

asociación española del hormigón pretensado

i.e.t.c.c.



**instituto eduardo torroja**  
de la construcción y del cemento



**últimas noticias técnicas en estructuras  
de hormigón pretensado**

**boletín n. 62**





últimas noticias técnicas en estructuras

de **h**ormigón **p**retensado

**b**oletín de circulación limitada núm. 62

enero - febrero - marzo 1962

**i.e.t.c.c.**

**Instituto Eduardo Torroja**

DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO  
PATRONATO «JUAN DE LA CIERVA» DE INVESTIGACION TECNICA DEL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

Depósito legal: M. 853-1958

INDUSTRIAS DEL HORMIGÓN·S·A·

**IN·H·O·R**

APLICACIONES INDUSTRIALES DEL HORMIGÓN PRETENSADO

Y OBRAS EN GENERAL

**dirección general:**

Embajadores, 242

**almacenes y talleres:**

Embajadores, 244

Teléf. 2395600

MADRID - 5

**forjados**

**estructuras**

**cubiertas**

**cercas**

**acequias**

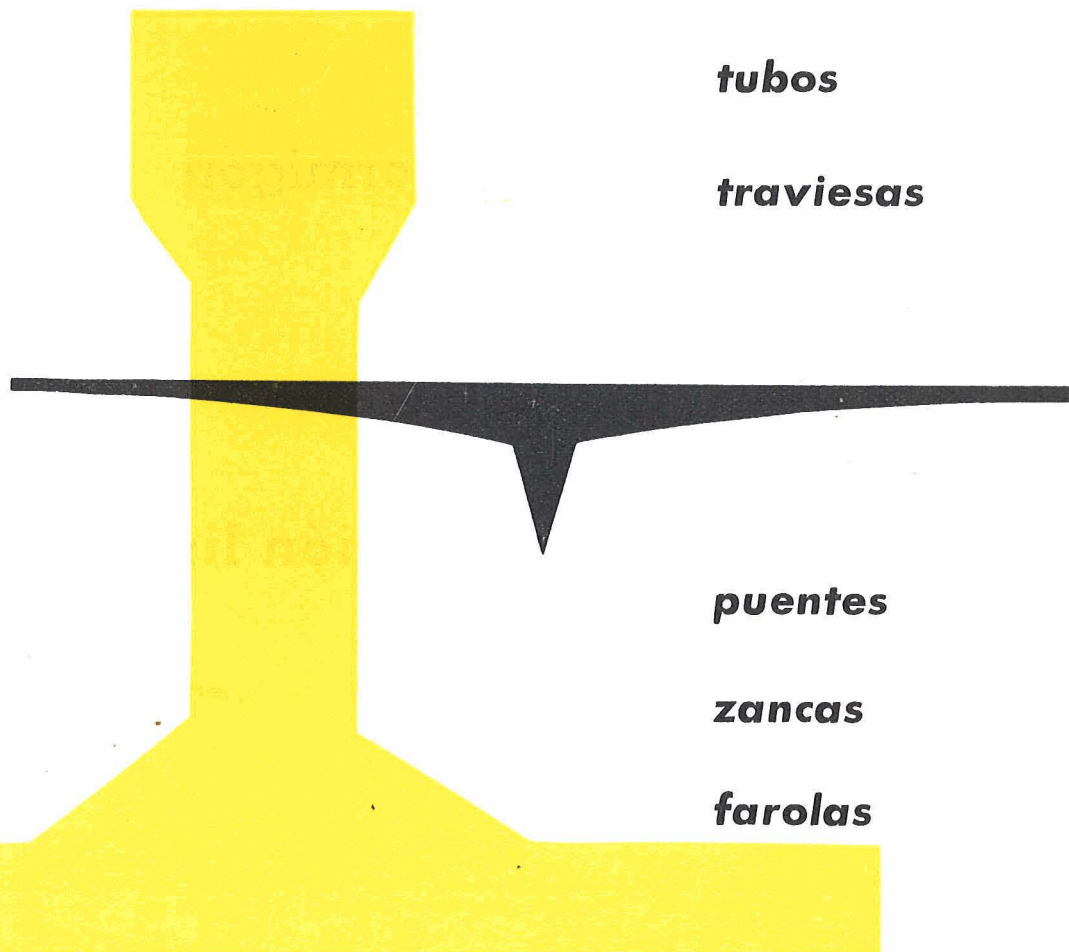
**tubos**

**traviesas**

**puentes**

**zancas**

**farolas**



**fábricas:**

YUNCOS (Toledo) Teléfono 3

MENJIBAR (Jaén) Teléfono 16

MERIDA (Badajoz) Teléfono 1416

MALAGA (Carretera de Cádiz Km. 239)

HELLIN (Albacete)

LEON (en montaje)

**delegaciones de obras:**

MADRID

TALAVERA DE LA REINA (Toledo)

JAEN

MALAGA

CORDOBA

MERIDA (Badajoz)

HELLIN (Albacete)

## asociación española del hormigón pretensado

### CUOTA ANUAL

|   | España Extranjero |         |
|---|-------------------|---------|
|   | Pesetas           | Dólares |
| Socio adherido individual ...                         | 150,00            | 3,55    |
| Socio no adherido individual.                         | 300,00            | 7,00    |
| Socio colectivo (aunque figuren como Socio adherido). | 800,00            | 15,00   |

## índice

### Editorial.

- 457-0-21 Recomendaciones prácticas sobre hormigón pretensado.
- 591-5-5 Prefabricación de paneles de hormigón pretensado para la construcción de forjados de piso o de cubierta.
- 457-4-4 Elección de las tensiones iniciales, admisibles en los aceros para hormigón pretensado.
- 457-8-23 Ensayos sobre la relajación de tensiones en el hormigón pretensado.
- 591-3-6 Tuberías de hormigón pretensado de sección poligonal.
- 837-4-15 Postes de hormigón pretensado para el tendido de líneas eléctricas.
- IV Congreso Internacional del Pretensado (F. I. P.).

## editorial

Con la llegada de 1962, entra la Asociación Española del Hormigón Pretensado en su decimotercer año de vida. En ese tiempo, la Asociación ha ido cubriendo etapas, creciendo en número de socios, fortaleciéndose día por día. Hoy, ya lejanos los primeros balbuceos—cuando nuestro Boletín se tiraba a ciclostil y se repartía entre unos pocos—, quisiéramos dar un paso más, un paso adelante, desde este umbral del nuevo año. Y ésta es nuestra llamada.

En la última reunión de la Comisión Permanente, se dedicó parte del orden del día al estudio y revisión de nuestras actividades, y se analizaron los medios más eficaces para vivificar y dar nuevo impulso a nuestra Asociación, siempre en la idea de procurar la máxima expansión, en los ámbitos nacional e hispanoamericano, a la técnica y a los técnicos del hormigón pretensado. En este sentido, se ha decidido celebrar coloquios y reuniones periódicas entre los asociados, y realzar, en lo posible, el interés técnico del Boletín de la Asociación.

La eficacia de celebrar coloquios periódicos, a los que todos los asociados tengan acceso, y en los que todos puedan presentar sus ideas, experiencias, éxitos y fracasos, se aparece tan evidente que la Comisión se pronunció inmediatamente en tal sentido, con fe y esperanza verdaderas en el valor práctico de estos coloquios, abiertos a toda discusión. Cabrá en ellos toda clase de temas: desde los más abstractos y teóricos, hasta los más prácticos y concretos; desde los más vastos y ambiciosos, hasta los más menudos y cotidianos.

Pero no puede dejarse de lado la importancia del Boletín. El Boletín es el órgano de difusión de nuestra Asociación, y, en definitiva, lo que esta última sea ha de quedar reflejado en aquél. Por eso, ésta es nuestra llamada: sus páginas, que son páginas de todos nosotros, están francas para todos nosotros. Que la técnica española e hispanoamericana del hormigón pretensado, buena o mala,—eso no nos toca juzgarlo—se vea reflejada aquí, traída de la mano por cada autor, constructor o proyectista. Ese es ahora nuestro más vivo deseo. Y a él hemos de dedicar nuestros afanes.

# VIGUETAS MARTINO

de hormigón pretensado *aprobadas por la D. G. A.*

*más ligeras,  
elásticas y económicas*

**ventanales**

**bloques**

**cerchas monolíticas**



**perfiles para claraboyas**

**tubos**

**bovedillas**

JOSE A. MARTINO, Aparejador

Rambla de Cataluña, 104, 1.º - Tel. 37 03 00 - BARCELONA

**postes**

# recomendaciones prácticas sobre hormigón pretensado

informe del Joint ACI-ASCE Committee on Prestressed Reinforced Concrete

**continuación**

## **Sección 213. Continuidad**

### **213.1. Determinación de los momentos, esfuerzos cortantes y empujes.**

Los momentos, esfuerzos cortantes y empujes, originados por las cargas exteriores y el esfuerzo de pretensado, se determinarán de acuerdo con los principios de la teoría elástica. En todo caso, habrá que tener en cuenta el efecto producido por las deformaciones axiales. En la determinación de las tensiones creadas por el esfuerzo de pretensado, deberá considerarse la coacción ejercida por los elementos adyacentes y los apoyos.

### **213.2. Tensiones.**

Las tensiones admisibles serán las que se recomiendan en la Sección 207.

#### *213.2.1. Tensiones de pretensado.*

Cuando el esfuerzo total de pretensado se aplica en varias etapas sucesivas, deberán calcularse las tensiones internas que se originan al final de cada una de ellas.

### **213.3. Pérdidas por rozamiento.**

En los elementos continuos con armaduras postesas, las pérdidas por rozamiento tienen mucha mayor importancia que en las piezas simplemente apoyadas.

### **213.4. Resistencia máxima.**

La resistencia máxima de los elementos continuos deberá calcularse, no solamente en las secciones en las que se producen los momentos máximos, sino también en las secciones intermedias. Cuando el esfuerzo producido por la carga permanente sea de sentido contrario al del originado por la sobrecarga, al aplicar los coeficientes de seguridad a la rotura, deberá prestarse especial atención a aquellas combinaciones de coeficientes en las cuales el factor correspondiente a la carga permanente sea igual a la unidad. Se recomienda que, por ahora, no se tenga en cuenta la posible redistribución de momentos.

## **Sección 214. Cabezas de anclaje**

### **214.1. Finalidad.**

Cuando se trata de elementos de sección no rectangular, es necesario, generalmente, disponer en sus extremos secciones recrecidas, que se denominan cabezas de anclaje, y sirven para transmitir los esfuerzos concentrados de pretensado, desde la zona de anclaje, hasta la sección transversal típica de la pieza.

En los elementos con armaduras postesas puede ser también necesario disponer cabezas de anclaje, para conseguir la superficie precisa para el apoyo de los anclajes y para transmitir los esfuerzos verticales y laterales a los apoyos.

### **214.2. Prescripciones.**

En los elementos con armaduras pretesas, en los cuales el esfuerzo de pretensado sea de gran consideración, y se aplique excéntricamente, será necesario disponer cabezas de anclaje. Por el contrario, cuando el esfuerzo de pretensado sea pequeño, o se trate de elementos de sección rectangular, o casi rectangular, podrá prescindirse de dichas cabezas. Sin embargo, en todo caso, deberá disponerse, en las zonas de anclaje, una cierta armadura de reparto.

En los elementos con armaduras postesas y de sección no rectangular, deberán disponerse siempre cabezas de anclaje.

### **214.3. Dimensiones.**

Las cabezas de anclaje se dimensionan, generalmente, de acuerdo con la experiencia. Su longitud suele variar entre un medio del canto y el canto total y depende del grado de concentración y de la excentricidad del esfuerzo de pretensado en la sección extrema de la pieza. En general, en los elementos de canto pequeño, la longitud de las cabezas de anclaje deberá ser igual al canto, y si se trata de vigas de gran canto, dicha longitud suele hacerse igual a los  $3/4$  del mismo. Se entiende por longitud de la cabeza de anclaje la distancia comprendida entre la superficie extrema de anclaje y la sección en la cual la cabeza enlaza con la sección normal de la pieza.

### **214.4. Armadura.**

Para resistir los esfuerzos de tracción originados por efecto Poisson, por las cargas concentradas a que da lugar la armadura de pretensado, es necesario colocar una armadura. Para evitar que el hormigón se descantille, deberá colocarse, directamente debajo de los anclajes, una parrilla de armaduras, constituida por una serie de barras horizontales y verticales, contenidas todas en el plano de la sección transversal de la pieza. Para resistir los esfuerzos de tracción, deberán colocarse, además, todo a lo largo de la cabeza de anclaje, armaduras horizontales y verticales, muy próximas unas a otras.

## **Sección 215. Resistencia al fuego**

### **215.1. Generalidades.**

La resistencia al fuego, tanto de los elementos de hormigón pretensado, como de los de hormigón armado, está sometida a las mismas limitaciones de carácter general. Una de ellas es la velocidad de transmisión del calor, a través del hormigón, desde la cara expuesta al fuego, hasta la opuesta. Otra, es la reducción de resistencia del acero sometido a temperaturas elevadas, la cual debe ser determinada mediante ensayos. Según los casos, la condición más exigente será la primera o la segunda de las anteriormente citadas.

### **215.2. Transmisión del calor.**

Como quiera que la velocidad de transmisión del calor, a través del hormigón pretensado, es igual que en el hormigón armado de la misma composición, las dimensiones críticas para poder controlar la



elevación de temperatura en la cara no expuesta directamente al fuego, serán las mismas en el hormigón pretensado, que en el hormigón armado.

### 215.3. Capacidad de carga.

La capacidad de la estructura para poder soportar las cargas previstas, durante el ensayo de fuego, depende, principalmente, del espesor del recubrimiento de la armadura de pretensado. A continuación se indican los espesores mínimos que deben alcanzar dichos recubrimientos de hormigón, tanto sobre la armadura de pretensado, como sobre las cabezas de anclaje, en función de la diferente duración del fuego.

|  |           |           |         |         |
|--|-----------|-----------|---------|---------|
| Duración del fuego en horas ... .. .             | 1 hora    | 2 horas   | 3 horas | 4 horas |
| Espesor mínimo del recubrimiento de hormigón ... | 1,5 pulg. | 2,5 pulg. | 3 pulg. | 4 pulg. |

Por el momento, los datos disponibles son insuficientes para poder hacer recomendaciones, en relación con las características óptimas que debe poseer la forma de la sección transversal, o sobre el tipo y disposición que debe darse a la armadura de pretensado. Los espesores de recubrimiento que anteriormente se recomiendan, han sido elegidos siguiendo un criterio bastante conservador.

## Sección 216. Recubrimiento y separación de las armaduras de pretensado

### 216.1. Recubrimiento.

A continuación se indican los espesores de recubrimiento de hormigón, mínimos, tanto para las armaduras pretesas, como para las armaduras de acero ordinario, no tesas, o los conductos en que se introducen los alambres postesos.

|   | Espesor mínimo<br>del recubrimiento<br>de hormigón<br>pulgadas |
|---|--|
| Superficies de hormigón expuestas a la intemperie ...   | 1,5  |
| Superficies de hormigón en contacto con el terreno ...  | 2  |
| Vigas y viguetas no expuestas a la intemperie:          |  |
| Armaduras de pretensado y armaduras principales.        | 1,5  |
| Cercos y tirantes ... .. .                              | 1  |
| Placas y viguetas no expuestas a la intemperie ... .. . | 0,75   |

### 216.2. Separación en los extremos.

#### 216.2.1. Separación de las armaduras pretesas.

La distancia mínima, horizontal o vertical, entre las armaduras pretesas, en los extremos de la pieza, no será inferior al mayor de los dos valores que a continuación se indican:

- Tres veces el diámetro de la armadura, o
- $1 + 1/3$  veces el tamaño máximo del árido grueso.

