizado con elongámetros Huggemberger de gran sensibilidad [1 div. = 10.10^{-6} (ε)] en los tramos 4-5 y 5-B.

En el esquema de la fig. 18 se indican las secciones en las que se han hecho las medidas; en cada una de dichas secciones se colocaron cuatro pares de elongámetros en sentido longitudinal, y a 0°, 90°, 180°, y 270°, respectivamente.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

En las secciones 1 y 2 interesa observar la totalidad de los cables, mientras que en las 3, 4 y 5 sólo interesan los cables inferiores. En la fig. 19 se reproduce el diagrama de tensiones, deducido de los valores medios obtenidos en los ensayos realizados sobre los dos tramos, adoptando un módulo E = 300.000 Kg/cm^2. Los valores experimentales se representan con una línea continua y los teóricos con línea de trazos.

También se han realizado otros ensayos para medir las deformaciones en sentido transversal, pero dada la insignificancia de estas deformaciones, apenas fueron acusadas por los elongámetros, por lo que sus indicaciones ofrecen poca garantía.

Como ya se ha dicho anteriormente el pretensado se ha efectuado en dos etapas sucesivas. Seguidamente, y antes de realizar la inyección de lechada de cemento, se ha medido la pérdida de tensión en los cables. Los resultados, correspondientes, a un par de cables por cada tramo se indican en la siguiente tabla, junto con las fechas de hormigonado.

T A B L A A

Tramo	Fecha del hormigonado	Primera etapa del pretensado	Segunda etapa del pretensado	Número del cable	Pérdida de tensión %
A - 1	17- 9-52	2-10-52	19-10-52	9	1,67
				4	0,00
1 - 2	10- 4-52	12-12-52	17-12-52	12	3,32
				6	3,32
2 - 3	1-12-52	22-12-52	3- 1-53	11	0,00
				5	1,67
3 - 4	15-10-52	31-10-52	11-11-52	12	5,00
				5	5,00
4 - 5	20- 8-52	4- 9-52	19- 9-52	9	0,00
				4	5,00
5 - B	24- 7-52	11- 3-52	1- 9-52	11	3,32
				12	2,50

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

La pérdida media de tensión, a los tres meses del último tesado, deducida de los datos indicados en la tabla anterior, es del 2,6 %; este valor, que coincide con el previsto en el cálculo, resulta satisfactorio y tranquilizador en relación con el futuro comportamiento de la estructura a través del tiempo.

El inyectado de los cables se ha hecho a una presión de seis atmósferas, y para la lechada de cemento se ha empleado la siguiente dosificación: cemento tipo "680", 66 Kg; agua 35 l; fluidificante "Intrusionaid" 0,750 Kg.

c) Ensayos relativos al pretensado circular.

Se hizo un primer ensayo para estudiar la transmisión de la tensión desde el punto de aplicación a la zona de contacto de los alambres con el hormigón.

Dicho ensayo se llevó a cabo en dicha zona de contacto con un comparador centesimal Zeiss, tomando como base para las medidas una longitud de 25 cms. La deformación máxima registrada fué de 1,30 mm, de la cual, adoptando para el acero un módulo de elasticidad de 2.10^6 Kg/cm^2, se deduce una tensión de $\frac{1,30 \times 2 \times 10^6}{250} =$ $= 10.400$ Kg/cm^2; valor ligeramente superior al previsto en el cálculo.

La tensión originada en el hormigón, por el esfuerzo de pretensado, se ha medido en dos secciones; la primera la correspondiente al tercer cerco a partir del soporte y la segunda la sección media del tramo.

En la primera de dichas secciones las medidas se realizaron con tres comparadores montados en los extremos de una cruz apoyada sobre la generatriz inferior de la tubería.

Una vez efectuado el tesado, la deformación medida fué

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

$5,85.10^{-5}$ (ε) sobre el diámetro horizontal y de $5,6.10^{-5}$ (ε) sobre el vertical. Admitiendo un módulo de elasticidad igual a 300.000 Kg/cm^2 se obtienen unas tensiones de 17,5 y 16,8 Kg/cm^2, respectivamente. Estos valores, algo inferiores a los obtenidos al hacer el cálculo, están justificados si se tiene en cuenta la rigidez de los tímpanos.

En el ensayo realizado en la segunda sección, la deformación máxima medida fué 12.10^{-5} (ε); que considerando la variación térmica de 4° que se produjo durante la prueba se reduce a 8.10^{-5} (ε); con un módulo de elasticidad de 300.000 Kg/cm^2 se obtiene una solicitación de 24 Kg/cm^2, aproximadamente; valor levemente superior al teórico (22 Kg/cm^2).

d) Ensayo de la obra.

Una vez terminada la estructura se efectuó un nuevo ensayo para comprobar su comportamiento, bajo las condiciones normales de servicio.

Todas las deformaciones se midieron en el tramo comprendido entre los soportes 4 y 5 (fig. 20).

A lo largo de la generatriz inferior de la tubería se dispusieron cinco flexímetros Salmoiraghi de sensibilidad 1 div = $= \frac{1}{10}$ m m: dos de ellos, el 1° y el 5°, en los apoyos; el 2° y 4° a $\frac{1}{4}$ de la luz del tramo y el 3° en el centro del tramo.

La medida de los alargamientos se ha realizado con un elongámetro Huggemberger de sensibilidad 10.10^{-6} (ε) y con otro Maihak con transmisor, tipo M.D.S. 13 de sensibilidad 3.10^{-6} (ε).

Los elongámetros eléctricos Maihak no se colocaron hasta la iniciación de la prueba de carga, habiéndose presentado fuer

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

tes perturbaciones en el circuito.

En tres secciones, una en el centro y dos dispuestas simétricamente respecto a la primera y distantes de ella 60 cm, se colocaron elongámetros en sentido transversal (indicados con t en la fig. 20) y correspondiéndose con las generatrices situadas a 0°, 90°, 180° y 270°.

En los puntos 17, 21, 22 y 26 próximos a los soportes los elongámetros se colocaron en estrella, sobre las generatrices situadas a 90° y 270° para medir las deformaciones principales.

A causa de la larga duración del ensayo, las lecturas en los aparatos resultaron sensiblemente influenciadas por las variaciones térmicas. Por esta causa hubo necesidad de colocar probetas testigo en los dos lados del puente, con el fin de poder medir las deformaciones originadas por los cambios de temperatura.

Terminado este ensayo, todavía se continuó realizando las lecturas durante dos días más, con la tubería descargada. Comparando estas últimas lecturas con las realizadas sobre la estructura cargada, en las mismas condiciones de temperatura exterior y de diferencia térmica entre el intradós y el trasdós, se obtuvo una ulterior comprobación de las medidas registradas.

La determinación de las temperaturas en el intradós y en el trasdós se efectuó utilizando dos termómetros, de gran sensibilidad, mantenidos en un baño de aceite.

Dos transmisores Maihak, el nº 2 y el nº 12, se estropearon y hubo que retirarlos.

Para no perturbar el buen funcionamiento de los restantes transmisores se consideró oportuno no modificar su colocación.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

En la tabla III, que a continuación se incluye, se indican los datos registrados, durante el mencionado ensayo, en los distintos elongámetros, bajo los diferentes estados de carga.