#### 216.2.2. Distancia entre los conductos en que van introducidas las armaduras postesas.

La distancia mínima, entre dichos conductos, en los extremos de la pieza, no será inferior al mayor de los dos valores que a continuación se indican:

- 1,5 pulgadas, o
- 1,5 veces el tamaño máximo del árido grueso.

### 216.2.3. Dimensiones de los conductos de las armaduras postesas.

Cuando las armaduras postesas vayan colocadas en el interior de conductos que posteriormente deban rellenarse con lechada de cemento, el diámetro interior, mínimo, de dichos conductos, habrá de ser 1/4 de pulgada mayor que el diámetro de la armadura pretensada.

### 216.3. Armaduras de pretensado de trazado no rectilíneo.

Cuando las armaduras de pretensado van dispuestas según un trazado curvo o quebrado, podrán agruparse los diferentes alambres o conductos, formando un solo haz, en el tercio central de la longitud del elemento, siempre que la separación mínima recomendada en las Secciones 216.2.1. y 216.2.2. se mantenga en una longitud, igual por lo menos, a tres pies, a contar de cada uno de los extremos de la pieza. El Comité no se encuentra, todavía, en condiciones de poder hacer recomendaciones sobre el número máximo de alambres o conductos que pueden agruparse horizontal o verticalmente en cada haz. Sin embargo, debe hacerse la observación de que, si el número de elementos de cada haz es excesivo, la adherencia puede resultar insuficiente, y es fácil que se originen deslizamientos en la armadura de pretensado, por falta de adherencia.

## Capítulo 3. Materiales

### Sección 301. Introducción

Las características de las estructuras de hormigón pretensado, exigen el empleo de materiales de alta resistencia, si se quiere obtener un resultado económico. En este tipo de estructuras, resulta imprescindible poder mantener tensiones elevadas, y que los cambios que, a lo largo del tiempo, se produzcan en el valor de las tensiones o deformaciones, sean mínimos.

Estos requisitos son mucho más exigentes que los que rigen para las estructuras de hormigón armado ordinario. Tanto en la construcción, como en la fabricación, de los elementos de hormigón pretensado, se hace imprescindible mantener una elevada calidad. Antes de adoptar cualquier nuevo material, es necesario realizar los correspondientes ensayos, para demostrar que reúne las características precisas y que es adecuado para el uso al que se le destina.

### Sección 302. Hormigón

#### 302.1. Generalidades.

Debe prestarse especial atención a las características de cada uno de los materiales utilizados en la construcción de los elementos de hormigón pretensado y a su influencia sobre la resistencia en compresión, módulos de elasticidad, retracción, fluencia, resistencia a la adherencia y uniformidad del hormigón obtenido.

Cuando se utilicen materiales nuevos deberán realizarse los oportunos ensayos para conocer sus características de retracción, fluencia y módulos de elasticidad.

#### 302.2. Materiales.

##### 302.2.1. Cemento Portland.

El cemento Portland utilizado deberá cumplir los requisitos prescritos en alguna de las siguientes normas:

Normas para Cemento Portland (ASTM C-150).

Normas para Cemento Portland aireado (ASTM C-175).

Normas para Cemento Portland de escorias de horno alto (ASTM C-205).

Normas para Cemento Portland puzolánico (ASTM C-340).

### 302.2.2. *Aridos.*

Los áridos utilizados deberán cumplir los requisitos prescritos en alguna de las siguientes normas:

Normas para los áridos del hormigón (ASTM C-33).

Normas para los áridos ligeros utilizados en las estructuras de hormigón (ASTM C-330).

Las características mineralógicas y resistentes de los áridos influyen notablemente sobre la resistencia en compresión, módulo de elasticidad, retracción y deformaciones lentas del hormigón con ellos obtenido.

Los hormigones fabricados con algunos áridos ligeros poseen un módulo de elasticidad más bajo, y una mayor fluencia y retracción, que los hormigones de la misma resistencia fabricados con áridos de peso normal.

El campo posible de variación de las características de un mismo tipo de hormigón, fabricado con áridos ligeros distintos, puede ser grande. Por ello, se recomienda que, para cada tipo de árido utilizado, se realicen ensayos con el fin de conocer su resistencia en compresión, módulo de elasticidad, módulo de rotura, adherencia, retracción y fluencia.

### 302.2.3. *Agua.*

El agua utilizada para el amasado del hormigón debe ser limpia y estar exenta de sustancias perjudiciales para el hormigón o que puedan atacar las armaduras de pretensado. No deberá usarse agua de mar para la preparación del hormigón destinado al pretensado.

### 302.2.4. *Adiciones.*

Algunas adiciones pueden resultar beneficiosas para el hormigón fresco o endurecido. Sin embargo, no deberán utilizarse entanto no se haya demostrado, mediante los oportunos ensayos que su empleo no ha de producir efectos perjudiciales en el hormigón o en el acero.

No es recomendable el empleo de cloruro cálcico o de adiciones que lo contengan, cuando pueda quedar en contacto con las armaduras de pretensado.

## 302.3. **Dosificación y fabricación del hormigón.**

La dosificación de los materiales y el amasado y fabricación de las mezclas de hormigón destinadas al pretensado, deberán hacerse de acuerdo con las prescripciones del ACI Manual of Concrete Inspection, el U.S. Bureau of Reclamation Concrete Manual, u otras normas análogas, tales como ACI Standards for Winter Concreting Methods (ACI 604), Selecting Proportions for Concrete (ACI 613), Measuring, Mixing and Placing Concrete (ACI 614), y Standard Specifications for Ready-Mixed Concrete (ASTM C-94).

Deberán emplearse materiales que permitan obtener hormigones que, con un contenido mínimo de agua, cumplan los requisitos exigidos en las correspondientes normas. La docilidad del hormigón fresco deberá ser lo más baja posible. El cemento, la arena y los áridos, se dosificarán separadamente, y siempre por peso. El agua y las adiciones líquidas, en caso de que se utilicen, podrán dosificarse en volumen, siempre que se utilicen aparatos de medida de suficiente garantía. Es indispensable vigilar cuidadosamente, tanto la calidad de los distintos materiales utilizados, como las diferentes operaciones necesarias para la fabricación del hormigón.

### 302.4. **Resistencia.**

La resistencia necesaria a las diferentes edades, deberá ser indicada por el proyectista en el correspondiente pliego de condiciones. La calidad del hormigón deberá ser vigilada y comprobada experimentalmente, de acuerdo con lo indicado en la Sección 304, modificada por la A-602 (f), del "Building Code Requirements for Reinforced Concrete" (ACI 318-56).

## **Sección 303. Inyección**

### 303.1. **Generalidades.**

Cuando las características de la estructura lo requieran, y se utilicen armaduras postesas, deberá hacerse una inyección de lechada de cemento para rellenar totalmente los huecos existentes entre la

armadura y el conducto en que va introducida. Esta lechada, fabricada a base de cemento Portland, asegura la alta resistencia a la adherencia por flexión y la protección permanente de la armadura.

### **303.2. Materiales.**

La inyección puede hacerse utilizando alguna de las dos mezclas que a continuación se indica:

- a) Cemento y agua.
- b) Cemento, arena fina y agua.

La mezcla a) deberá utilizarse, cuando el espacio libre entre la armadura y el conducto sea muy pequeño. Si este espacio es relativamente grande, podrá utilizarse, o bien la mezcla a), o bien la mezcla b). Estas mezclas deberán cumplir las recomendaciones de la Sección 303.2.4.

#### **303.2.1. Cemento Portland.**

Véase la Sección 302.2.1.

#### **303.2.2. Arena.**

Se utilizará, con preferencia, arena natural de cuarzo que cumpla las prescripciones de la "Tentative Specification for Aggregate for Masonry Mortar (ASTM C-144)", excepto en lo que se refiere a tamaños. La arena no dejará residuos en el tamiz número 30, deberá pasar, por lo menos un 50 por 100 por el tamiz número 50 y un 20 por 100 por el tamiz número 100.

#### **303.2.3. Agua.**

Véase la Sección 302.2.3.

#### **303.2.4. Adiciones.**

Algunas adiciones pueden resultar beneficiosas para la lechada de inyección, fresca o endurecida. Sin embargo, no deberán utilizarse, en tanto no se haya demostrado, mediante los oportunos ensayos, que su empleo no ha de producir efectos perjudiciales sobre la lechada o la armadura.

No es recomendable el empleo de cloruro cálcico o de adiciones que lo contengan en las lechadas de inyección de los elementos con armaduras postesas.

### **303.3. Dosificación.**

La dosificación de los materiales que constituyen la lechada de inyección deberá hacerse basándose en los resultados obtenidos en los ensayos realizados antes de iniciarse la obra, sobre mezclas frescas y endurecidas. La inyección deberá tener la consistencia de la crema o pintura espesa. Deberá evitarse que se produzcan exudaciones o la segregación de la mezcla, durante el plazo transcurrido entre su preparación y su empleo.

## **Sección 304. Acero para las armaduras de pretensado**

### **304.1. Generalidades.**

Para las armaduras del hormigón pretensado es preciso emplear aceros de alta resistencia, con el fin de que, una vez experimentadas las pérdidas correspondientes, las tensiones internas del hormigón sean las necesarias. En general, los aceros utilizados pertenecen a alguno de los cuatro grupos siguientes:

- a) Alambres individuales de acero de alta resistencia, utilizados en forma de haces constituidos por dos o más alambres colocados paralelamente. Se utilizan tanto como armaduras pretesas como postesas.

- b) Cables de alta resistencia y pequeño diámetro, constituidos, generalmente, por seis alambres arrollados en espiral sobre un alambre central. Los cables de este tipo, de pequeño diámetro, se utilizan en general, aunque no exclusivamente, como armaduras pretensas.
- c) Cables de alta resistencia y gran diámetro, fabricados en taller, con anclajes en sus extremos, para elementos con armaduras postesas. Suelen tener 7, 19, 37 o más alambres.
- d) Barras de aleación de acero de alta resistencia, obtenidas mediante un proceso de estirado en frío. Su diámetro varía normalmente entre 0,5 y 1 1/8 de pulgada. Este tipo de armadura se emplea, principalmente, en los elementos con armaduras postesas.

Cada uno de los tipos de armadura anteriormente indicados, deberán cumplir unas determinadas prescripciones, de las cuales, a continuación, se indican las más generales\*.

### 304.2. Alambres de acero de alta resistencia.

Los alambres de acero de alta resistencia se obtienen, generalmente, laminando en caliente aceros de alto contenido de carbono. Después, se les somete a un proceso térmico que se denomina patentado y, finalmente, a un estirado en frío, hasta alcanzar la resistencia máxima en tracción, requerida. Generalmente, una vez obtenido el alambre, se le somete a un tratamiento térmico especial para eliminar las tensiones residuales y mejorar sus propiedades elásticas bajo las tensiones a que normalmente se encuentra sometido durante el pretensado. Con este tratamiento, además, se obtienen alambres más rectos y fáciles de manejar.

Se recomienda no utilizar, para el hormigón pretensado, los alambres obtenidos mediante el procedimiento denominado "templado al aceite".

#### 304.2.1. Resistencia máxima.

Los alambres de alta resistencia utilizados en el hormigón pretensado, deberán poseer, como mínimo, una resistencia en tracción de 250.000 libras x pulgada cuadrada para un diámetro de 0,196 pulgadas. Los alambres de menor diámetro poseen resistencias más elevadas, y los de mayor diámetro, resistencias menores.

#### 304.2.2. Forma del diagrama tensión-deformación.

Los alambres para pretensado, una vez eliminadas las tensiones residuales, deberán poseer un elevado límite de fluencia y un razonable alargamiento de rotura. Su tensión de fluencia bajo carga, para un alargamiento del 1 por 100, deberá ser, como mínimo, igual al 85 por 100 de su resistencia máxima en tracción. Su alargamiento mínimo antes de alcanzar la rotura, será del 4 por 100, medido sobre una base de 10 pulgadas. Los ensayos de alargamiento deberán realizarse de acuerdo con lo prescrito en la "Specification for Mechanical Testing of Steel Products" (ASTM A 370-54 T).

#### 304.2.3. Ductilidad.

Los alambres utilizados para el pretensado, deberán ser capaces de experimentar, sin romperse, una razonable deformación en frío. La reducción en el área de su sección transversal, en rotura, será, como mínimo, igual al 30 por 100.

#### 304.2.4. Fluencia y relajación.

El fabricante del acero deberá proporcionar los datos oportunos relativos a las características de fluencia y tensión de relajación del material que suministra. Debe tenerse en cuenta que, en general, la realización de los ensayos necesarios para la determinación de estas variables, sobre pequeñas partidas resulta a un costo excesivamente elevado.

Los ensayos de fluencia y relajación a corto plazo, por otra parte, no son siempre representativos de las características de relajación del material a largo plazo.

### 304.3. Cables de alta resistencia y pequeño diámetro.

Los cables de alta resistencia y pequeño diámetro utilizados para el pretensado están constituidos, generalmente, por siete alambres. Sobre un alambre central recto, se enrollan, en espiral, los otros seis alambres. Dado el pequeño diámetro que poseen, estos cables pueden ser sometidos a un tratamiento análogo al que se da a los alambres individuales para la eliminación de sus tensiones residuales. Este tra-

\* Las normas para los aceros de pretensado suele dictalas la American Society for Testing Materials.

tamiento mejora, además, las características elásticas del cable y lo hacen más manejable. Cuando se exijan ensayos de recepción, éstos deberán realizarse sobre el cable, y no sobre los alambres aislados.

Para la determinación de las características físicas del cable deberá partirse del área total que resulte de la suma de las áreas de cada uno de los alambres que lo constituyen. Su resistencia máxima en tracción, forma del diagrama tensión-deformación, ductilidad, fluencia y relajación serán las mismas indicadas en la Sección 304.2 "Alambres de acero de alta resistencia" a excepción de los valores que a continuación se señalan:

- a) Alargamiento mínimo en rotura: 3,5 por 100, sobre una base igual a 24 pulgadas.
- b) Tensión de fluencia mínima, bajo carga, para un alargamiento del 1 por 100: 85 por 100 de su resistencia máxima en tracción.

#### **304.4. Cables de alta resistencia y gran diámetro.**

Los cables de gran diámetro suelen estar constituidos por 7, 19, 37 o más alambres, galvanizados o no, endurecidos por estirado en frío y arrollados en espiral. Los cables galvanizados son los más frecuentemente empleados.

Dado su gran diámetro, no es posible someterlos al tratamiento adecuado para eliminar las tensiones residuales y, algunas de sus características físicas, difieren de las indicadas para los alambres y cables de pequeño diámetro. Cuando se exijan ensayos de recepción, éstos deberán realizarse basándose en las características del cable, en su conjunto, y no en las de los alambres individuales.

#### **304.5. Barras de aleación de acero, de alta resistencia, estiradas en frío.**

Estas barras se fabrican, generalmente, partiendo de la aleación de acero conocida con la designación AISI 5.160 ó AISI 9.260. Las barras, después de laminadas en caliente, se someten, o bien a un tratamiento térmico, o a un proceso de trabajado en frío. A continuación, cada barra se estira en frío hasta alcanzar, como mínimo, el 90 por 100 de su resistencia máxima.

##### *304.5.1. Resistencia máxima en tracción.*

Las barras de aleación de acero, de alta resistencia, se fabrican, generalmente, con una resistencia mínima en tracción igual a 145.000 libras  $\times$  pulgada cuadrada, cualquiera que sea su diámetro.