T A B L A III

Día	Hora h.	Hora m.	Carga	ELONGAMETROS (ε. 10^{-6}) 1	2	5	7	8	16	15	9	12	11
13.6.53	10	30	0	Según las generatrices									
15.6.53	17	30	I	--	17,1	32,0	16,0	--	--	-12,8	-27,3	-16,8	--
17.6.53	15	30	II	--	42,7	52,7	41,6	--	--	-38,3	-51,8	-36,3	--
18.6.53	9	00	III	--	42,7	48,2	44,7	--	--	-35,2	-45,7	-33,6	--
18.6.53	12	40	IV	--	39,7	51,2	48,0	--	--	-44,7	-54,8	-39,2	--
18.6.53	18	00	V	--	42,7	52,7	41,6	--	--	-38,3	-51,8	-30,7	--
19.6.53	15	10	IV	--	42,7	48,2	44,7	--	--	-35,2	-48,7	-33,6	--
19.6.53	17	00	II	--	37,0	48,2	38,3	--	--	-41,5	-45,7	-39,2	--
20.6.53	13	10	I	--	14,2	24,1	22,3	--	--	-22,3	-30,4	-19,6	--

Carga I: con agua hasta la mitad del tubo

Carga II: con el tubo lleno de agua

Carga III: con una presión de 1,5 atmósferas

Carga IV: con una presión de 2,5 atmósferas

Carga V: con una presión de 3,125 atmósferas

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

T A B L A III (continuación)

Día	Hora h.	Hora m.	Carga	ELONGAMETROS ($\varepsilon \cdot 10^{-6}$) 14	10	13	18	19	20	3	4	6	23	24	25
13.6.53	10	30	0	En dirección transversal											
15.6.53	17	30	I	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
17.6.53	15	30	II	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
18.6.53	9	00	III	24,7	29,0	25,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--
18.6.53	12	40	IV	41,3	48,2	43,5	30,0	40,0	45,0	35,0	30,0	35,0	45,0	40,0	28,0
18.6.53	18	00	V	51,2	60,0	52,0	60,0	50,0	50,0	55,0	45,0	55,0	60,0	60,0	40,0
19.6.53	15	10	IV	38,5	43,0	40,4	50,0	45,0	40,0	27,0	30,0	30,0	40,0	30,0	30,0
19.6.53	17	00	II	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
20.6.53	13	10	I	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Carga I: con agua hasta la mitad del tubo

Carga II: con el tubo lleno de agua

Carga III: con una presión de 1,5 atmósferas

Carga IV: con una presión de 2,5 atmósferas

Carga V: con una presión de 3,125 atmósferas

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

La flecha máxima medida bajo la carga más elevada y en el centro de cada tramo, fué, aproximadamente, de 1,00 m m.

La máxima tensión longitudinal correspondió a la lectura realizada en el elongámetro nº 5. Haciendo E = 300.000 Kg/cm^2, dicha tensión resultó:

$$52,7 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{5} = 15,81 \ Kg/cm^2;$$

el valor teórico de la misma era de 18 Kg/cm^2 aproximadamente.

El esfuerzo de tracción circular ha sido

$$60 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{5} = 18 \ Kg/cm^2$$

contra 19 Kg/cm^2 previstos por el cálculo. Los restantes elongámetros han dado valores inferiores, como claramente se refleja en la tabla citada.

Los datos obtenidos en los elongámetros en estrella, tomando la media de los valores registrados en los cuatro puntos de medida, han sido:

En la dirección a: $5 \cdot 10^{-5}$ (ε)
En la dirección b: $6 \cdot 10^{-5}$ (ε)
En la dirección c: 0
En la dirección d: $-2 \cdot 10^{-5}$ (ε)

Como es sabido se debe verificar la relación:

$$\varepsilon_a + \varepsilon_c = \varepsilon_b + \varepsilon_d$$

Tomando la media de los dos valores, se tendrá:

$$\varepsilon_a + \varepsilon_c = \varepsilon_b + \varepsilon_d = 4,5 \cdot 10^{-5}$$

Con estos valores, puesto que $\varepsilon_a + \varepsilon_c = \Sigma \varepsilon$, las tensiones principales que resultan son:

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

$$\left.\begin{matrix}\sigma_I \\ \sigma_{II}\end{matrix}\right\} = \frac{m}{2}\left[\frac{\Sigma\,\varepsilon}{m-1} \pm \frac{1}{m+1}\sqrt{\varepsilon_b^2}\,\right]$$

para m = 8 se obtiene:

$$\left.\begin{matrix}\sigma_I \\ \sigma_{II}\end{matrix}\right\} = \begin{matrix}+\ 18\ Kg/cm^2 \\ -\ 0{,}7\ Kg/cm^2\end{matrix}$$

Los valores teóricos, con $r = -\ 6{,}7\ Kg/cm^2$ y $\sigma_2 = 18\ Kg/cm^2$, son:

$$\sigma_I = 20{,}20\ Kg/cm^2$$

$$\sigma_{II} = -\ 2{,}20\ Kg/cm^2$$

Las pequeñas diferencias obtenidas entre los valores teóricos y los experimentales son perfectamente admisibles, sobre todo si se tiene en cuenta la influencia de la rigidez de los tímpanos, ya señalada al tratar del pretensado circular.

- - -

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

591-5-2 PORVENIR DE LAS CARRETERAS DE HORMIGON PRETENSADO

(The future of prestressed concrete roads)

por R. H. Evans

"HIGHWAYS AND BRIDGES AND ENGINEERING WORKS", 28 Julio 1954

- S i n o p s i s -

Se mencionan las principales ventajas e inconvenientes de las carreteras de hormigón pretensado, se dan algunos datos técnicos sobre su construcción y características y se indican los distintos procedimientos que pueden adoptarse para introducir el pretensado y cuáles son los más recomendables. Finalmente, se hacen algunas consideraciones sobre el posible desarrollo, en el futuro, de este tipo de estructuras.

- - -

Durante el último curso de verano, organizado por "The Northern Districts of the Institution of Municipal Engineers", en la Universidad de Leeds, el profesor R. H. Evans pronunció una conferencia acerca de la actual situación del problema de la construcción de carreteras en hormigón pretensado, extendiéndose en algunas consideraciones sobre su posible futuro desarrollo.

En dicha conferencia el profesor Evans dijo, entre otras cosas, lo siguiente: La prosperidad de Inglaterra depende, en gran parte, de que pueda o no disponer de una adecuada y eficaz red de carreteras. A este respecto, resulta del mayor interés la aplicación de la técnica del hormigón pretensado a la construcción de carreteras. Pero en ellas, a diferencia de lo que ocurre con los puentes o edificios industriales, es difícil predecir su vida útil de servicio. Los factores que sirven de base para los proyectos de -

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

nuestra red nacional, varían rápida y continuamente a causa del constante aumento experimentado, tanto en el peso de los vehículos, como en la densidad del tráfico.

AUSENCIA DE JUNTAS

En las carreteras de hormigón pretensado, es normal introducir un esfuerzo capaz de originar en el firme una tensión de compresión comprendida entre los 14 y los 35 Kg/cm^2, con lo cual se encuentran en condiciones de absorber unos esfuerzos de flexión mucho mayores, antes de que se produzca la fisuración. Por esta causa, en este tipo de calzadas no es necesario disponer más juntas que las de dilatación, las cuales pueden ir colocadas de 90 a 300 m de distancia, unas de otras. De esta forma resultan beneficiadas las condiciones de rodamiento, se reducen los gastos de entretenimiento y se aumenta, la vida de la estructura. Los principales inconvenientes de las carreteras pretensadas son: la dificultad que presentan cuando es necesario realizar en ellas cualquier clase de calas o reparaciones y lo complicada que resulta la construcción de juntas de dilatación cuando los tramos son demasiado largos.