##### *304.5.2. Forma del diagrama tensión-deformación.*

La tensión de fluencia, de las barras de acero de alta resistencia utilizadas para el pretensado, deberá ser, como mínimo, igual al 90 por 100 de su resistencia máxima en tracción, para una deformación remanente del 0,2 por 100. Su alargamiento mínimo en rotura será igual al 4 por 100, medido sobre una base igual a 20 diámetros.

##### *304.5.3. Ductilidad.*

Las barras para pretensado deberán ser capaces de experimentar una ranozable deformación en frío, sin romperse. La reducción de su área transversal, en rotura, no será inferior al 15 por 100.

##### *304.5.4. Fluencia y relajación.*

El fabricante de las barras deberá proporcionar los datos oportunos relativos a las características de fluencia y relajación del material que suministra. Debe tenerse en cuenta que, en general, la realización de los ensayos necesarios para la determinación de estas variables, sobre pequeñas partidas, resulta a un costo excesivamente elevado.

Los ensayos de fluencia y relajación a corto plazo, por otra parte, no son siempre representativos de las características de relajación del material a largo plazo.

#### **304.6. Corrosión.**

Como quiera que los aceros para pretensado son susceptibles de experimentar fenómenos de corrosión, deberán ser adecuadamente protegidos durante su almacenamiento, transporte y colocación.

La denominación de "tensión de corrosión" se aplica a la fragilidad que adquiere el acero cuando se encuentra sometido a los efectos combinados de las tensiones elevadas y un ambiente corrosivo. Este fenómeno puede producirse sin que, aparentemente, la superficie del acero presente ninguna alteración.

Normalmente, el acero embebido en el hormigón, o introducido en conductos convenientemente inyectados, no experimenta corrosión alguna. Cuando las armaduras postesas no vayan inyectadas, deberán adoptarse las precauciones necesarias para evitar su corrosión (ver Sección 404.3.2).

## **Sección 305. Anclajes y empalmes**

### **305.1. Generalidades.**

Los anclajes para armaduras postesas que, con más frecuencia, se emplean en la actualidad, son los siguientes:

Si se trata de barras, suelen emplearse extremos roscados y cuñas de anclaje; cuando se utilizan cables de gran diámetro, éstos suelen ir provistos de extremos de anclaje especiales, preparados en fábrica; para los alambres colocados en forma de haces constituidos por dos o más alambres paralelos, se emplean, generalmente, cuñas cónicas, placas sandwich, o bulbos extremos de anclaje; y, finalmente, para los cables de pequeño diámetro, suelen utilizarse cuñas cónicas.

Los empalmes se utilizan, casi exclusivamente, en el caso de barras y suelen consistir en manguitos roscados.

### **305.2. Resistencia máxima.**

Los anclajes y empalmes deberán ser capaces de soportar, sin experimentar deformaciones excesivas, cargas iguales a la resistencia máxima de los alambres o cables que sujetan.

### **305.3. Deslizamiento en los anclajes.**

El fabricante deberá especificar el valor previsto para el deslizamiento de los alambres durante la fijación de los anclajes. Este valor deberá comprobarse mediante los oportunos ensayos.

## **Capítulo 4. Construcción**

### **Sección 401. Introducción**

En este capítulo se indican los métodos constructivos que deben utilizarse para obtener estructuras duraderas y capaces de cumplir los fines a que van destinadas.

Los elementos de hormigón pretensado están compuestos de hormigón y acero de alta resistencia. Las tensiones de cálculo se determinan con la mayor aproximación posible, pero el comportamiento de las piezas bajo las cargas de trabajo depende, no sólo de la resistencia de los materiales empleados, sino también de la forma en que haya sido realizado el hormigonado, de la exactitud de las dimensiones de los moldes, de la más o menos adecuada colocación de las armaduras, y de que el trazado de los conductos para los cables coincida, exactamente o no, con el previsto en el proyecto. De todo ello se deduce que la construcción de los elementos y estructuras de hormigón pretensado requiere especiales cuidados y una estrecha vigilancia de todas las operaciones. Cualquier descuido, o equivocación, puede originar graves perjuicios en detrimento para la seguridad de la estructura.

### **Sección 402. Transporte, colocación y curado del hormigón**

#### **402.1. Generalidades.**

La calidad del acabado de los elementos de hormigón depende, en gran parte, del cuidado con que se realice el transporte, vertido y curado de dicho material. Estas operaciones deberán realizarse de

acuerdo con lo prescrito en el ACI 318 "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", Sección 403-406, y en el ACI 614 "Recommended Practice for Measuring, Mixing and Placing Concrete".

#### **402.2. Colocación.**

Las mezclas ricas en cemento y de pequeña docilidad, deberán colocarse lo más pronto posible después de su preparación, con el fin de evitar pérdidas en su trabajabilidad.

El hormigón deberá verterse en las proximidades de su posición final. El método de vertido utilizado será el conveniente para que no se produzcan segregaciones en la pasta.

#### **402.3. Vibración.**

Para obtener un hormigón denso y bien compactado es necesario, generalmente, recurrir al empleo de la vibración, interna o externa, o a ambas.

Los vibradores deberán disponerse de tal forma que no produzcan movimientos horizontales en el hormigón contenido en el molde. Deberá evitarse, siempre que sea posible, la vibración superficial.

Cuando se utilicen vibradores internos, las cabezas de los vibradores han de ser menores que la distancia mínima libre entre los conductos o las armaduras de pretensado. Se pondrá especial cuidado en evitar daños o movimientos en los conductos dispuestos para alojar las armaduras postesas.

Debe tenerse en cuenta que la vibración no puede utilizarse como un sustituto de la trabajabilidad del hormigón. Los métodos de vibrado que se propongan, y la docilidad especificada, deberá ser la necesaria para conseguir la máxima compacidad de la mezcla utilizada.

#### **402.4. Juntas de construcción.**

En los elementos de gran longitud, contruidos "in situ", se recomienda disponer juntas de construcción para:

- 1) Reducir la fisuración que se produce en las proximidades de los soportes, como consecuencia del asiento o movimiento de los puntales y encofrados; y
- 2) Permitir la retracción.

En general, las juntas deben disponerse en las proximidades de los apoyos del encofrado

Las juntas de construcción deberán disponerse, preferentemente, perpendicularmente a las armaduras de pretensado. A menos que se cumplan las prescripciones incluidas en la Sección 212, "Estructuras compuestas", no deben disponerse juntas paralelas a las armaduras de pretensado.

#### **402.5. Curado.**

El curado deberá empezarse tan pronto como se termine el moldeo del elemento. Si se utilizan los métodos de curado a alta temperatura, será necesario dejar transcurrir el tiempo conveniente para que se inicie el fraguado, antes de empezar la aplicación del calor. El curado deberá continuarse hasta que el hormigón alcance la resistencia necesaria para poder resistir el esfuerzo de pretensado. Hasta el momento de iniciarse el curado, el hormigón fresco deberá estar protegido, tanto de la lluvia como de las pérdidas rápidas de humedad. En tanto que el hormigón no alcance su resistencia definitiva, prevista en el cálculo, deberá también protegerse de la rápida desecación.

Cuando se utilice el método de curado a elevada temperatura, deberá vigilarse la velocidad de calentamiento y enfriamiento, con el fin de reducir los choques térmicos en el hormigón.

Cuando hayan de fabricarse varios elementos idénticos, las condiciones de curado de todos ellos habrán de ser las mismas, con el fin de obtener la mayor uniformidad posible en la calidad de las distintas piezas.

#### **402.6. Protección frente a las heladas.**

Durante los períodos de helada, los conductos dispuestos para el alojamiento de las armaduras postesas deberán mantenerse perfectamente limpios de agua o convenientemente protegidos contra la helada.



## **Sección 403. Moldes, apuntalamientos y encofrados**

### **403.1. Generalidades.**

La calidad de los elementos de hormigón depende, en gran parte, del cuidado con que se construyan los moldes y encofrados. A este respecto se recomienda cumplir las prescripciones contenidas en el ACI 318 "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", Sección 501 y 502.

### **403.2. Prescripciones especiales.**

Los moldes para elementos con armaduras pretesas deberán construirse de tal forma que permitan movimientos a la pieza, sin daños, cuando se suelten las armaduras de sus anclajes, para transmitir el esfuerzo de pretensado al hormigón.

Los moldes para elementos con armaduras postesas deberán construirse de tal forma que sea mínima la coacción que ofrezcan al acortamiento elástico de la pieza durante su retracción y pretensado. En los cálculos deberán tenerse en cuenta las flechas que habrán de originarse a consecuencia del esfuerzo de pretensado y de la deformación de los moldes o encofrados. Los apoyos de los moldes y encofrados no podrán retirarse en tanto que el hormigón no haya endurecido lo suficiente para ser capaz de soportar su peso propio, y las cargas que sobre él han de actuar durante el período constructivo.

## **Sección 404. Colocación de las armaduras de pretensado y aplicación del esfuerzo de pretensado**

### **404.1. Generalidades.**

La situación del centro de gravedad de las armaduras de pretensado, la magnitud inicial y final del esfuerzo de pretensado y el valor de las pérdidas previstas por fluencia, retracción, acortamiento elástico y rozamiento, deberán ser calculados teniendo en cuenta las características específicas de los materiales utilizados. Únicamente con la previa autorización de la dirección de la obra, podrán sustituirse los materiales previstos, por otros, aunque éstos hayan de producir los mismos resultados.

A menos que no se indiquen otras tolerancias para la posición de las armaduras de pretensado, no podrán admitirse variaciones superiores a  $\pm 1/8$  de pulgada o  $\pm 1/4$  de pulgada, según el tamaño del elemento.

### **404.2. Armaduras pretesas.**

#### **404.2.1. Generalidades.**

Las armaduras pretesas deberán mantenerse limpias y secas. Antes de proceder al hormigón, deberán limpiarse de toda sustancia extraña como grasa, aceite, pintura o herrumbre. Puede admitirse una pequeña capa de óxido, y en algunos casos hasta es conveniente, siempre que la superficie del acero no aparezca picada.

#### **404.2.2. Determinación del esfuerzo de pretensado.**

La determinación del esfuerzo de pretensado deberá hacerse midiendo el alargamiento de los alambres y comprobando la presión del gato mediante un manómetro debidamente calibrado. La medida del alargamiento suministra, en general, datos más confiables. Cuando la diferencia entre la tensión del acero deducida del alargamiento y la indicada por la lectura del manómetro, sea superior al 5 por 100, deberá investigarse la causa de esta discrepancia para su corrección.

Si se tesan varios alambres o cables simultáneamente, deberán tomarse las oportunas medidas para conseguir que la tensión inicial, introducida en cada uno de ellos, sea la misma.

#### **404.2.3. Transmisión del esfuerzo de pretensado al hormigón.**

El esfuerzo de pretensado deberá transmitirse al hormigón de un modo suave y gradual. Cuando el esfuerzo de cada uno de los alambres o cables haya de transmitirse independientemente al hormigón, el proyectista deberá indicar la marcha que haya de seguirse al soltar los alambres, con el fin de evitar que la pieza pueda quedar sometida a tensiones no previstas. Cualquier variación respecto al programa previsto, deberá ser sometida a la aprobación de la dirección de la obra.

#### 404.2.4. *Protección.*

Cuando los extremos de las armaduras pretesas hayan de quedar expuestos a la intemperie, o a la acción de atmósferas agresivas, deberán ser protegidos con una capa de material asfáltico. Si ello es posible, será preferible que queden introducidos en un cajeadado, convenientemente dispuesto en la superficie extrema de la pieza, y relleno después con un material asfáltico y una capa de mortero.

#### 404.3. *Armaduras postesas.*

##### 404.3.1. *Generalidades.*

Las armaduras postesas deberán mantenerse limpias y secas. Cuando hayan de quedar adheridas al hormigón, antes de colocarlas en los correspondientes conductos deberán limpiarse de toda materia extraña como grasa, aceite, pintura o herrumbre. Puede admitirse una ligera capa de óxido, siempre que la superficie del acero no aparezca picada.

##### 404.3.2. *Protección.*

Para los usos corrientes en elementos en los cuales la armadura no haya de quedar adherida al hormigón, el galvanizado de los alambres puede considerarse como una protección eficaz contra la corrosión, si se le recubre, además, de una capa de grasa, o material asfáltico, y se le encierra en una funda o vaina. También podrán utilizarse alambres galvanizados, sin capa de protección, cuando hayan de quedar accesibles para su inspección y en los puntos de fijación se disponga una protección eficaz para evitar el ataque del galvanizado.

En el caso de utilizar alambres no galvanizados, deberán protegerse con un recubrimiento adecuado contra la corrosión tanto durante su transporte, almacenaje y puesta en obra, como después de su colocación. Esta protección deberá permitir el movimiento de los alambres, durante su tesado, con el mínimo de rozamiento. El recubrimiento utilizado deberá ser propuesto, o autorizado, por la dirección de la obra.

Los anclajes, o cabezas extremas de fijación de las armaduras, deberán ser protegidos en forma análoga a la indicada al tratar de las armaduras pretesas. Si ello es posible, se introducirán en un cajeadado convenientemente dispuesto en la superficie extrema de la pieza, que se cubrirá, finalmente, con una capa de mortero.

##### 404.3.3. *Colocación de los conductos y armaduras.*

Los conductos o vainas para las armaduras postesas se forman, en general, en el hormigón utilizando tubos, fundas metálicas u otros materiales. Su posición se ajustará lo más posible a la indicada en los planos, y se sujetarán convenientemente con el fin de que el trazado de la armadura se mantenga, en todo momento, igual al previsto, dentro de las tolerancias admisibles.

En las estructuras en las cuales la armadura haya de quedar adherida, deberán limpiarse los conductos de grasa, pintura, o cualquier otra materia extraña. Además, dichos conductos quedarán convenientemente protegidos, para evitar la penetración, en su interior, de cualquier materia extraña, antes de realizar la inyección.

Los anclajes que hayan de quedar embebidos en la pieza, se sujetarán firmemente a los moldes, en la posición exacta que deban ocupar.

##### 404.3.4. *Medida del esfuerzo de pretensado.*

El ingeniero proyectista deberá indicar los valores del alargamiento máximo previsto para la armadura, las correcciones que deberán hacerse para compensar las pérdidas por rozamiento y asiento de los anclajes y las tensiones que deben introducirse, por medio de los gatos, en las diferentes etapas a lo largo del proceso de pretensado. Cuando la diferencia entre la tensión de la armadura deducida del alargamiento por ella experimentado, y la indicada en el manómetro del gato, sea superior al 5 por 100, deberá suspenderse la operación de tesado. Si la diferencia observada no fuese debida a ningún error de lectura o deficiencia de los aparatos de medida, deberá ponerse el hecho en conocimiento de la dirección de la obra, para que ésta adopte las medidas que estime oportunas.

##### 404.3.4.1. *Factores que influyen en el rozamiento.*

Cuando el trazado de las armaduras no es recto, el rozamiento que se produce entre los alambres y los conductos curvos en que van alojados, hace que la tensión en la armadura vaya disminuyendo, desde los anclajes, hacia el interior de la pieza. La magnitud de las pérdidas por rozamiento depende: de la

mayor o menor curvatura del trazado; del tipo y longitud de la armadura utilizada; del material del conducto; de la presencia o no de agentes reductores del rozamiento; de la exactitud con que se hayan colocado los conductos, y de las perturbaciones que haya podido experimentar su trazado durante el hormigonado.

El contratista encargado de la obra deberá tener muy en cuenta todos estos factores y será el responsable de que los materiales utilizados sean exactamente los previstos en el proyecto, y de que el trazado de los conductos coincida con el que figure en los planos, sin que su colocación haya sufrido perturbaciones durante el hormigonado.

#### 404.3.5. *Pretensado por etapas sucesivas.*

Cuando el esfuerzo de pretensado total haya de ser introducido en más de una etapa, deberá evitarse que, durante las etapas intermedias, se produzcan tensiones excesivas en el hormigón. El proyectista deberá fijar la marcha a seguir durante el pretensado, la magnitud de los esfuerzos que deben introducirse en cada etapa, y las sollicitaciones exteriores que, en cada una de ellas, es capaz de soportar la pieza. El contratista deberá cuidar de que dichas sobrecargas no sean sobrepasadas.

#### 404.3.6. *Deslizamiento en los anclajes.*

Cuando se utilicen anclajes por rozamiento, el fabricante deberá indicar la magnitud del deslizamiento que, normalmente, cabe esperar durante la fijación de los dispositivos de anclaje.

#### 404.3.7. *Influencia de la temperatura.*

En general, los cambios de temperatura influyen poco sobre la armadura de pretensado. Únicamente pueden tener mayor influencia cuando la diferencia de temperaturas, entre el hormigón y el acero, es muy grande.

## **Sección 405. Inyección**

### **405.1. Generalidades.**

Cuando en el proyecto se disponga que los tubos de alojamiento de las armaduras hayan de ser inyectados, será necesario adoptar las debidas precauciones para tener la seguridad de que dicha inyección rellena totalmente todos los huecos de los conductos.

### **405.2. Preparación de las mezclas.**

Las pastas de inyección deberán prepararse en una mezcladora mecánica. Inmediatamente después de preparada la mezcla, se pasará a través de una criba al equipo de bombeo, en donde se mantendrá en agitación. Tan pronto como sea posible y, en todo caso, antes que la lechada de inyección pierda su consistencia característica, se introducirá en el conducto.

### **405.3. Disposición de los tubos de inyección.**

En los conductos que hayan de ser inyectados se dispondrán los convenientes tubos de entrada y salida. Todos ellos deberán poder cerrarse a voluntad.

En las piezas de gran longitud podrá introducirse la inyección, por uno de los extremos del conducto, hasta que salga por el tubo intermedio más próximo. Entonces se pasará a inyectar por este tubo, continuando así el avance, sucesivamente. También podrá introducirse la inyección por un punto intermedio del conducto, hasta que se compruebe que la lechada sale por sus dos extremos. En todo caso, deberá tenerse la seguridad de que, con el proceso de inyección previsto, todos los huecos del conducto quedan completamente llenos. En los puntos elevados del trazado de los conductos, será necesario, en algunos casos, disponer salidas para el escape del aire.

### **405.4. Ensayos para comprobar el paso de la inyección.**

Deberá comprobarse que la inyección puede pasar libremente por el conducto, desde los puntos de entrada, hasta los de descarga. Para ello, podrán realizarse ensayos inyectando agua, aire u otro fluido adecuado, a través del conducto.

#### 405.5. Aplicación de la inyección.

La inyección deberá realizarse, de un modo continuo, hasta que la pasta fluya limpia, por los puntos de descarga, indicando que ha sido expulsado todo el aire, o agua, contenido en el interior del conducto. Entonces se cerrará la abertura de descarga, manteniéndose la presión de inyección durante el tiempo necesario para que todos los huecos queden perfectamente llenos. A continuación se retirará la válvula de inyección, cerrándose, seguidamente, el tubo de entrada.

#### 405.6. Protección contra la helada.

Deberán tomarse las medidas necesarias para evitar que se hiele la lechada de inyección durante su fraguado.

### Sección 406. Transporte y colocación

Cuando se utilicen elementos prefabricados, deberá indicarse en el proyecto cómo han de ser manejados y su orden de colocación. Cuando no se indiquen en los planos, el contratista deberá proponer, para su aprobación por la dirección de la obra, los puntos por donde han de suspenderse, para su transporte, los distintos elementos, la resistencia que debe tener, como mínimo, el hormigón en el momento del transporte, los métodos que habrán de utilizarse para dicho transporte, y el orden de colocación de las diferentes piezas.

Esta propuesta de Normas ha sido redactada por el "Joint ACI-ASCE Committee on Prestressed Reinforced Concrete" (ACI Committee 323), integrado por:

|                                  |                             |                     |                    |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------|
| Thor Germundsson, Presidente *   | Walter E. Blessey           | Myle J. Holley *    | Ervin Poulsen      |
| E. L. Erickson, Vicepresidente * | A. E. Cummings <sup>1</sup> | Mark W. Huggins     | Emil H. Praeger *  |
| W. B. Bennett, Jr., Secretario   | William Dean                | Jack R. Janney      | E. J. Ruble        |
| P. W. Abeles                     | Curzon Dobell               | T. Y. Lin           | M. Schupack *      |
| Arsham Amirikian                 | Harry H. Edwards            | N. M. Newmark       | C. P. Siess *      |
| Raymond Archibald                | W. O. Everling              | Gene M. Nordby      | Howard Simpson *   |
|                                  | Eugene Freyssinet           | Douglas E. Parsons  | Peter J. Verna     |
|                                  | A. W. Hill                  | G. S. Paxson        | Wendell R. Wilson  |
|                                  | Lloyd E. Hill               | Howard F. Packworth | R. F. Wittenmyer   |
|                                  |                             |                     | Charles C. Zollman |

El Comité desea hacer constar su agradecimiento, por su colaboración en la preparación de este trabajo, a los señores que a continuación se relacionan:

|                   |                  |                       |                   |
|-------------------|------------------|-----------------------|-------------------|
| R. B. Alexander   | R. M. Dubois     | C. E. Kesler          | Donald Patterson  |
| A. R. Anderson    | E. S. Elcock     | F. E. Koebel          | D. A. Polychrone  |
| Henry R. Angwin   | O. L. Formigli   | Donovan H. Lee        | L. A. Porter      |
| J. H. Appleton    | M. Fornerod      | George L. Lemon       | Harold R. Puffer  |
| Cecil V. Armour   | Elihu Geer       | F. Leonhardt          | E. K. Rice        |
| P. F. Barnard     | H. J. Godfrey    | J. R. Libby           | A. F. Robertson   |
| W. R. Bartels     | Ward Goodman     | A. M. Lount, Jr.      | John C. Rundlett  |
| D. P. Billington  | Stewart S. Gray  | Ernst J. Maag         | Robert Sailer     |
| B. Birdsall       | T. J. Gut        | L. Magers             | G. I. Sawyer      |
| P. F. Blair, Jr.  | John S. Hancock  | E. A. McLeod          | A. R. Schwab      |
| R. F. Blanks      | Robert J. Hansen | J. J. Mennis          | M. E. Shank       |
| E. T. Boardman    | G. C. Hanson     | N. D. Mitchell        | J. H. Shieber     |
| Ross H. Bryan     | N. W. Hanson     | Stewart Mitchell      | C. C. Stainer     |
| D. O. Cargill     | W. E. Hanson     | E. C. Molke           | G. C. Strobel     |
| J. J. Closner     | J. N. Hicks      | R. B. B. Moorman      | J. P. Thompson    |
| Roger H. Corbetta | D. E. Hoeffel    | Jean Muller           | Niels Thorsen     |
| T. R. Crom        | Eivind Hognestad | William H. Munse      | A. D. Vick, Jr.   |
| R. E. Davis       | I. R. Jensen     | E. Orowan             | I. M. Viest       |
| M. K. Douglass    | A. W. Jones      | Frederick W. Panhorst | R. D. Whittle     |
| Freeman Drew      | W. J. Jurkovich  | Alfred L. Parme       | Robert Zaborowski |
|                   |                  |                       | E. M. Zwoyer      |

\* Comisión ejecutiva.

<sup>1</sup> Fallecido. Fue Presidente hasta 1955.

## **prefabricación de paneles de hormigón pretensado para la construcción de forjados de piso o de cubierta**

Resumen de un artículo publicado en el número del 26 de mayo de 1960 de la Revista «Engineering News Record». Las fotografías están tomadas también de dicho artículo.

En la costa oriental de los Estados Unidos existe una fábrica que pronto será capaz de producir, diariamente, paneles de hormigón pretensado en la cantidad suficiente para construir la cubierta de un edificio de hasta 2.000 m<sup>2</sup> de superficie. Se confía en que esta producción masiva de elementos prefabricados en serie, de hormigón pretensado, contribuirá de un modo definitivo a la difusión del empleo de este tipo de piezas.

Como elemento fundamental para este ritmo de producción se cuenta con una máquina de hormigonado, de patente alemana, de extraordinarias características. Las naves de esta nueva fábrica han sido construídas a base de los elementos prefabricados por ella misma producidos. La máquina va montada sobre una grúa-pórtico, que cubre seis bancadas de pretensado, cada una de 140 m de longitud. La grúa se mueve sobre carriles, a razón de 1,5 m por minuto y la máquina va depositando, a esta misma velocidad, el hormigón necesario para el moldeo de los paneles de hormigón pretensado de 10, 15 ó 20 cm de espesor. Para ello, puede regularse, a voluntad, la salida de la masa de hormigón.

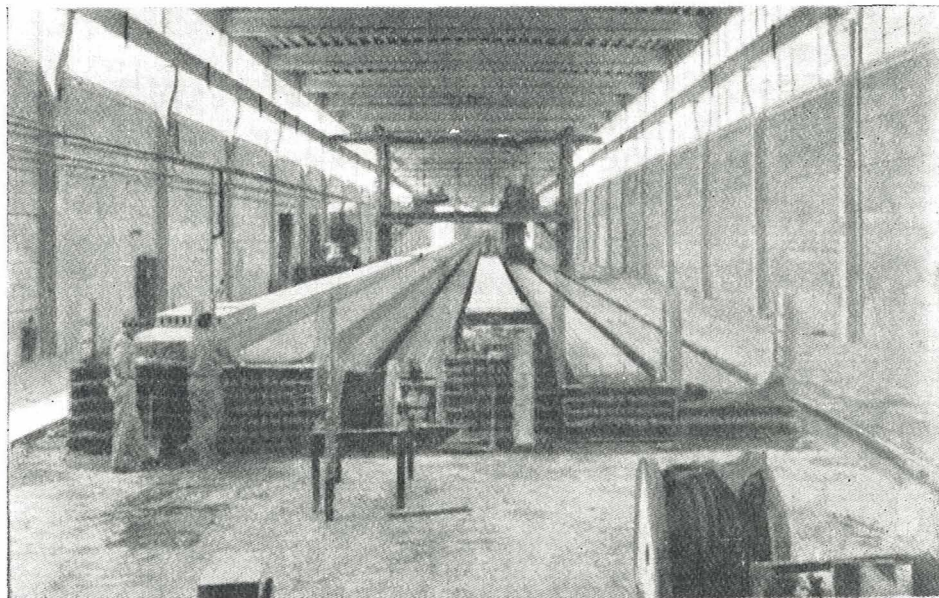


Fig. 1.—Una vista de la nave de fabricación en la cual podrán producirse diariamente, 2.000 m<sup>2</sup> de paneles de hormigón pretensado para forjados de piso o de cubierta.

En la actualidad, la máquina hormigona diariamente tres bancadas de pretensado, con lo que se alcanzan los 500 m<sup>2</sup> de producción por día. Se espera que, para el verano, se duplicará la capacidad de producción, al entrar en funcionamiento seis nuevas bancadas de pretensado de 140 m, y se amplíe la longitud de las naves de fabricación hasta los 365 m. La instalación de una nueva máquina de hormigonado, también prevista, permitirá entonces llegar a una producción de 2.000 m<sup>2</sup>, diariamente, trabajando dos turnos por jornada.

Los paneles se construyen en pilas de 1,6 m de altura, aproximadamente, sobre cada una de las seis bancadas. Esto permite obtener ocho paneles de 20 cm de canto, diez de 15 cm o dieciséis de 10 cm, en cada bancada. Sobre cada panel fabricado se vierte, una vez endurecido el hormigón, una capa de arena fina que evita que se adhiera al panel siguiente que se ha de hormigonar encima.

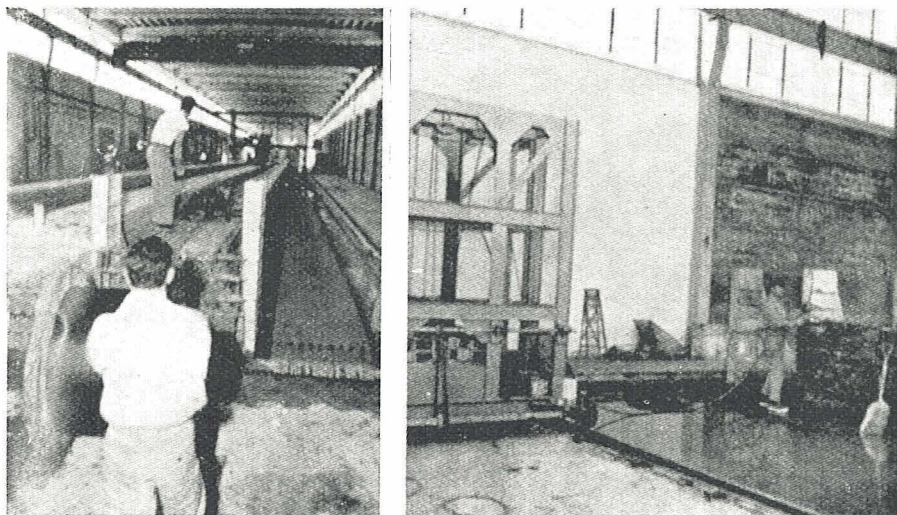
El proceso de fabricación se inicia con la colocación y el tesado de las armaduras. Los rollos de cable se trasladan sobre las bancadas montados en unos triciclos movidos por un pequeño motor de gasolina. Estos triciclos (que se denominan "conejos") llevan unas ruedas horizontales, laterales, que deslizan sobre los costeros de la bancada, manteniéndose así siempre perfectamente alineados. Cuando llegan al extremo de la bancada, un operario hace pasar el cable a través del correspondiente cono de anclaje, sujetándolo a un sistema de contrapesos que, convenientemente cargado, ejerce el esfuerzo de pretensado necesario. Una vez tesa la armadura, introduce una cuña cónica en el cono de anclaje y corta el cable sobrante. Mientras tanto, el triciclo ha vuelto de nuevo al extremo de anclaje de la bancada.

Con el auxilio de dos pequeños volquetes se traslada la masa de hormigón desde la central de hormigonado a una tolva que va montada en un monocarril y vierte el hormigón en la máquina de hormigonado, que se alimenta por la parte superior. Esta máquina, a su vez, lleva tres tolvas que van vertiendo el hormigón en capas sucesivas. La primera tolva deposita alrededor de las armaduras, una capa de unos 4 cm de espesor, de un hormigón ligero preparado utilizando como árido arcilla expansiva. Sobre ella, la segunda tolva vuelca el hormigón que forma la capa central de la pieza, y, finalmente, la última tolva deposita una mezcla de mortero, de densidad normal, que constituye la superficie superior de la pieza, con un espesor de unos 2 cm. El cemento utilizado es de alta resistencia inicial, capaz de producir hormigones de 350 kg/cm<sup>2</sup>, a los siete días.

A medida que las tolvas van depositando las sucesivas capas de hormigón, unas ple-tinas de enrase las van nivelando. Las gargantas laterales de los paneles se forman mediante moldes deslizantes. La consolidación del hormigón de cada capa se consigue utilizando pisones de vaivén en lugar de vibradores, y para el acabado de la superficie superior de los paneles se pasa una barra que se desliza sobre guías y deja dicha superficie perfectamente lisa y enrasada.