Actualmente, existe en Inglaterra la tendencia de limitar la longitud de los tramos a 120 ó 150 m, en vista de la incertidumbre existente sobre el valor del rozamiento y de la coacción ejercida por la plataforma del cimiento sobre la placa. Es aconsejable también, disponer una junta longitudinal cada 4,5 m de anchura, pues de lo contrario se hace preciso introducir un pretensado transversal. Las placas deberán pretensarse, a través de sus juntas longitudinales, por medio de un tirante que permita un ligero movimiento longitudinal de una placa con relación a la adyacente. Ello

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

es preciso porque, en general, una de las mitades de la placa suele hormigonarse, e incluso, frecuentemente, pretensarse antes que la otra.

El espesor de la placa suele variar entre los 13 y 15 cm y la magnitud del esfuerzo de pretensado, para una longitud de 150 m, deberá ser, por lo menos, de 17,5 Kg/cm^2, en el momento inicial. Existen muy pocos datos sobre el valor del coeficiente de rozamiento. Lo único que se sabe es que varía mucho, pudiendo considerarse comprendido, en los casos normales, entre 0,23 y 0,50 un coeficiente de 0,50 representa, para una placa de 12 m de longitud cuyos extremos pueden moverse respecto al centro, una pérdida de 7 Kg/cm^2 en el esfuerzo de pretensado.

El pretensado longitudinal puede aplicarse: a) mediante cables postesos; b) mediante barras postesas; c) por alambres pretesos, y d) mediante un pretensado exterior realizado con el auxilio de gatos colocados en hendiduras adecuadamente dispuestas en la placa.

Existen carreteras pretensadas en Luzancy, Esbly, Crawley y Ringwood. Todas ellas, así como las placas experimentales de Wexham y Harmondsworth, son suficientemente conocidas. Pistas pretensadas existen en Orly, Heathrow, y otros lugares.

Ensayos norteamericanos sobre placas no fisurables

La dirección de la "Public Roads Administration" ha adoptado, como valores límites del coeficiente de rozamiento, los de 0,5 y 2. Propugna que, en cada caso, se determine dicho coeficiente con la mayor aproximación posible y que el pretensado introducido en las placas para carreteras sea tal que estas placas que-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

den capacitadas para resistir el citado rozamiento sin fisurarse. En unos grandes almacenes de Chicago, se ha construído una placa - pretensada, sin juntas, de 7,5 cm de espesor, que descansa sobre una base de hormigón a través de una capa intermedia que disminuye el rozamiento.

El coeficiente de rozamiento puede determinarse mediante ensayos. Para demostrar la posibilidad de construir grandes placas de hormigón pretensado, sin fisuras, se construyó una de varios cientos de metros de longitud, descansando sobre una cama, de hormigón en masa, de 22,5 cm de espesor. Como sobrecarga móvil para el ensayo, se utilizaron varias bobinas de cable, cada una de las cuales pesaba 10 T, con una presión de contacto de 70 Kg/cm^2, muy superior a la de 18 Kg/cm^2 que es la máxima registrada, para los aviones más pesados, sobre las pistas de aterrizaje. Después de cuatro años de experiencias, no se ha apreciado ni la más pequeña fisura capilar.

El empleo de elevados esfuerzos de pretensado siguiendo la práctica normalmente utilizada en otros tipos de estructuras, llevaría a una considerable disminución en el espesor de las placas. Pero es difícil que tal sistema pueda llegar a adoptarse, ya que al reducir el espesor, aumentan mucho las flechas elásticas de las placas, y si bien estas piezas podrían soportar fácilmente grandes flechas, es muy dudoso que las bases de cimentación pudieran - absorberlas sin experimentar sensibles deformaciones permanentes.

El porvenir de la aplicación del pretensado a la construcción de carreteras

En la actualidad se observa que el coste de una carretera es, aproximadamente, el mismo en hormigón pretensado que en hor-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

migón armado ordinario. Cuando el terreno es muy poco resistente, la ventaja de las carreteras pretensadas es manifiesta. La mayor o menor aceptación de esta técnica, en el futuro, por los constructores de carreteras depende, en gran parte, de las experiencias y estudios que puedan realizarse para simplificar los actuales métodos constructivos y para mejorar los sistemas de pretensado. En particular, los procedimientos a base de armaduras pretesas ofrecen grandes posibilidades, siempre y cuando se logre idear algún dispositivo automático que permita introducir un esfuerzo continuo de pretensado de, por lo menos, unas 30 T por metro de ancho de la placa, a lo largo de toda ella. A tal efecto, podría pensarse en un procedimiento que consistiese en anclar todos los alambres en uno de los extremos de la placa y aplicar la tracción, de un modo continuo, por el otro extremo, con el auxilio de potentes tractores.

Un tractor pesado es capaz de ejercer un esfuerzo de tracción aproximadamente igual a 0,9 de su peso y, por consiguiente, no haría falta más de cinco tractores. La plataforma con las bobinas de los cables, de la cual han de tirar los tractores, podría ir montada sobre vías y el tesado de los alambres podría efectuarse por el conocido sistema de estirado a través de una boquilla, utilizado en el procedimiento "Preload" para el pretensado de depósitos.

La principal ventaja del pretensado con armaduras pretesas, es la de que la tensión de los alambres puede conocerse con gran aproximación. Además, dicha tensión se mantiene sensiblemente constante todo a lo largo de los cables, con lo cual el esfuerzo de pretensado será también siempre el mismo a lo largo de toda la placa, sin que haya que considerar pérdida alguna por rozamiento de la armadura con el hormigón, siendo, por lo tanto, menor la proba-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

bilidad de fisuración. Asi pues, lo que ahora hace falta es decisión y habilidad para proyectar una máquina capaz de realizar, de un modo satisfactorio, estas operaciones de pretensado en las obras corrientes.

Otro procedimiento, que da también buenos resultados, es el de pretensado exterior. Puede realizarse mediante cualquier tipo apropiado de gato y, especialmente, con los gatos planos "Freyssinet" colocados en ranuras convenientes dispuestas en la placa de hormigón. Cuando no existe armadura longitudinal los extremos de la placa deben ir anclados de acuerdo con el valor de la coacción ejercida por la plataforma de cimentación. Una vez hinchado el gato hasta alcanzar el espesor requerido, que suele ser de 5 cm cada 10 m de longitud de la placa, se rellena con hormigón la abertura de la ranura y se retira el gato.

Es indudable que la construcción de carreteras de hormigón pretensado no ha recibido, ni con mucho, la atención que se ha prestado, por ejemplo, a la de puentes y depósitos pretensados. No obstante, se preven amplias oportunidades para nuevos métodos constructivos, y la resolución del problema, como ocurre en cualquier otra rama de la ingeniería, depende de que la investigación, la teoría y la práctica avancen acordes hasta alcanzar los resultados apetecidos.

- - -

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

837-4-7 CONSIDERACIONES PRACTICAS SOBRE LAS INDUSTRIAS DEDICADAS A LA FABRICACION DE ELEMENTOS DE HORMIGON PRETENSADO

(Practical aspect of plant produced prestressed concrete)

por Orley O. Phillips

"JOURNAL OF THE AMERICAN CONCRETE INSTITUTE", Mayo 1954

- S i n o p s i s -

Se estudia el desarrollo alcanzado en estos últimos años por las industrias dedicadas a la fabricación en serie de elementos de hormigón pretensado. Se indica que en ellas es fundamental conseguir una gran rapidez de fabricación y una perfecta coordinación de todas las operaciones, tanto en los proyectos, como en la producción, transporte y almacenamiento de los elementos obtenidos. Se incluye un estudio económico de los costes de producción.