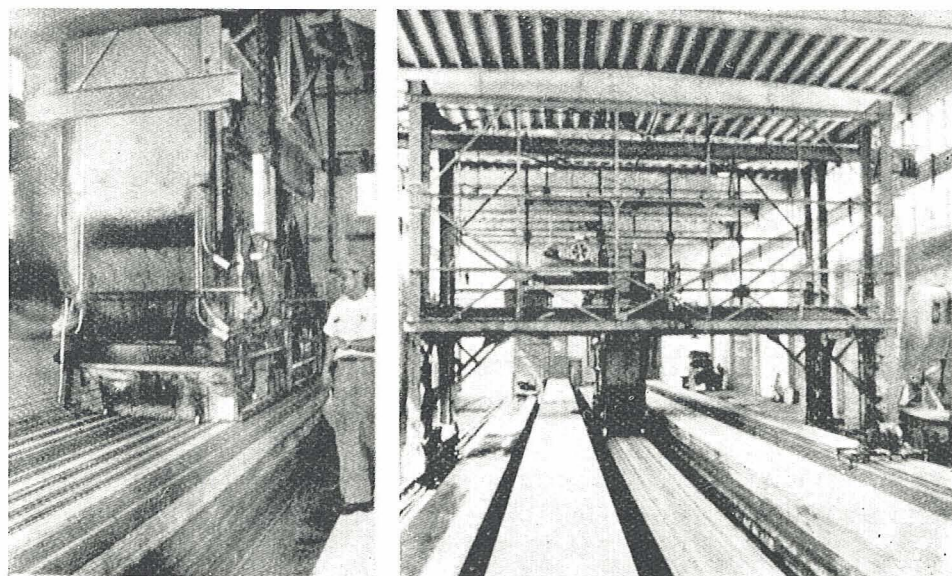
Los huecos que aligeran el núcleo de los paneles se forman con unos machos unidos entre sí de tal manera que avanzan alternativamente a medida que se vierte el hormigón. Estos machos son de sección elíptica para los paneles de 15 y 20 cm de canto y de sección circular para los de 10 cm.

Fig. 2.—Colocación de los cables utilizados como armadura de pretensado. — Fig. 3. Dispositivo para el tesado automático de las armaduras.



Para el curado, dos horas después de terminado el hormigonado, se empapan las superficies superiores de los paneles, manteniéndolas húmedas durante tres días. En tiempo frío o templado, cuando la temperatura de la nave de fabricación no excede de los 21° C, al día siguiente del hormigonado, y mediante una red de tuberías adecuadamente dispuestas, se introduce un chorro de agua continuo por cada uno de los huecos de la sección del panel.

Fig. 4.—Un detalle de la máquina especial de hormigonado. — Fig. 5.—Puente-grúa en el que va montada la máquina de hormigonado y que se mueve sobre carriles a una velocidad de 1,5 m por minuto.



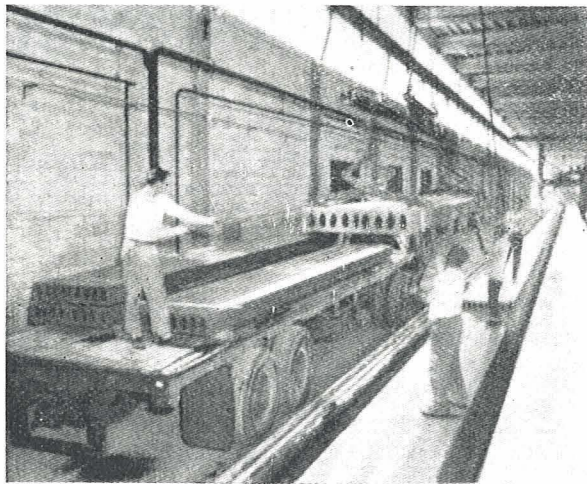
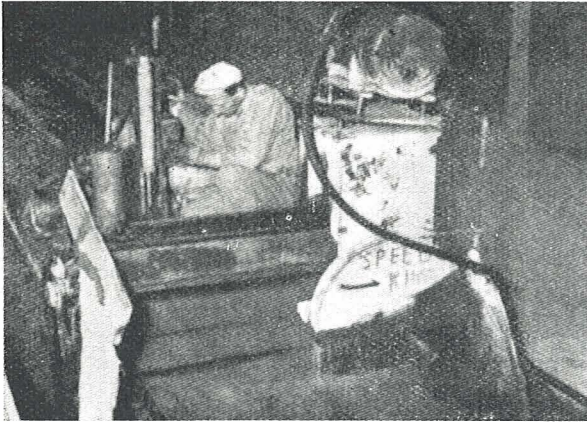


Fig. 6.—Sierra mecánica, refrigerada por agua, utilizada para cortar los paneles a la longitud requerida.— Fig. 7.—Dispositivo para el traslado de los paneles desde la bancada de fabricación a los remolques que habrán de llevarlos al almacén.

tos paneles, de un metro de ancho, aproximadamente, llevan en la parte superior algunos cables pretensados con el fin de darles la resistencia necesaria para que sean capaces de soportar los esfuerzos anormales a que pueden verse sometidos durante las operaciones de transporte y colocación.

La resistencia máxima de los cables trenzados, de siete alambres, utilizados como armadura, es de  $170 \text{ kg/mm}^2$  y la tensión inicial de pretensado que en ellos se introduce, de  $105 \text{ kg/mm}^2$ .

En la construcción de los muros exteriores de la propia fábrica se han empleado paneles de 20 cm de canto, con luces de más de 7 m, colocándolos horizontalmente apoyados sobre sus bordes longitudinales.

La máquina especial de hormigonado utilizada en esta fábrica está patentada por la firma W. Schaeffer, de Heidelberg, Alemania, y es la primera de este tipo que se emplea en Norteamérica.

Cuando el tiempo es caluroso, el fraguado del hormigón se acelera y entonces es necesario iniciar este riego antes del plazo anteriormente indicado, es decir, antes de las veinticuatro horas.

A los tres días del hormigonado las piezas pueden ya cortarse.

Una vez desprendidas las armaduras de sus amarres extremos se van cortando las piezas a la longitud requerida, mediante una sierra mecánica provista de motor eléctrico. Seguidamente, con el auxilio de unas tenazas de tipo especial, se sujeta la pieza por las gargantas laterales y, mediante un puente-grúa se colocan sobre unos remolques situados en un pasillo lateral de la nave de fabricación. En estos remolques se trasladan hasta el almacén, en donde se van apilando.

Los paneles de 20 cm de canto pueden utilizarse para luces de hasta 10 m en forjados de piso y 11 m en forjados de cubierta. Es-



## **elección de las tensiones iniciales, admisibles en los aceros para hormigón pretensado**

(Tomado de un artículo de A. Chagneau, publicado en el número 120, año X, de la revista  
«Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics»)

### **sinopsis**

Las pérdidas de esfuerzo de pretensado en una estructura se deben, principalmente, a las deformaciones lentas del hormigón, a su retracción y a la acción de los esfuerzos exteriores. Para la obtención de un determinado esfuerzo inicial de pretensado, conviene, como es lógico, utilizar la menor cantidad de armadura, sometiéndola a la tensión más elevada posible. Sin embargo, la prudencia recomienda no sobrepasar un cierto límite que sólo pueda determinarse a partir del estudio del diagrama de tracción del acero que se use.

\* \* \*

En el presente artículo se estudiarán, sucesivamente, los siguientes temas:

- 1.º La influencia de la retracción y de las deformaciones lentas del hormigón, así como la de la fluencia del acero, en el esfuerzo inicial de pretensado.
- 2.º La influencia de una fuerza exterior, sobre el valor del esfuerzo final de pretensado en el hormigón.
- 3.º Las razones que deben tenerse en cuenta al fijar la tensión inicial de los alambres de pretensado.

### **I. Influencia de la retracción, las deformaciones lentas del hormigón y la influencia del acero, en el esfuerzo inicial de pretensado**

Se supone, primeramente, que los diagramas carga-deformación del hormigón y del acero son lineales y que, bajo el esfuerzo inicial de pretensado aplicado, no se produce fluencia en el acero.

Partiendo de esta hipótesis, sea una viga de hormigón de 20 cm<sup>2</sup> de sección, sometida a un esfuerzo central de pretensado de 2.000 kg, es decir, a una tensión de compresión de 100 kg/cm<sup>2</sup>. Suponiendo que la sección total de armadura es de 20 mm<sup>2</sup>, la tensión de los alambres será de 100 kg/mm<sup>2</sup>. Si la sección de armadura fuese de 100 mm<sup>2</sup>, su tensión sería de 20 kg/mm<sup>2</sup>. En el primer caso, la deformación relativa de los alambres es:  $100/20.000 = 5.000 \times 10^{-6}$ , y en el segundo:  $20/20.000 = 1.000 \times 10^{-6}$ . La del hormigón, adoptando un módulo de elasticidad normal, de 400.000 kg/cm<sup>2</sup>, es:  $100/400.000 = 250 \times 10^{-6}$ . Si se admite que las deformaciones lentas del hormigón (deformaciones diferidas + retracción) son el doble de las deformaciones instantáneas, es decir, iguales a  $500 \times 10^{-6}$ , se pueden trazar los diagramas de las figuras 1 y 2. Teniendo en cuenta que las deformaciones lentas del hormigón deben ser iguales al acortamiento elástico de la armadura, el punto  $F_p$  tiene forzosamente que seguir la recta  $F_p O$  de descarga del acero, con lo cual queda determinado el punto  $F'_p$ .

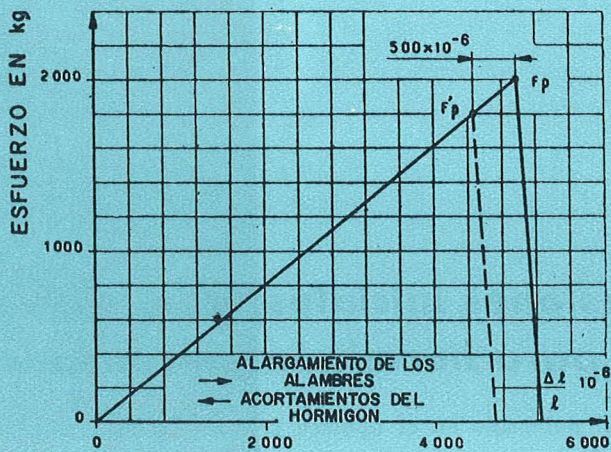


Fig. 1

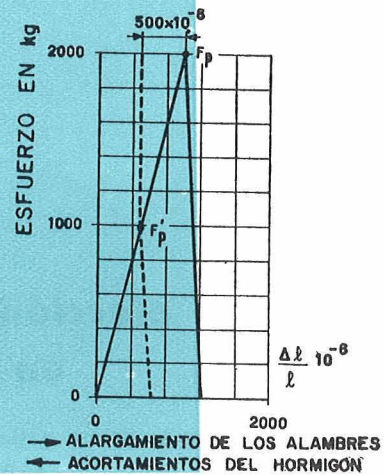


Fig. 2

Así se deduce que, en el primer caso, la pérdida de esfuerzo de pretensado es de 200 kg, o sea, del 10% del esfuerzo inicial, mientras que en el segundo caso se eleva a 1.000 kg, lo que equivale al 50%.

Mediante el cálculo, se obtendrían los mismos resultados, evidentemente. En efecto, para una deformación lenta del hormigón de  $500 \times 10^{-6}$ , la caída de tensión de los alambres sería:  $n = 20.000 \times 500 \times 10^{-6} = 10 \text{ kg/mm}^2$ , lo que supone:  $10 \times 20 = 200 \text{ kg}$  en el primer caso y  $10 \times 100 = 1.000$  kilogramos en el segundo (1).

Supóngase ahora el caso en que los aceros no fluyen, pero han sido cargados por encima de su límite de proporcionalidad. El punto  $F_p$  seguirá también la curva de descarga del acero, pero esta curva, ahora, no coincide ya con la  $F_p O$  de carga, sino que será (fig. 3) la  $F_p O'$ , en la cual se situará el punto  $F'_p$ . Evidentemente,  $F'_p$  tendrá la misma ordenada que en el caso anterior, pero la capacidad de deformación de los alambres se ha reducido.

No obstante, en la realidad, la pérdida de esfuerzo inicial de pretensado se produce a la vez que por las deformaciones lentas del hormigón y la fluencia del acero.

Como se acaba de ver, cuando es únicamente el hormigón el que fluye, el punto  $F_p$  recorre la curva de descarga del acero.

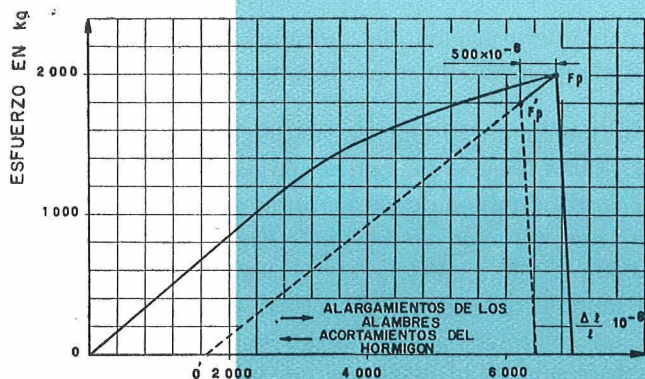


Fig. 3

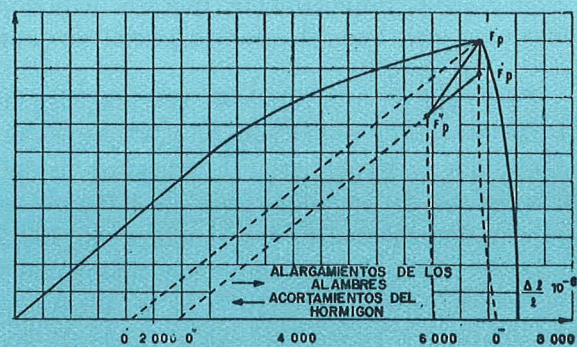


Fig. 4

(1) Se comprende fácilmente, por otra parte, que si  $m = \frac{F}{\frac{\Delta l}{l}}$  = constante, es la inversa de la deformabilidad de los alambres, y «d» es el valor de las deformaciones lentas (relativas) del hormigón, se verifica: pérdida de esfuerzo de pretensado = md.

Análogamente, si son los alambres los únicos que fluyen, el punto  $F_p$  recorrerá la curva de descarga del hormigón, la cual, por otra parte, no coincide nunca con la de carga. Cuando coexisten ambos efectos, el punto  $F_p$  debe moverse siguiendo una curva intermedia entre las de descarga del hormigón y del acero.

¿Cuál será el trazado de esta curva? Supóngase, primeramente, que estos dos efectos no son simultáneos, es decir, que para llegar al pretensado final  $F''_p$ , se produce primero la fluencia del acero y después la del hormigón. En estas condiciones el punto  $F_p$  recorrerá, en la primera fase, la curva de descarga del hormigón y se situará en  $F'_p$  (fig. 4). A continuación,  $F_p$  recorrerá la curva de descarga del acero  $F'_p O''$  y se situará en  $F''_p$ . Pero, en realidad, la fluencia del acero y la del hormigón son simultáneas y si se supone que la resultante de estos dos efectos varía linealmente, el punto  $F_p$  recorrerá entonces la recta  $F_p F''_p$ . Lógicamente, sin embargo, la ley de variación de esta resultante ha de ser mucho más complicada, y el punto  $F_p$  debe recorrer una curva situada entre la recta  $F_p F''_p$  y la línea quebrada  $F_p - F'_p - F''_p$ . Por otra parte, esta curva deberá, inicialmente, estar muy cerca de la curva de descarga del hormigón ya que, al principio, la fluencia del acero es la que predomina, según se ha podido comprobar experimentalmente.

El interés de esta curva reside, fundamentalmente, en el hecho de que su posición indica inmediatamente la relativa influencia, sobre las pérdidas de pretensado, de la fluencia del acero y de la del hormigón. Por otra parte, se pueden valorar aproximadamente estas influencias, prolongando la recta de descarga del acero  $O'' F''_p$  hasta su intersección con la curva de descarga del hormigón  $F_p O'''$ , con lo que queda definido el punto  $F'_p$ .

A título de ejemplo y utilizando los resultados experimentales obtenidos, se han trazado, en los diagramas de las figuras 5 y 6, las curvas de variación de  $F_p$ , para un hormigón armado con alambres trefilados y sometido, a los tres meses de edad, a la carga de  $134 \text{ kg/cm}^2$  (lo que equivale, aproximadamente, a las  $28/100$  de R a los noventa días), y para otro hormigón armado con alambres de acero patentado y sometido, al mes de edad, a la carga de  $116 \text{ kg/cm}^2$  (equivalente también, de un modo aproximado, a las  $28/100$  de R a los noventa días). Como no se conocían exactamente las curvas de carga y descarga del hormigón, se ha prolongado la recta  $O'' F''_p$  hasta su intersección con la curva de carga del hormigón, supuesta lineal. Esto equivale a subestimar la ordenada del punto  $F'_p$ , pero el error cometido no debe ser grande y, por otra parte, lo único que interesa conocer es el orden de magnitud. Estos dos diagramas demuestran, sin que sea necesario insistir sobre ello, la ventaja de los aceros patentados sobre los trefilados. Evidentemente, esto no quiere decir que todos los aceros patentados sean mejores, a este respecto, que los trefilados. Lo único que puede afirmarse es que, para las calidades utilizadas en estos ensayos, así resultaba.

En definitiva, se deduce que como los aceros que actualmente se utilizan, si son adecuadamente elegidos, presentan una débil relajación, para limitar las pérdidas de pretensado originadas por las deformaciones lentas del hormigón, a igualdad de esfuerzo inicial de pretensado, es más conveniente utilizar pocos alambres sometidos a elevada tensión que un mayor número de alambres sometidos a tensión más baja.

## II. Influencia de un esfuerzo exterior

Admitiendo nuevamente un diagrama rectangular, las curvas de deformación del hormigón y del acero son lineales. Se supone ahora que la pieza ha experimentado ya todas las pérdidas de pretensado originadas por la fluencia del hormigón y de los alambres.

Sea  $m$  la inversa de la deformabilidad de los alambres;  $m'$ , la correspondiente al hormigón, y  $F_p$ , el esfuerzo final de pretensado. Bajo este esfuerzo, la deformación relativa de los alambres es  $\frac{F_p}{m}$  y la del hormigón  $\frac{F_p}{m'}$ .

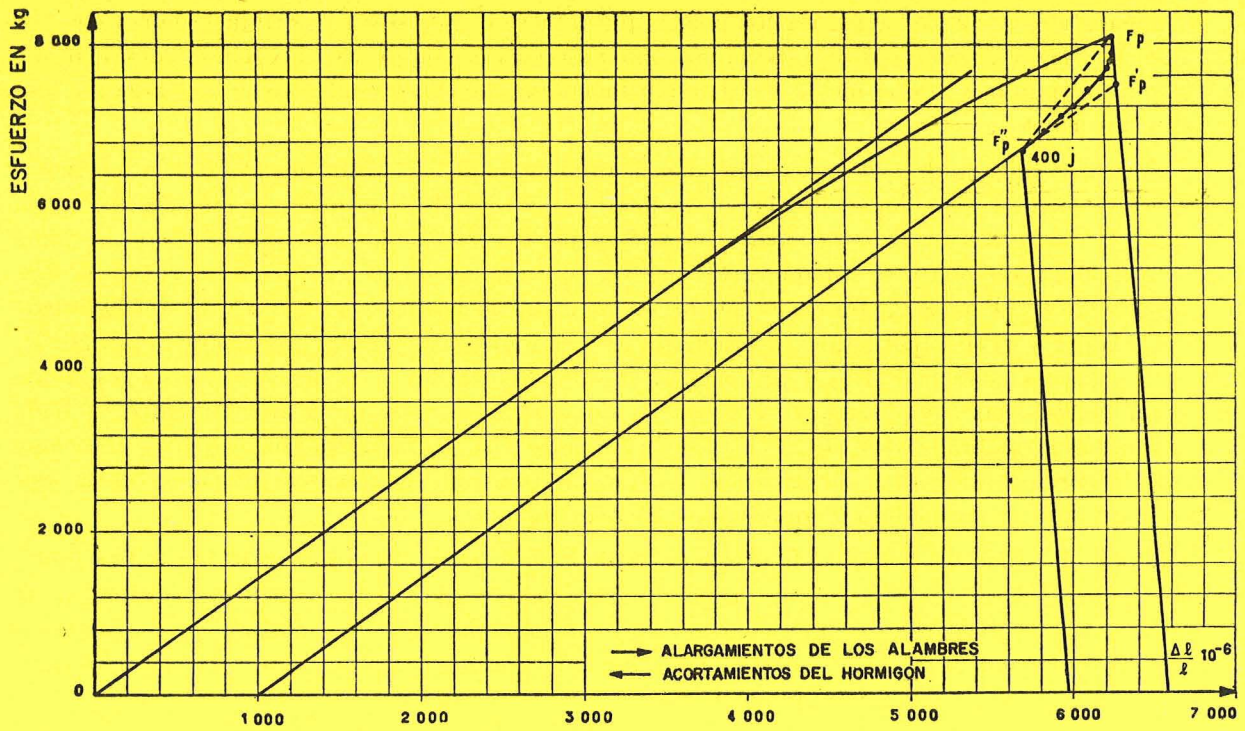


Fig. 5

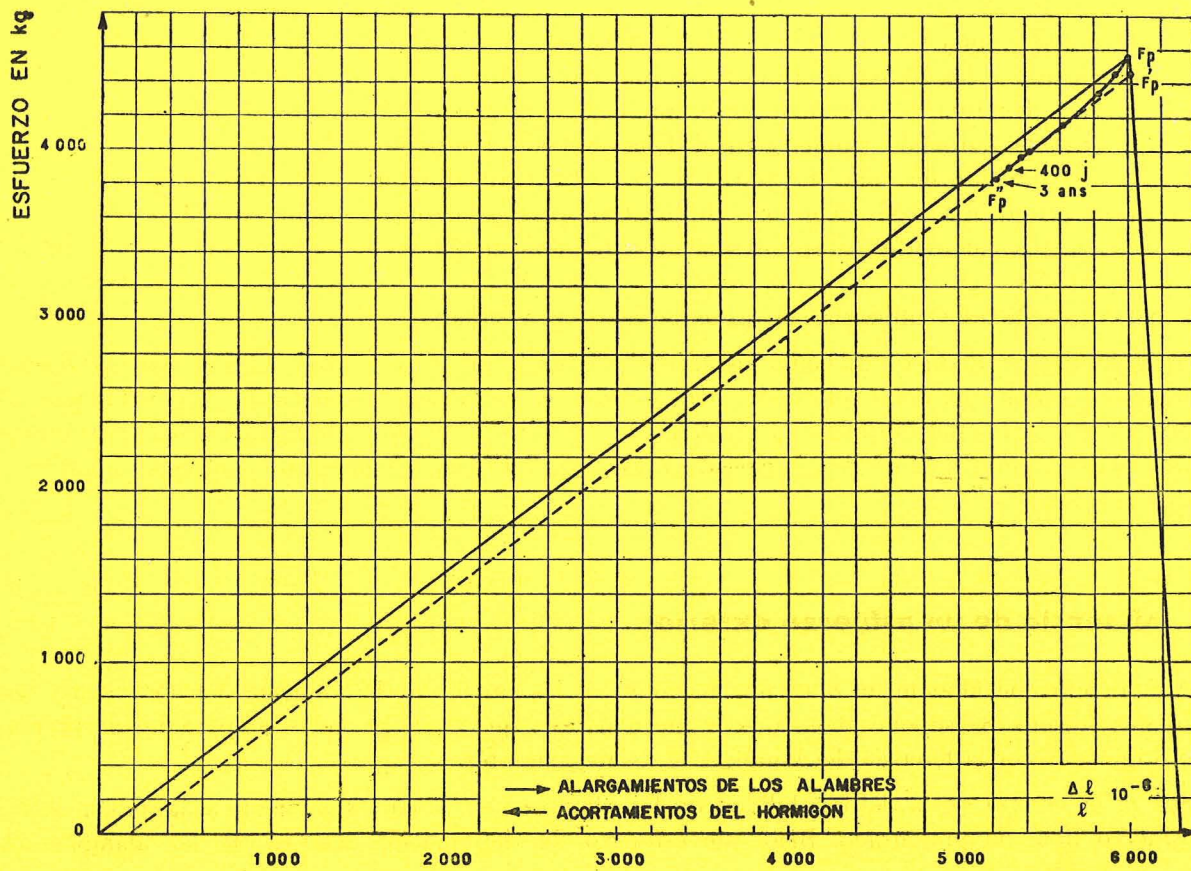


Fig. c

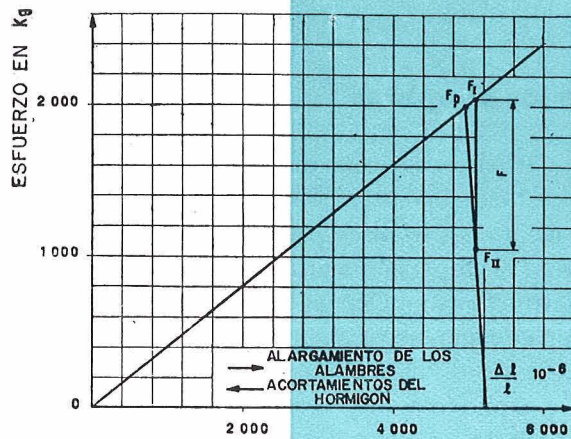


Fig. 7.

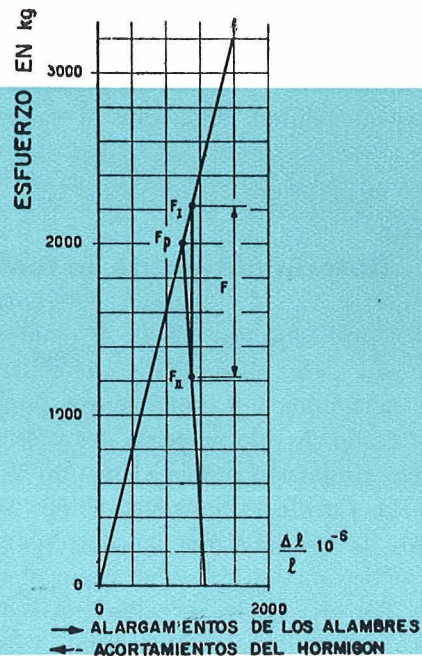


Fig. 8

Aplicando ahora a la pieza un esfuerzo exterior de tracción  $F$ , la deformación  $\frac{\Delta l}{l}$  de los alambres y del hormigón debe ser la misma y se puede escribir:

$$\frac{\Delta l m}{l} = F_I - F_p, \text{ siendo } F_I \text{ el esfuerzo final en los alambres.}$$

$$\frac{\Delta l m'}{l} = F_p - F_{II}, \text{ siendo } F_{II} \text{ el esfuerzo final en el hormigón.}$$

De aquí se deduce:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{F}{m + m'}$$

ya que, evidentemente,  $F = F_I - F_{II}$

El esfuerzo final de los alambres resulta, por consiguiente:

$$F_I = F_p + \frac{m}{m + m'} F$$

y el del hormigón:

$$F_{II} = F_p - \frac{m'}{m + m'} F$$

Finalmente, la pérdida de esfuerzo de pretensado en el hormigón será:

$$F_p - F_{II} = \frac{m'}{m + m'} F$$

Esta pérdida será tanto menor cuanto mayor sea  $m$ , es decir, cuanto más numerosos sean los alambres y menor su tensión. A este respecto, por lo tanto, lo más conveniente es utilizar un gran número de alambres sometidos a débil tensión (véanse figs. 7 y 8) (1).

Si los alambres se tesan por encima de su límite elástico, el cálculo precedente deja de ser aplicable, puesto que  $m$  ya no es constante. Sin embargo, se puede todavía trazar un diagrama análogo al de la figura 3. Se observa que, como es lógico, la pérdida de pretensado del hormigón es un poco mayor.

(1) Para estos diagramas se han utilizado las mismas vigas indicadas en el apartado I.



Estos tres últimos diagramas demuestran que la influencia de la magnitud de la tensión introducida en los alambres sobre las pérdidas de pretensado del hormigón, originadas por la aplicación de un esfuerzo exterior, es pequeña aún cuando la tensión de los alambres exceda de su límite de proporcionalidad, dado que el valor de  $m$  es, en cualquier caso, relativamente grande.

### III. Determinación de la tensión inicial de los alambres

El problema que ahora se plantea es el siguiente: ¿Cuál es el valor más conveniente de la tensión que debe introducirse inicialmente en los alambres? Se supone, evidentemente, que los aceros son suficientemente homogéneos para que no exista peligro de roturas prematuras en el momento del tesado. A este respecto, las prescripciones que sobre la dispersión figuran en el Pliego de Condiciones propuesto por la «Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé» resultan del mayor interés. En efecto, en dicho Pliego se recomienda tomar como alargamiento de rotura y carga de rotura la media aritmética correspondiente a doce ensayos, disminuída en el triple de la dispersión aritmética media. Se admite que el valor así obtenido representa las características medias de un lote. Por otra parte, se exige que la media de las seis cargas inferiores de rotura no debe diferir en más del 3% de la carga media de rotura, lo cual conduce a rechazar los lotes heterogéneos que son los que originan las mayores dificultades durante el tesado.

Partiendo de esta base, se comprende que, de todas maneras, resulta imprudente tesar los alambres a valores muy próximos a su tensión de rotura. Las razones que avalan esta afirmación son las siguientes:

A) Para contrarrestar los efectos de la fluencia del acero y del hormigón, los alambres se suelen tesar, inicialmente, a unos 15 ó 20 kg/mm<sup>2</sup> por encima de la tensión final requerida (2). Esta sobretensión inicial puede, entonces, provocar roturas durante el tesado, a causa de que:

1.º El esfuerzo total, no se distribuye por igual entre todos los alambres; siempre hay unos que toman más tensión que otros.

2.º Los inevitables rozamientos pueden originar sobretensiones locales que resultan imposibles de detectar ni aun vigilando los alargamientos.

B) La fluencia de los alambres es tanto mayor cuanto más elevada es su tensión inicial. Sin embargo, si se admite que los diagramas relajación de tensiones-tiempo no se cortan nunca, resultaría siempre conveniente aumentar la tensión de los alambres. Pero no parece que, por ahora, este hecho se encuentre suficientemente comprobado.

C) Los alambres sometidos a una tensión muy próxima a la de rotura, poseen una reserva muy pequeña de capacidad de deformación, lo que puede dar lugar a que se produzca una rotura brusca, sin ningún signo previo de aviso (2).

En todo caso, parece, por consiguiente, que lo más prudente es recomendar una tensión que resulte suficientemente razonable en relación con la de rotura. La elección de esta tensión debe siempre realizarse teniendo en cuenta, sobre todo, el diagrama de tracción del acero que se utilice.