- - -

INTRODUCCION

Cualquier buen ingeniero es capaz de dirigir el proyecto de una obra de hormigón pretensado. Del mismo modo, todo contratista o fabricante de piezas de hormigón puede fácilmente aprender los métodos corrientemente empleados para el moldeo, hormigonado y pretensado de los elementos de hormigón. Sin embargo, tanto el ingeniero como el fabricante tropezarán con numerosas dificultades, que no les será sencillo vencer, cuando traten de organizar la producción en serie de cualquier tipo de piezas de hormigón pretensado, que haya de competir en el mercado con otros materiales de construcción.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

La fábrica de la "Prestressed Concrete of Colorado, Inc", de Denver, es una de las más importantes entre las que en la actualidad existen en los Estados Unidos para la prefabricación de elementos pretensados. Una descripción de las instalaciones y métodos de fabricación empleados actualmente en esta industria, servirá para poner de manifiesto la importancia de contar con un cuidadoso y meditado plan de fabricación y, sobre todo, la absoluta necesidad de que exista una perfecta coordinación entre todas las distintas fases de la producción (proyecto, hormigonado, pretensado, transporte, etc.).

Según parece, el procedimiento de pretensado a base de armaduras pretesas es el más adecuado para la fabricación en serie de piezas de hormigón pretensado, con destino a la construcción de estructuras para edificios, cuando las luces de los elementos no exceden de los 12 m. Por el contrario, para luces mayores se estima más conveniente recurrir al empleo de las armaduras postesas.

Evolución de los métodos de fabricación

Las primeras piezas con armaduras pretesas obtenidas en la citada factoría de Denver, se fabricaron en bancos de producción de sólo 18 m de longitud. Esta longitud se considera, actualmente, que resulta pequeña y antieconómica. Sin embargo, en dichos bancos se fabricaron muchas piezas y ellos sirvieron, tanto al ingeniero como al constructor, de inapreciable experiencia y de la cual sacaron provechosas enseñanzas que les resultaron muy útiles cuando tuvieron que montar las grandes cadenas de producción actualmente en servicio. En realidad, estos bancos-piloto no han sido todavía abandonados, habiéndoseles trasladado a las nuevas instalaciones donde

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

se utilizan para realizar algunos pequeños trabajos de tipo especial. Se ha podido comprobar que, si bien el proyecto y construcción de un banco de moldeo es relativamente sencillo, los procedimientos para anclar y mantener en posición los alambres durante el tesado, plantean numerosos problemas de difícil solución. El empleo de los dispositivos de anclaje que en un principio existían en el mercado, resultaba muy gravoso pues, dada la complejidad de su manejo, se invertía demasiado tiempo en su ajuste. Después de muchos estudios y experiencias, dichos dispositivos fueron parcialmente modificados y, actualmente, se les puede ajustar y soltar rápidamente y reutilizar varias veces.

Pronto se vió que, para poder lograr una producción económica, era preciso ampliar las instalaciones de la fábrica, con el fin de conseguir un gran volumen de producción de piezas pretensadas. En el proyecto de las nuevas áreas de fabricación se consideró de fundamental importancia, desde el punto de vista económico, disponer las cosas de tal forma que fuese posible obtener una gran rapidez de producción y una fácil adaptabilidad de las instalaciones a cualquier tipo de pieza, sea cual sea la forma de su sección, su anchura y su longitud.

Teniendo en cuenta estos principios, se acordó finalmente construir bancos de producción de 90 m de longitud y 3 m de anchura, con estribos intermedios para anclaje colocados a 6 m de distancia unos de otros. (Fig. 21). Cada uno de estos bancos dispone de un equipo de tesado de 300 T de capacidad (fig. 22) con el que se pueden tesar, en una sola operación, 60 alambres de 8 mm de diámetro ó 40 de 9,5 mm.

En la fábrica primitiva, la preparación de las mezclas de hormigón se efectuaba en una instalación central desde la cual

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

se repartía a los distintos puntos de empleo por medio de vagonetas mezcladoras. Pronto se pudo comprobar la necesidad de revisar este procedimiento y en la actualidad se utiliza una hormigonera de paletas, colocada en la torre central de hormigonado, distribuyéndose el hormigón aquí fabricado mediante camiones basculantes. Se ha visto que este nuevo sistema da resultados más satisfactorios que el de las mezcladoras de tambor antes empleado, teniendo en cuenta que el hormigón que se utiliza es de consistencia seca (su docilidad no suele exceder de los 2,5 cm).

Uno de los factores que más influyen en la rapidez y economía de la producción es el tipo de molde. Los moldes deben ser sencillos, rígidos y fáciles de limpiar para su reutilización. Para que las piezas pretensadas, prefabricadas sean capaces de competir en el mercado con las análogas de otros tipos, es preciso que puedan ser moldeadas, curadas y desencofradas (fig. 23) en el menor tiempo posible. Para ello es, evidentemente, necesario utilizar hormigones de rápido endurecimiento y alta resistencia inicial. En la fábrica de Denver, esto se consigue con el empleo de mezclas secas que se curan al vapor. De esta forma, y partiendo del cemento Portland normal del tipo I, se logran alcanzar resistencias en compresión de 420 Kg/cm^2, a las 24 horas. Esta alta resistencia inicial, unida a un adecuado planteamiento de las distintas operaciones de la producción, permite poder moldear, cada día, una nueva serie de piezas en cada uno de los bancos de fabricación. Los elementos construídos el día anterior se desencofran por la mañana; enseguida se limpian los moldes vacíos, se colocan y tesan las armaduras, y por la tarde se pueden ya moldear las nuevas piezas que habrán de desencofrarse la mañana siguiente. De esta forma se llegan a fabricar hasta 140 m^2 de elementos para estructuras, por día, en cada uno de los bancos de producción.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Para conseguir estos resultados es imprescindible que el ingeniero estudie, con todo cariño y atención, las distintas operaciones de fabricación hasta encontrarse totalmente familiarizado con los problemas propios de cada una de ellas. Sólo así podrá sacar el mejor partido posible a sus conocimientos, al proyectar las diferentes piezas a fabricar, lo que se traducirá en una serie de sencillos y prácticos detalles con los cuales saldrá beneficiada la economía de la producción. Hay que tener en cuenta que, tanto el proyecto y distribución de las diversas instalaciones, como la preparación de las plantillas y detalles de las piezas a fabricar, son elementos importantes para el logro final de esa economía.

Posibilidades de competencia

Cuando un fabricante intenta introducir el consumo en gran escala del hormigón pretensado en un nuevo mercado, tropieza indefectiblemente con la oposición de los contratistas locales a aceptar el nuevo material constructivo. Este hecho resulta sobre todo evidente cuando se trata de la construcción de estructuras a base de piezas prefabricadas de hormigón pretensado. Existen relativamente pocos contratistas que hayan manejado estas piezas y construído con ellas. Por consiguiente, cuando en la subasta de una obra se exige, o acepta como alternativa, la solución pretensada, el contratista, frecuentemente, ante el temor que le inspira el empleo de un material que desconoce, se cubre con un excesivo margen de seguridad fijando unos precios excepcionalmente elevados. Y como consecuencia, el fabricante de elementos pretensados, en tanto no consigue que sus productos sean suficientemente conocidos, se ve colocado en una posición de evidente desventaja y

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

al margen de toda posible competencia en el mercado libre.

Para evitar tan serio inconveniente, el fabricante, en las primeras subastas a que concurra, deberá cotizar sus productos indicando los precios de las piezas ya totalmente colocadas en la obra. Si cuenta con el equipo y personal necesario, podrá realizar él mismo el montaje de los distintos elementos. En caso contrario, deberá asociarse con algún contratista competente que ponga el mayor interés en conseguir un cuidadoso planteamiento de las distintas operaciones de montaje de la estructura, con el fin de que ésta resulte lo más económica posible. Una vez introducidos sus productos en el mercado, y demostrado mediante la realización de algunas obras que los elementos prefabricados de hormigón pretensado pueden competir con éxito con los demás materiales constructivos, los contratistas locales se darán cuenta de que el manejo y empleo de las piezas pretensadas no plantea ningún problema de difícil o antieconómica solución. Y si bien es necesario que el fabricante, al principio, emprenda por sí mismo la realización de algunas obras como programa educativo, no es aconsejable que continúe después presentándose, en competencia con los contratistas locales, a las subastas para la ejecución de proyectos completos, debiendo limitarse a concurrir como subcontratista para el suministro de los elementos pretensados por él fabricados.

Aunque el coste total de una estructura construída con elementos prefabricados de hormigón pretensado variará de una a otra localidad, puesto que está en directa relación con el coste de los materiales y de la mano de obra en el punto en que se considere, en la tabla I se resumen los datos económicos correspondientes a algunas de las obras realizadas en la comarca de Denver, ya que se estima que tales datos pueden servir como primera indicación

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

sobre los valores que para otras localidades cabe esperar.

T A B L A I

Costes de obra y detalles.

Estructura	Cubierta	Detalles	Area total en m2	Coste, en dólares por m2, para el material colocado en obra.	Distancia de la fábrica a la obra en Km
Almacén frigorífico	Vigas con armadura postesa y placas, de sección en I, con armadura pretesa.	Luz de las vigas: 17,5m Luz de las placas: 7 m	3.500	15,20	3,2
Instituto de Enseñanza media	Vigas con armadura pretesa y placas de sección en U.	Luz media de las vigas: 5 m Luz de las placas: 7,3 m	1.800	16,00	48,3
Escuela primaria	Placas de sección en T y en U, con armaduras pretesas, sobre muros sustentantes.	9 m de luz y un voladizo de 75 cm por cada extremo.	2.300	16,50	96,5
Fábrica de pan	Vigas con armadura postesa y placas de sección en I, con armadura pretesa.	Luz de las vigas: 24 m Luz de las placas: 7,6 m	1.100	17,30	9,6
Edificio para ferias y exposiciones	Vigas y placas de sección en I, con armaduras pretesas.	Luz de las vigas: 12 m Luz de las placas: 6 m	2.200	14,70	24,0
Puente carretero.	—	4 tramos. Sobrecarga prevista: H-20; S-16. Vigas de 15 m de luz con armadura postesa. Placas de 1,5 m con armadura pretesa. Diafragmas de hormigón para arriostramiento. Pretensado transversal. Calzada de 12 m de ancho. Aceras de 1,5 m, a cada lado.	-	55,45 (Para las piezas colocadas ya sobre los soportes)	12,8

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Fig. 2 A.

Fig. 1.

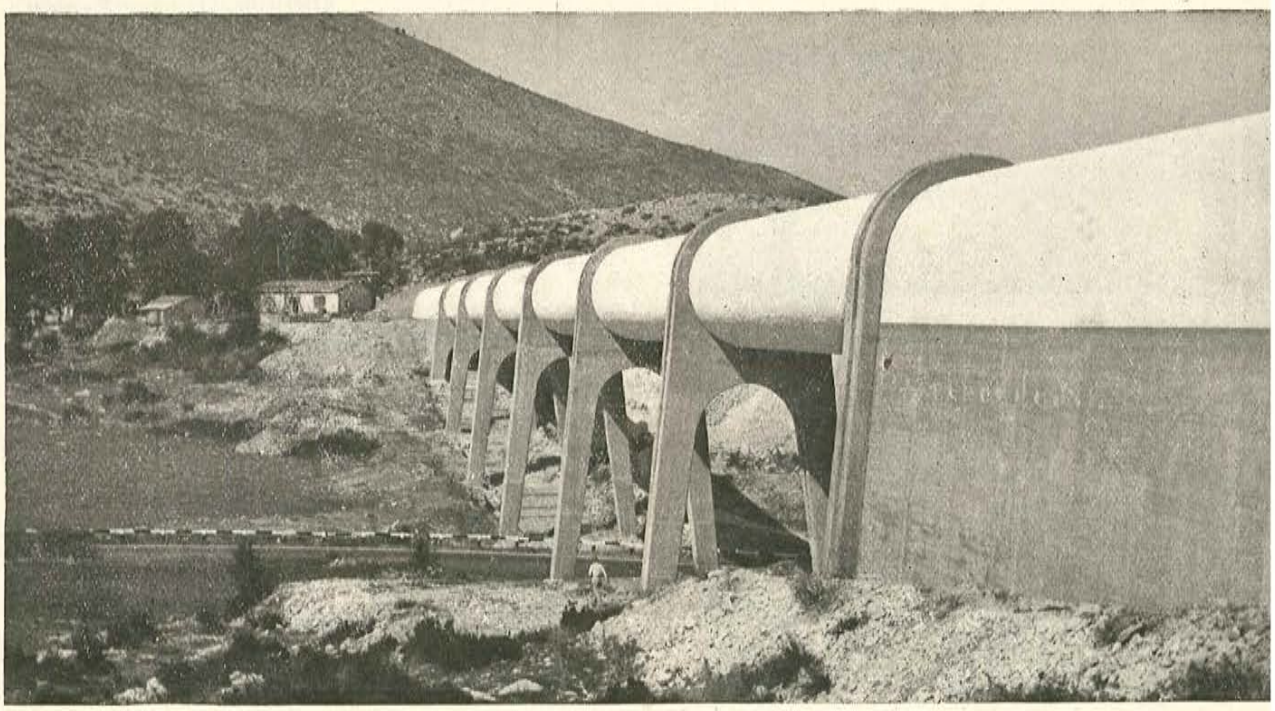


Fig. 2 B.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

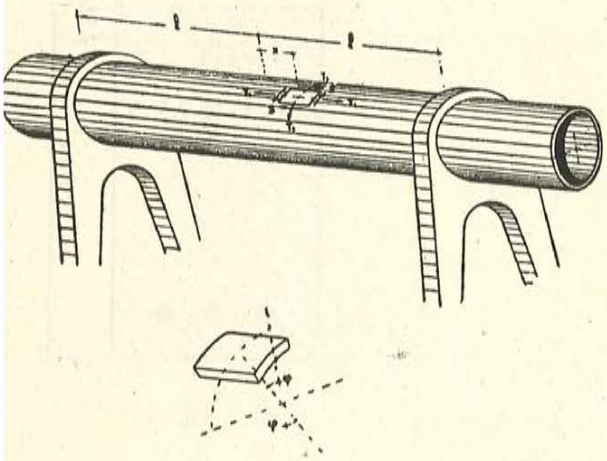


Fig. 4.