Si los aceros son del tipo A (fig. 10), la tensión inicial debe tomarse entre  $a$  y  $b$ , estando  $b$  suficientemente alejado de la rotura. Si son del tipo B, el punto  $a$  no ofrecerá nunca ningún peligro, puesto que, de hecho, la tensión final será siempre inferior a la tensión inicial, incluso después de aplicado un esfuerzo exterior.

Si los aceros son del tipo C, la elección del punto *a*, excesivamente próximo a la tensión de rotura, no resulta aconsejable, por lo cual deberá adoptarse una tensión inferior a la correspondiente a dicho punto *a*.

De los tres diagramas estudiados parece que el más conveniente es el que corresponde al acero tipo B, ya que posee un límite elástico definido por un marcado escalón de relajamiento y, por consiguiente, una gran capacidad de deformación antes de llegar a la rotura.

Por otra parte, su límite de proporcionalidad coincide, prácticamente, con su límite elástico. Este tipo de diagrama es, además, el que corresponde a los aceros patentados que han sido utilizados en los ensayos que en este artículo se han descrito y que, como ya se ha indicado, experimentan relajaciones propias, de valor insignificante.

La tensión inicial de los alambres, elegida a la vista de su diagrama de tracción, puede representar únicamente una fracción relativamente

pequeña de la tensión de rotura. Pero ello no implica que el esfuerzo final de pretensado que actúa sobre el hormigón haya forzosamente de ser menor. En efecto, este esfuerzo puede obtenerse, o utilizando pocos alambres sometidos a fuerte tensión, o colocando un mayor número de alambres sometidos a tensión más baja.

Sea  $F_i$  el esfuerzo inicial de pretensado;  $F_f$  el esfuerzo final;  $m$  (supuesta constante), la inversa de la deformabilidad de los alambres, y  $d$ , las deformaciones lentas (relativas) del hormigón.

Deberá verificarse:

$$F_i = md + F_f \quad \text{o lo que es igual: } F_f = F_i - md = \text{constante.}$$

Sea, por ejemplo, una viga de hormigón pretensada mediante diez alambres de 20 mm<sup>2</sup> de sección cada uno, tesos inicialmente a 110 kg/mm<sup>2</sup>, lo que supone un esfuerzo total de:

$$F_i = 110 \times 200 = 22.000 \text{ kg.}$$

Se admite que:

$$m = \frac{F}{\frac{\Delta l}{l}} = S \cdot E = 200 \times 20.000 = 4 \times 10^6 \text{ kg.}$$

Si  $d = 500 \times 10^{-6}$ , se deduce:

$$m \cdot d = 500 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^6 = 2.000 \text{ kg.}$$

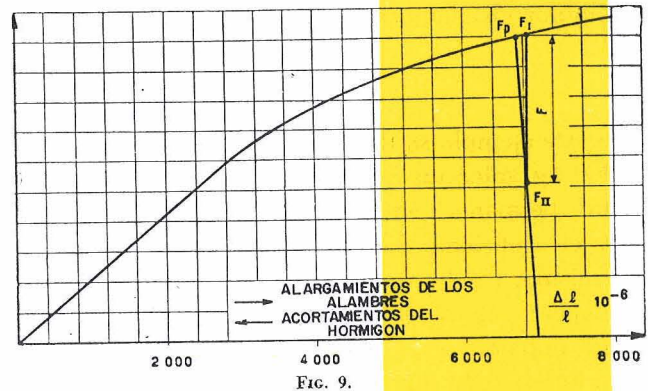


FIG. 9.

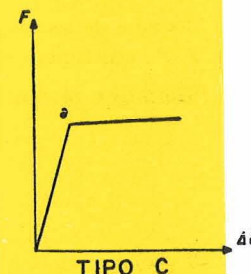
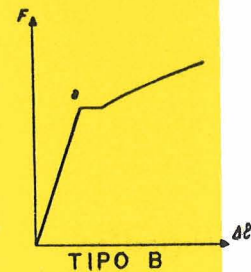
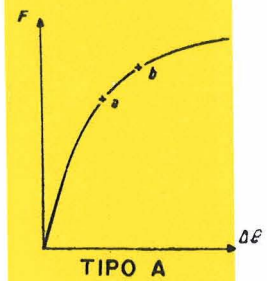


Fig. 10

Por consiguiente:

$$F_f = 22.000 - 2.000 = 20.000 \text{ kg.}$$

Si se toman once alambres en lugar de diez, se tendrá:

$$m = 220 \times 20.000 = 4,4 \times 10^6 \text{ kg.}$$
$$m \cdot d = 500 \times 10^{-6} \times 4,4 \times 10^6 = 2.200 \text{ kg (1)}$$

y para conseguir el mismo valor del esfuerzo final de pretensado será necesario que el esfuerzo inicial ejercido por los alambres sea:

$$F_i = m \cdot d + F_f = 2.200 + 20.000 = 22.200 \text{ kg}$$

De este ejemplo se deduce que el esfuerzo de pretensado inicial en el hormigón pasa de 22.000 kg a 22.200 kg, mientras que, por el contrario, la tensión final de los alambres desciende de 100 a 90,9 kg/mm<sup>2</sup>, permaneciendo invariable el esfuerzo final de pretensado en el hormigón. En estas condiciones, el coeficiente de seguridad de la armadura ha aumentado, y como el del hormigón sigue siendo el mismo, resulta que el coeficiente de seguridad del conjunto ha aumentado también. En definitiva, dejando al margen toda consideración de tipo económico, se comprende que se puede perfectamente obtener un elevado esfuerzo final de pretensado en el hormigón, utilizando alambres sometidos a una tensión que puede no ser muy elevada.

## **bibliografía**

- (1) "Estudio de los resultados obtenidos en los ensayos sobre empalmes efectuados en el C. E. B. T. P." (*Ann. I. T. B. T. P.*, septiembre 1954), por Chagneau y Fourgeaud.
- (2) "Hormigón pretensado", por J. Guyon, Edition Eyrolles.

---

(1) Se admite, naturalmente, que la fluencia suplementaria originada al elevarse  $F_i$  de 22.000 a 22.200 kg, resulta despreciable.



## ensayos sobre la relajación de tensiones en el hormigón pretensado

(Tomado de un artículo de G. Dawance y A. Chagneau, publicado en el núm. 120, año X, de la revista «Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics».)

### Sinopsis

En el presente artículo se informa sobre los resultados obtenidos a partir del año 1952, en una serie de ensayos que se vienen realizando con alambres de acero trellado, y en otra serie de ensayos, iniciados en fecha más reciente, con alambres de acero patentado. La determinación de las tensiones en los alambres se efectúa midiendo la frecuencia de su vibración transversal. Las compresiones iniciales en el hormigón se hacen variar de unas piezas a otras.

Teniendo en cuenta que para la valoración del coeficiente de seguridad en una estructura de hormigón pretensado, resulta imprescindible conocer la evolución a lo largo del tiempo, de la magnitud del esfuerzo de pretensado efectivo, el C. E. B. T. P. inició, en el año 1946, una amplia serie de experiencias para el estudio de los problemas planteados por la relajación de los alambres de acero y la fluencia del hormigón bajo cargas mantenidas.

Sobre estos trabajos se han publicado ya dos informes en los años 1948 y 1952 (1) y (2).

El presente artículo puede considerarse como una continuación del último de los dos informes anteriormente citados, en lo que respecta a los hormigones cargados al año de edad y armados con aceros trellados. Se incluyen también los primeros resultados obtenidos en una segunda serie de ensayos en los que se han utilizado alambres de acero patentado.

Los alambres empleados en estas dos series de ensayos son de origen totalmente distinto. Los de la primera serie, adquiridos en 1949, no poseen la calidad de los alambres actualmente existentes en el mercado. Por el contrario, los de acero patentado de la segunda serie, que fueron adquiridos en 1953, poseen ya unas características más acordes con las de los alambres modernos y su comportamiento es mucho más favorable (figs. 1 y 2).

### Dispositivo de ensayo

Los alambres de acero que sirven para introducir en la pieza el esfuerzo de pretensado se tesan sobre un marco rígido. Sobre ellos se hormigonan las piezas, y cuando éstas ya han fraguado y se encuentran suficientemente endurecidas, se sueltan los alambres del marco, con lo que el esfuerzo de pretensado se transmite al hormigón, que, de esta forma, queda comprimido. La frecuencia de la vibración transversal del o de los alambres de la armadura, se mide en un puesto de escucha Telemac para cuerdas vibrantes.

(1) «Nuevo método para el estudio de la relajación de los alambres de acero», por G. Dawance. Annales de l'Inst. Tech. du Bât. et des Trav. Publics, núm. 3, febrero 1948.

(2) «Essays sobre la relajación de tensiones en el hormigón preter.sado», por G. Dawance. Association Internationale des Ponts et Charpentes. Zurich, 1952.

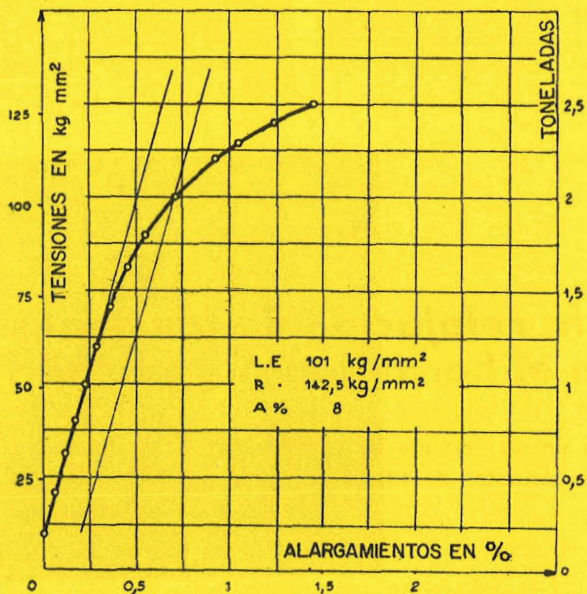


Fig. 1.—Diagrama de tracción de los alambres de acero, trefilados, utilizados para los ensayos con hormigones de un año de edad.

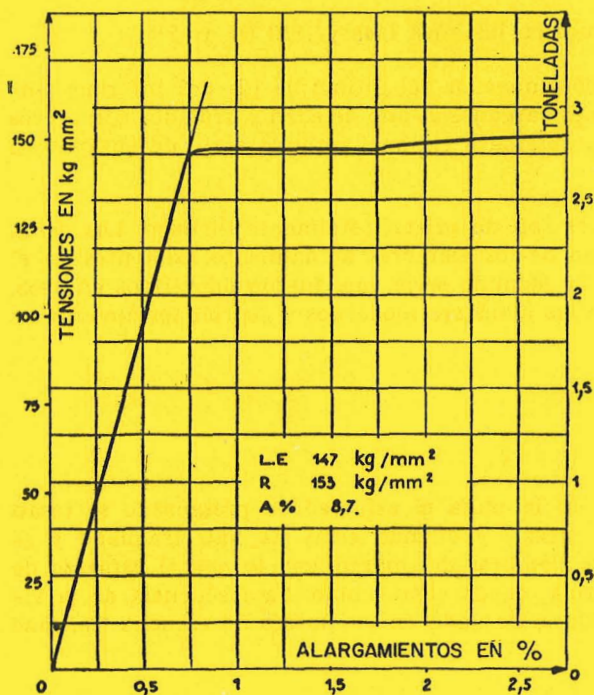


Fig. 2.—Diagrama de tracción de los alambres de acero, patentados, utilizados para los ensayos con hormigones de un mes de edad.

De esta forma se obtiene una medida directa y precisa de la tensión en la armadura, con una aproximación del orden del 1 %. Este dispositivo de ensayo permite mantener la referida aproximación, durante varios años, sin necesidad de ninguna precaución especial.

### Primera serie de ensayos, con alambres de acero trefilado

Las características mecánicas completas de los hormigones utilizados, han sido ya reseñadas en la citada publicación del año 1952 (véase nota 2). En líneas generales, los hormigones que se cargan a un año de edad, están fabricados con áridos silico-calcareos del Sena y cemento H. R. I. (de alta resistencia inicial), con una dosificación de 350 kg/m<sup>3</sup>. Su resistencia a dicha edad es del orden de 450 kg/cm<sup>2</sup>. Las tensiones iniciales adoptadas para estos hormigones fueron: 81, 101, 134 y 170 kg/cm<sup>2</sup>. La de 134 kg/cm<sup>2</sup> corresponde, aproximadamente, al 28 % de su resistencia en compresión. La tensión inicial introducida en los alambres fue, en todos los casos, igual a 0,7 R, lo que equivale a 100 kg/mm<sup>2</sup>. (R = tensión de rotura, en tracción, del acero.)

### Segunda serie de ensayos con alambres de acero patentado

#### 1. Características mecánicas de los alambres

Límite elástico convencional: 147 kg/mm<sup>2</sup>, con una dispersión media, respecto al valor medio correspondiente a veinte ensayos, de 0,6 kg/mm<sup>2</sup>.

Tensión de rotura en tracción: 153 kg/mm<sup>2</sup>, con una dispersión media, respecto al valor medio correspondiente a veinte ensayos, de 0,8 kg/mm<sup>2</sup>.

Alargamiento de rotura (base Afnor): 8,7 %.

Como se ve, el límite elástico está muy próximo a la tensión de rotura. No obstante, el alargamiento de rotura, debido al escalón de relajamiento que presentan estos aceros, es bastante considerable.