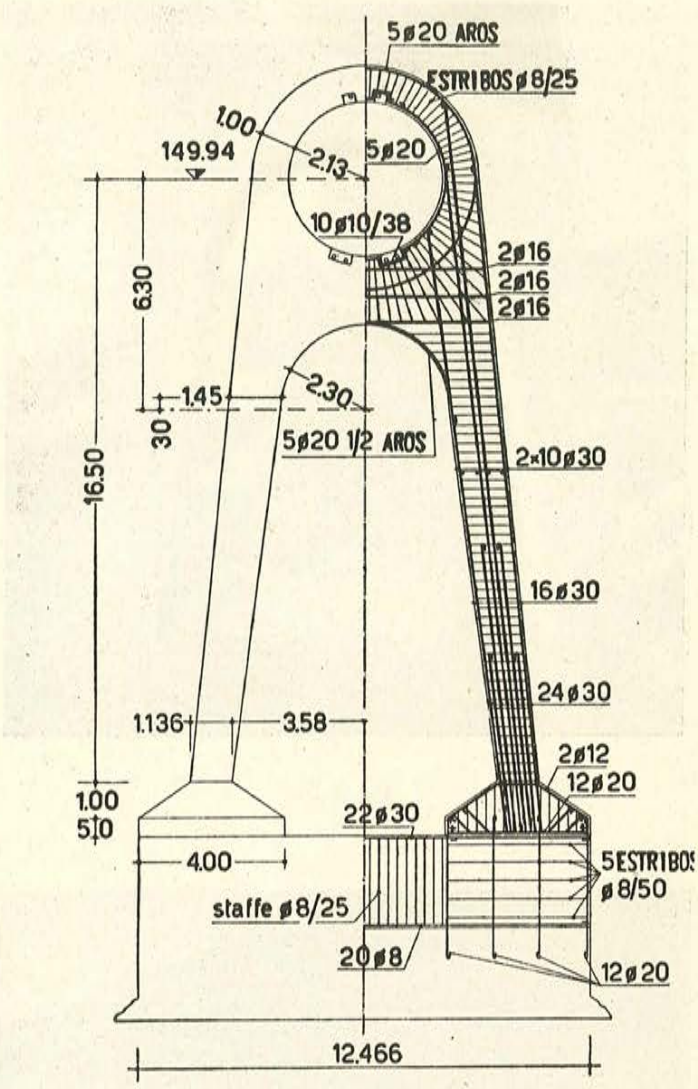


Fig. 5.

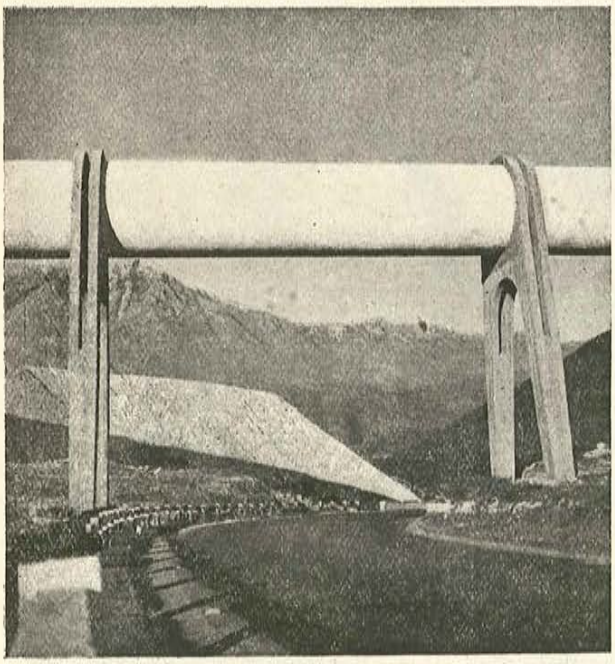


Fig. 3 A.

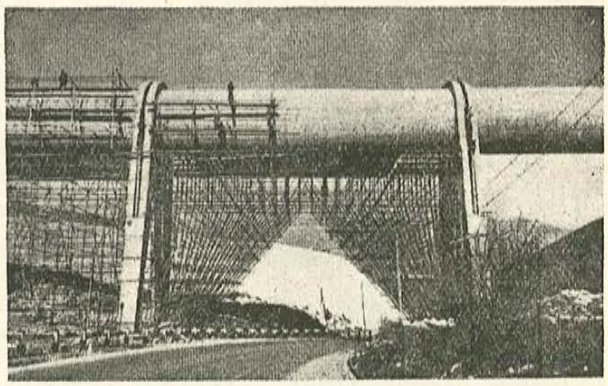


Fig. 3 B.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

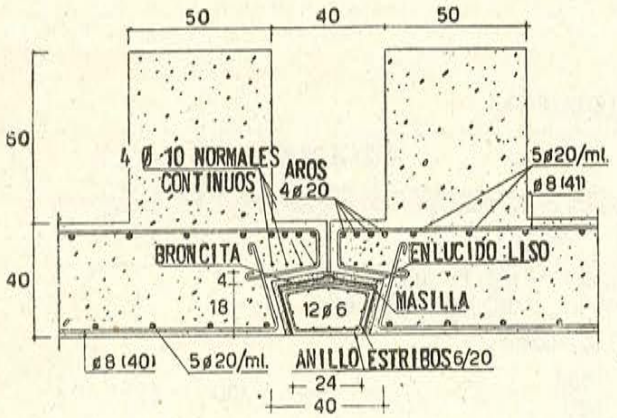


Fig. 6.

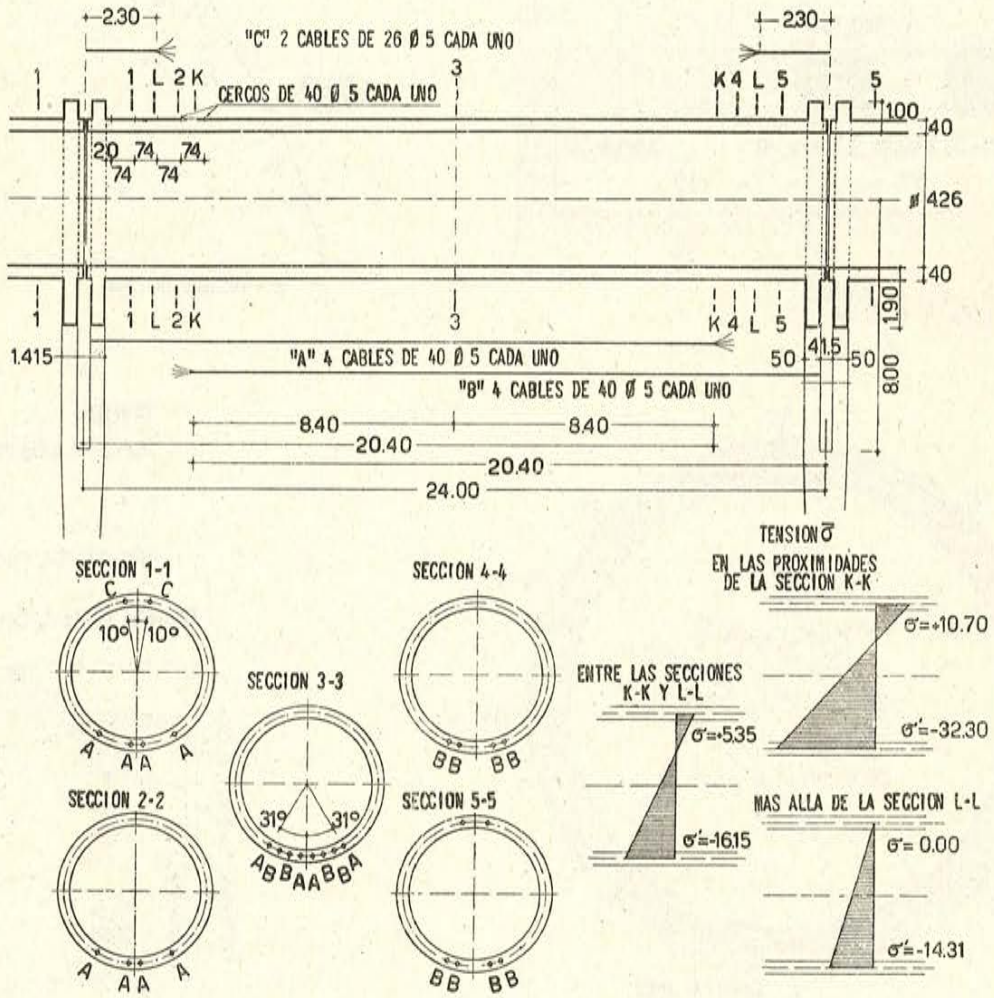


Fig. 7.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

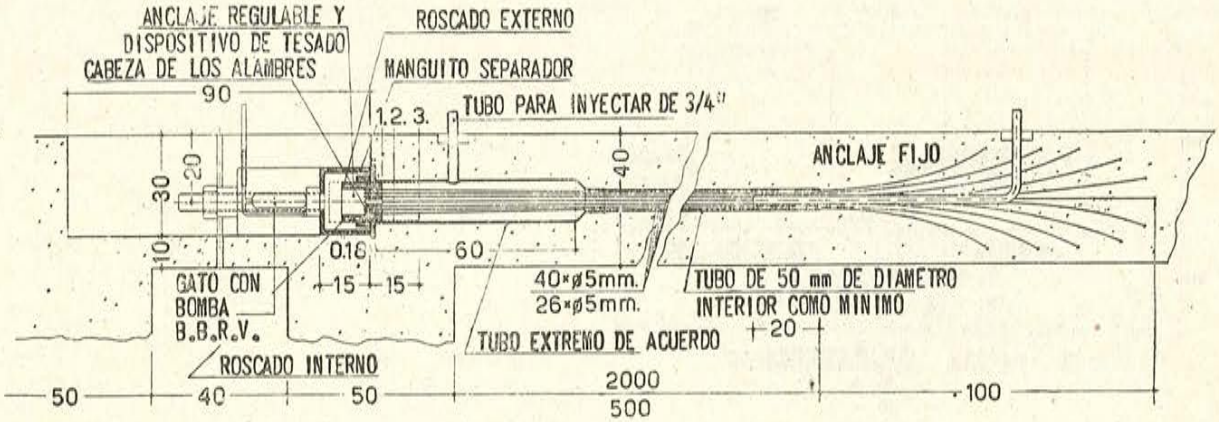


Fig. 8.

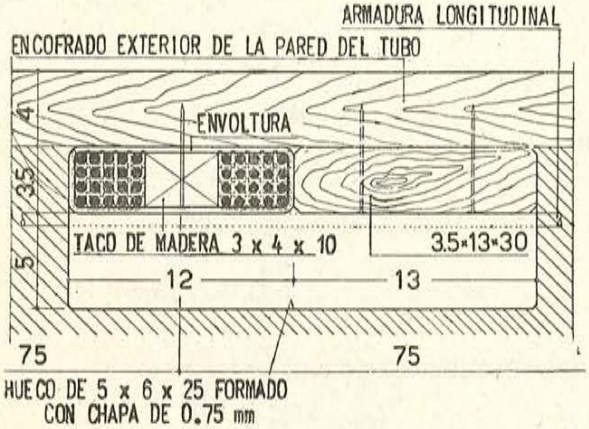


Fig. 9.

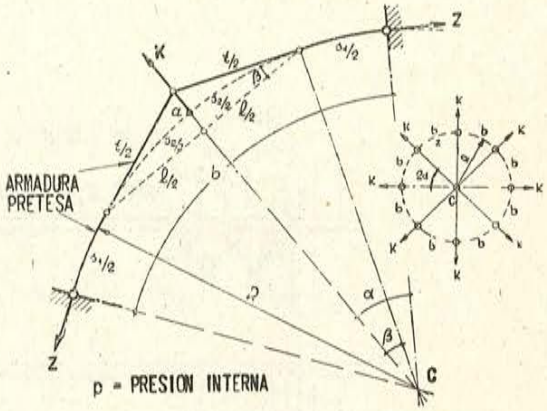


Fig. 11

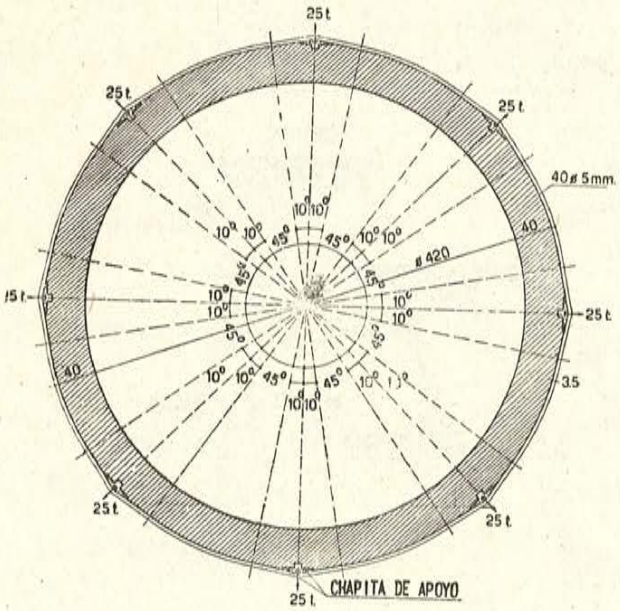
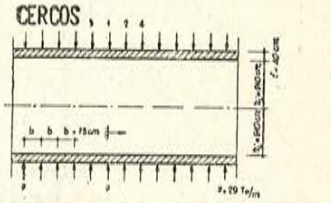


Fig. 10.



ESQUEMA DE LA SECCION LONGITUDINAL

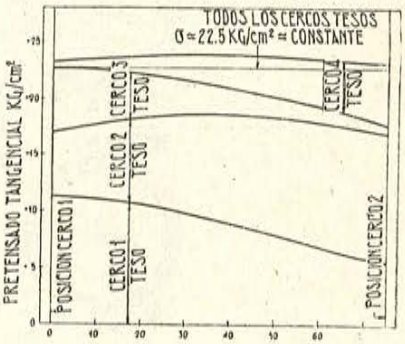


Fig. 12.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

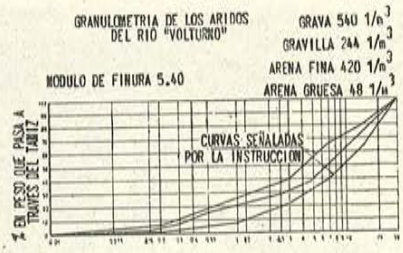
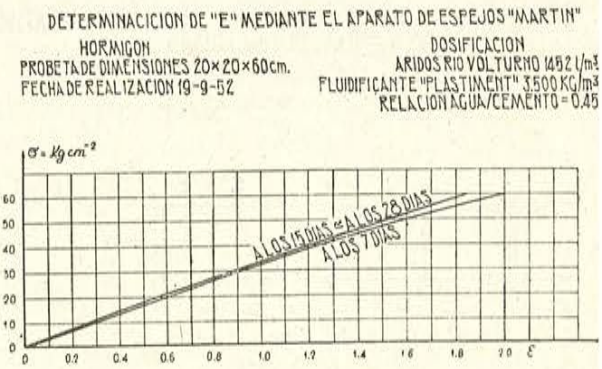


Fig. 13.



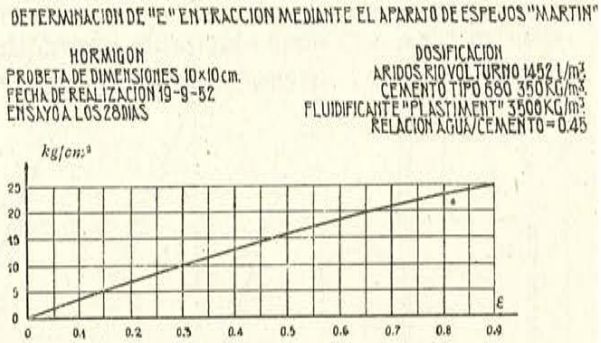


Fig. 14.

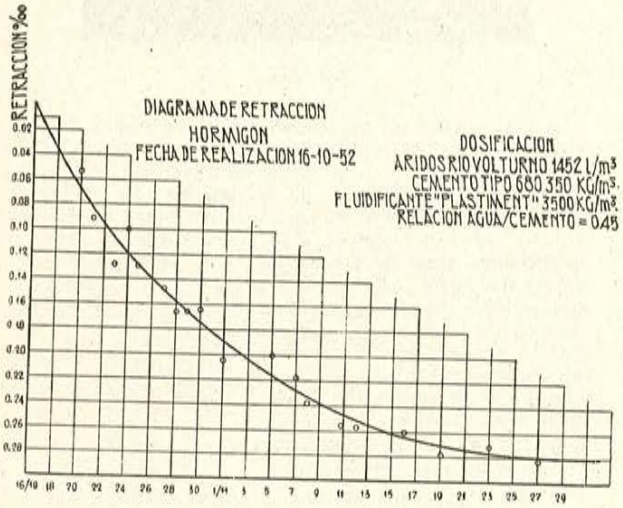


Fig. 15.

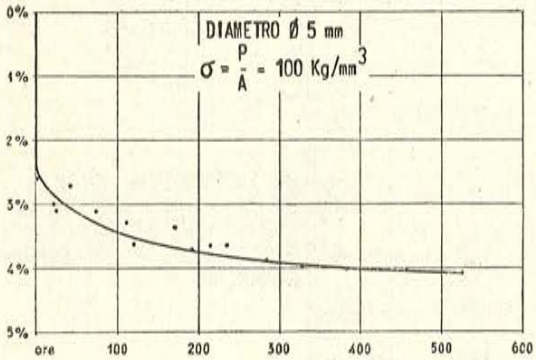


Fig. 17.

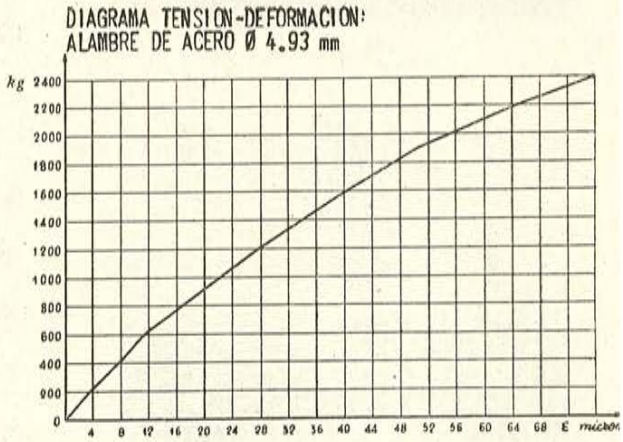


Fig. 16.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

DISPOSICION DE LOS ELONGAMETROS EN LOS ENSAYOS RELATIVOS AL PRETENSADO LONGITUDINAL

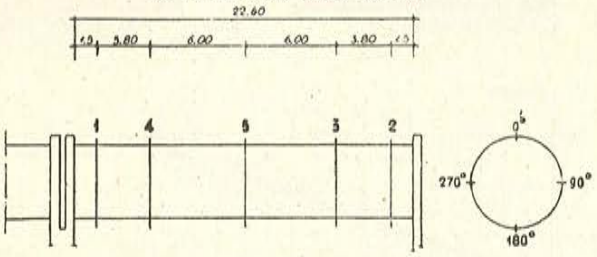
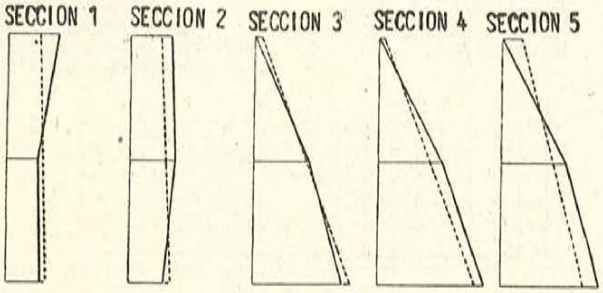


Fig. 18.

DIAGRAMAS DE TENSIONES — 1 mm = 1,53 kg/cm²

ESTADO DE CARGA: PESO PROPIO + PRETENSADO LONGITUDINAL



—— VALORES EXPERIMENTALES
------ VALORES TEORICOS

Fig. 19.

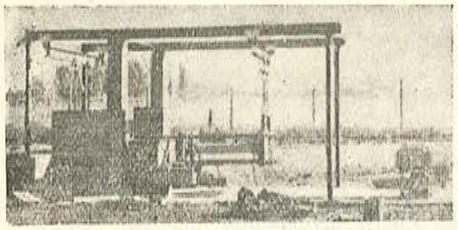


Fig. 22.

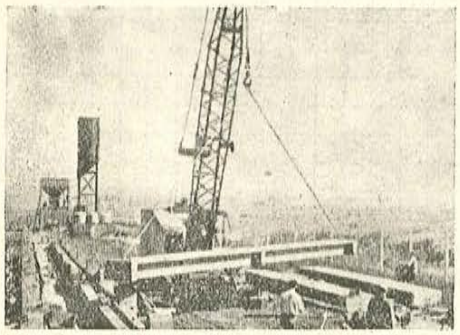


Fig. 23.

Fig. 21.

Fig. 21.—Vista de los bancos de pretensado. El banco situado en primer plano tiene una capacidad total de 227.000 kg, y los primeros 18 m son capaces de soportar un esfuerzo de 617.000 kg. El equipo de tesado va colocado en un cobertizo entre los dos bancos. El banco del otro extremo puede soportar un esfuerzo total de 118.000 kg. A la derecha de la fotografía pueden apreciarse una serie de vigas-placa, de sección en T, apiladas. La grúa que se ve al fondo está cargando camiones directamente desde el banco de producción. En primer término se observa un camión basculante de los que se utilizan para el transporte del hormigón desde la torre de hormigonado a los moldes.

Fig. 22.—Equipo de pretensado en el extremo de uno de los bancos de producción.

Fig. 23.—Fotografía obtenida en el momento en que se está retirando, del banco de pretensado, una viga de sección en T de 12 m de longitud. Al extremo del banco se ve la tolva para áridos, y el silo de cemento.

DISPOSICION DE LOS ELONGAMETROS

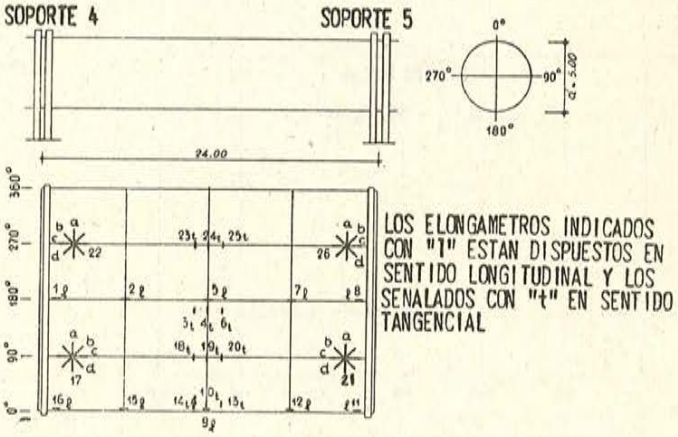


Fig. 20.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

INSTITUTO DE CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025