#### 2. Características de los hormigones.

##### a) Composición por metro cúbico:

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Grava 5-10 ... ..   | 1.100 kg. |
| Arena 0,5-2 ... ..  | 600 kg.   |
| Supercemento ... .. | 500 kg.   |
| Agua ... ..         | 170 l.    |

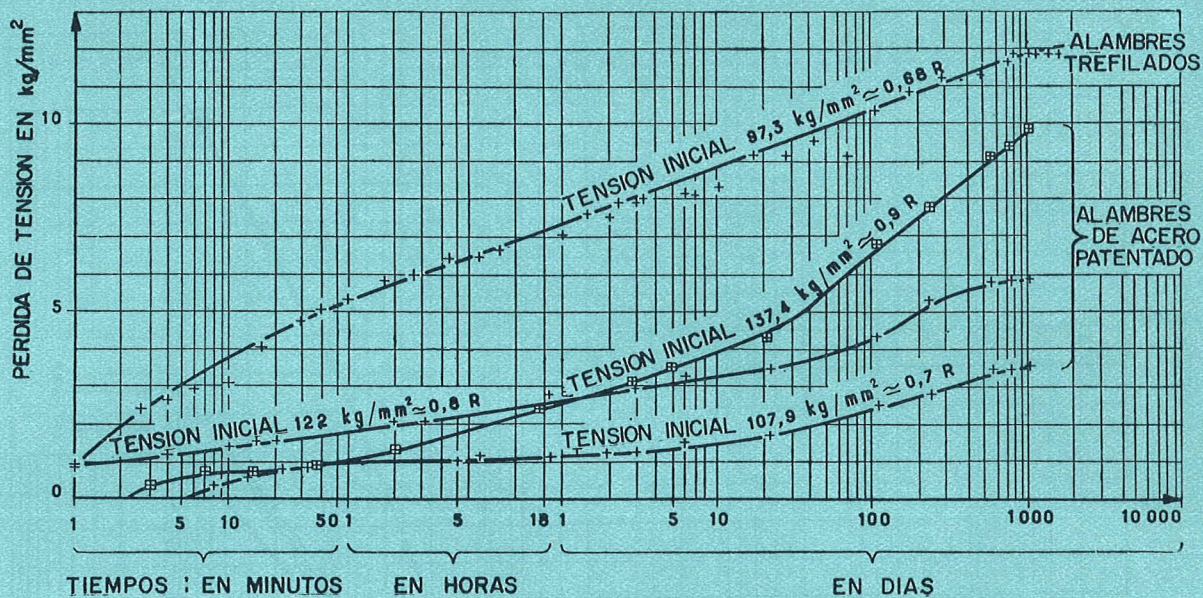
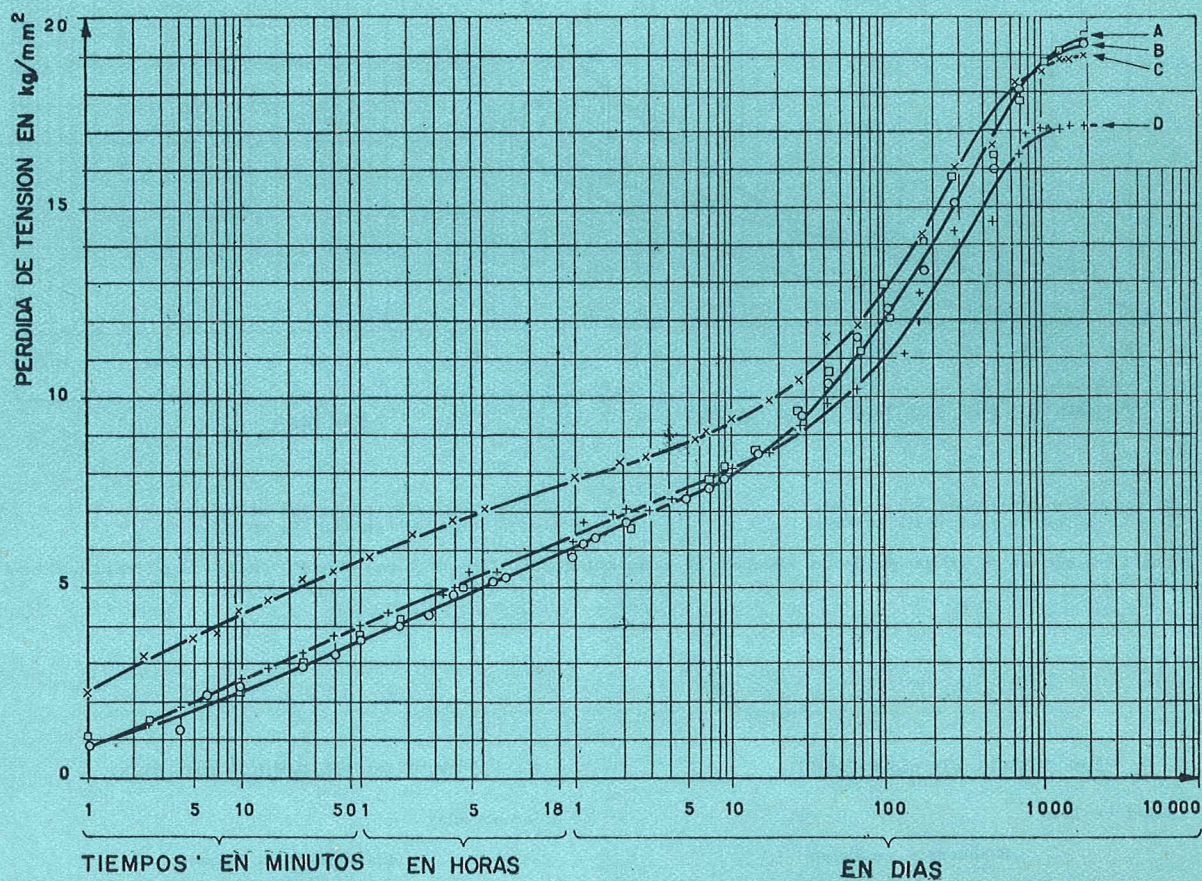


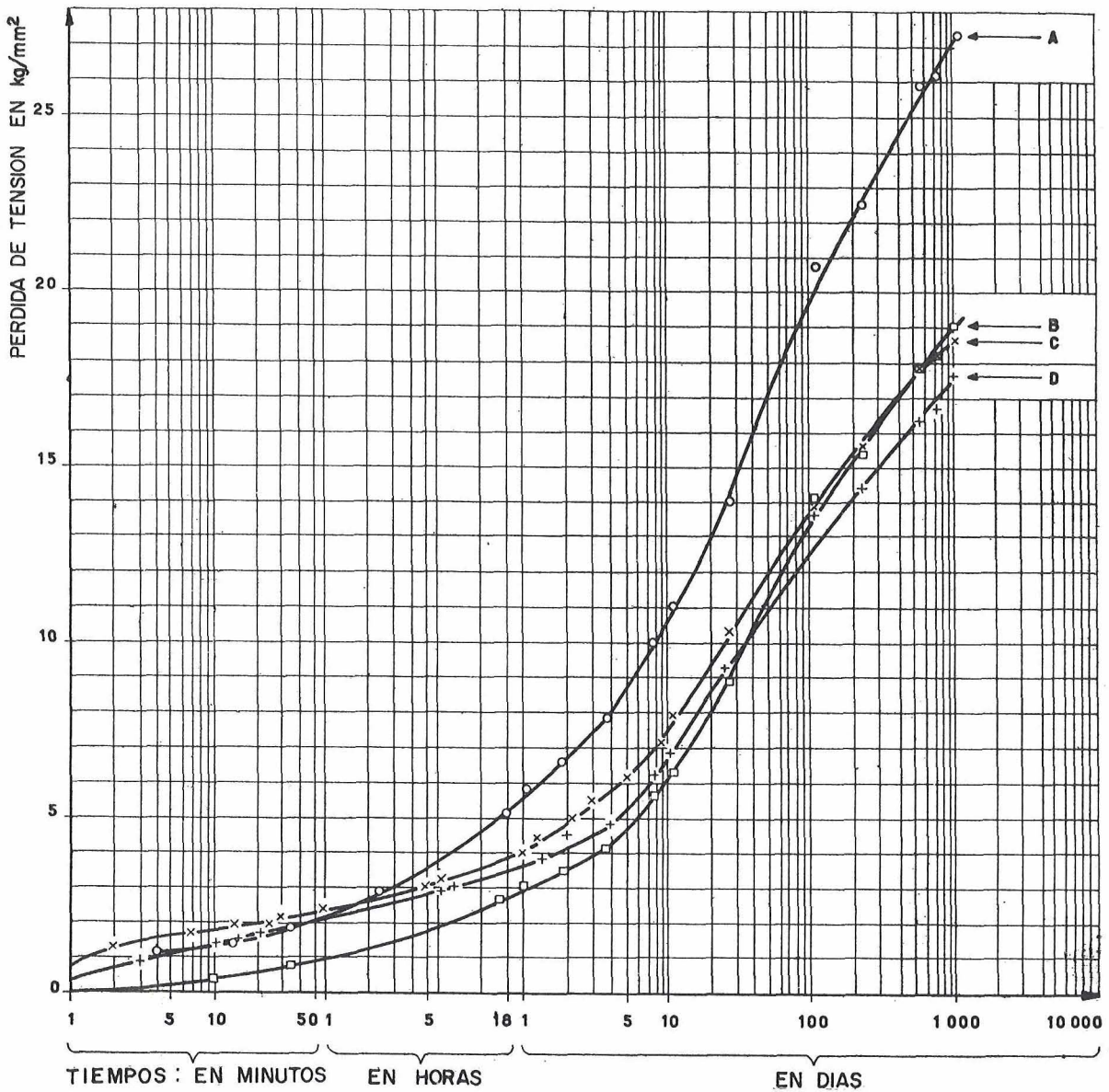
Fig. 3.—Diagrama de relajación de los alambres aislados.



A — n. hormigón (inicial  $170 \text{ kg/cm}^2$ ).  
 B — n. hormigón (inicial  $133 \text{ kg/cm}^2$ ).

C — n. hormigón (inicial  $101 \text{ kg/cm}^2$ ).  
 D — n. hormigón (inicial  $81 \text{ kg/cm}^2$ ).

Fig. 4.—Diagrama de relajación de los alambres trefilados.—Tensión inicial  $\approx 0,66 R$ .—Hormigón pretensado al año de edad.



A — n.º hormigón (inicial 211 kg/cm<sup>2</sup>).  
 B — n.º hormigón (inicial 149 kg/cm<sup>2</sup>).

C — n.º hormigón (inicial 116 kg/cm<sup>2</sup>).  
 D — n.º hormigón (inicial 92 kg/cm<sup>2</sup>).

Fig. 5.—Diagrama de relajación de los alambres de acero patentado.—Tensión inicial  $\approx 0,8 R$ .—Hormigón pretensado al mes de edad.

b) Resistencia en compresión:

c) Módulo de elasticidad dinámico:

Edad en días

Resistencia, en kg/cm<sup>2</sup>

|    |                               |
|----|-------------------------------|
| 3  | 400 (media de tres ensayos).  |
| 7  | 414 (media de cinco ensayos). |
| 27 | 433 (media de cinco ensayos). |
| 91 | 460 (media de cinco ensayos). |

Edad en días

Elasticidad, en kg/cm<sup>2</sup>

|    |                                   |
|----|-----------------------------------|
| 8  | 360.000 (media de cinco ensayos). |
| 22 | 378.000 (media de cinco ensayos). |
| 27 | 373.000 (media de cinco ensayos). |
| 91 | 371.000 (media de cinco ensayos). |

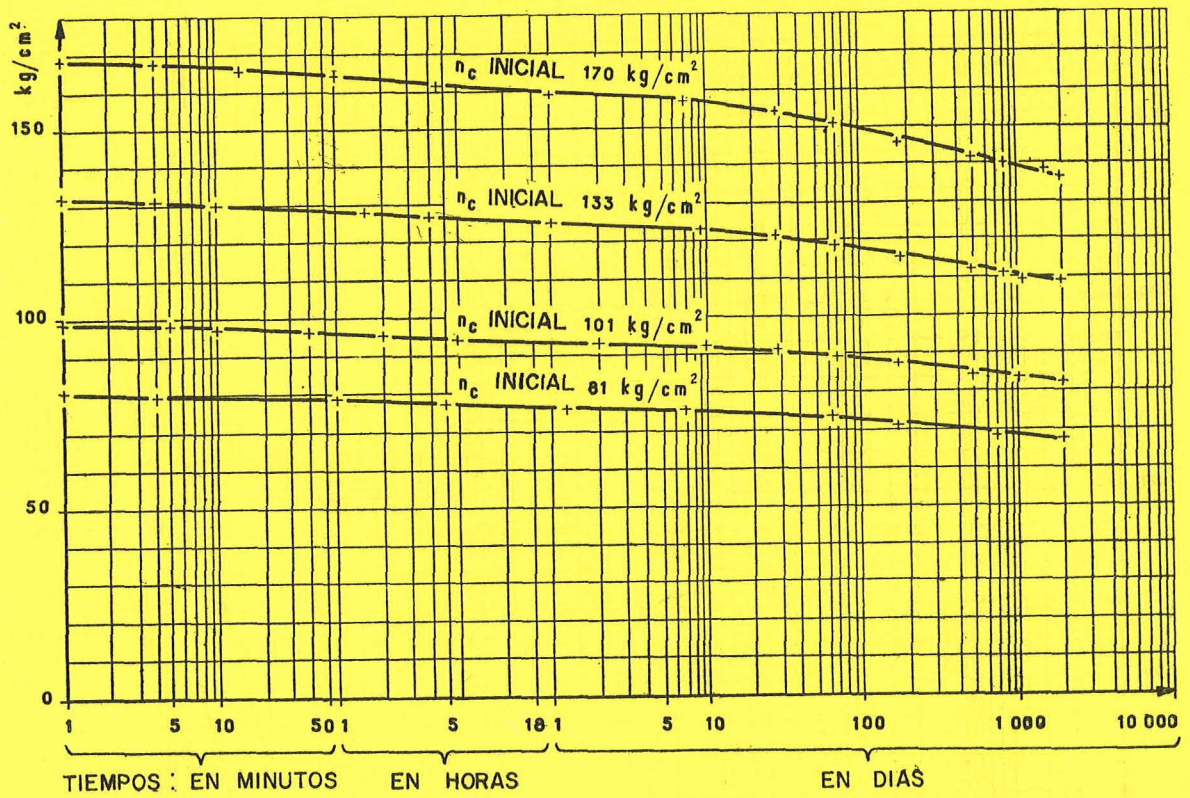


Fig. 6.—Variación de la tensión de compresión en el hormigón, en función del tiempo.—Hormigón cargado al año de edad, con alambres trejados.

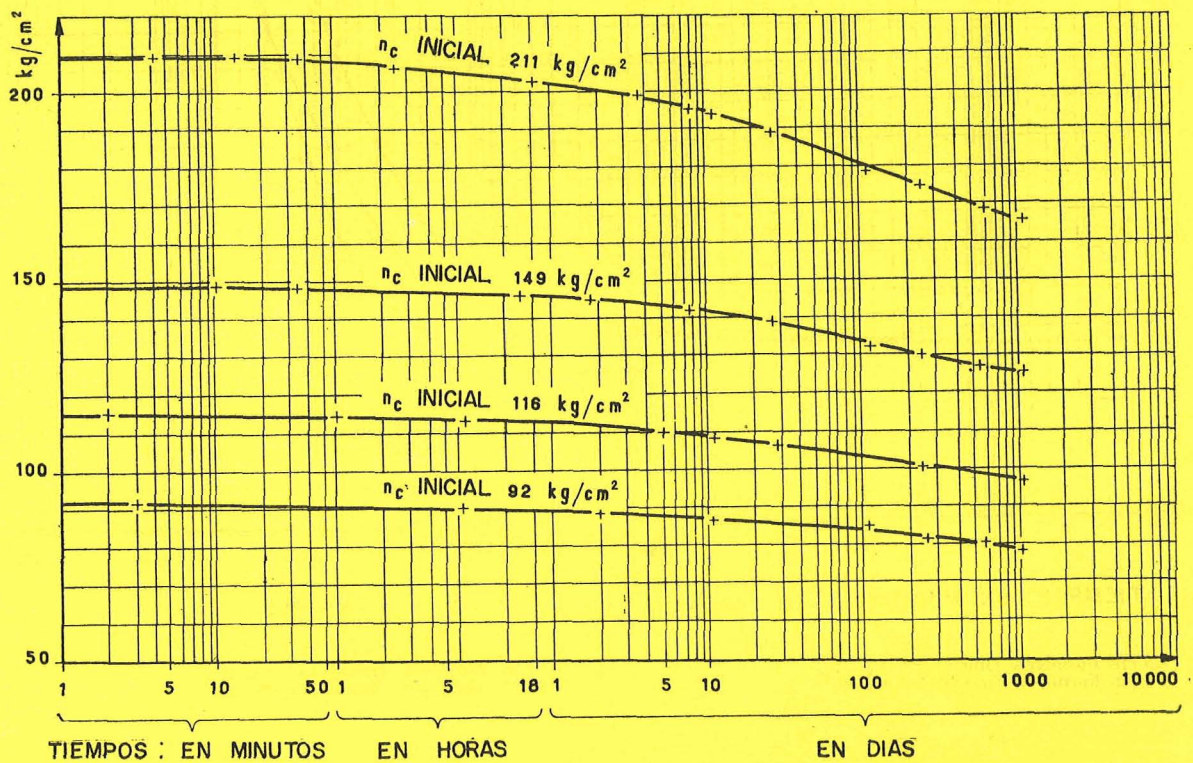
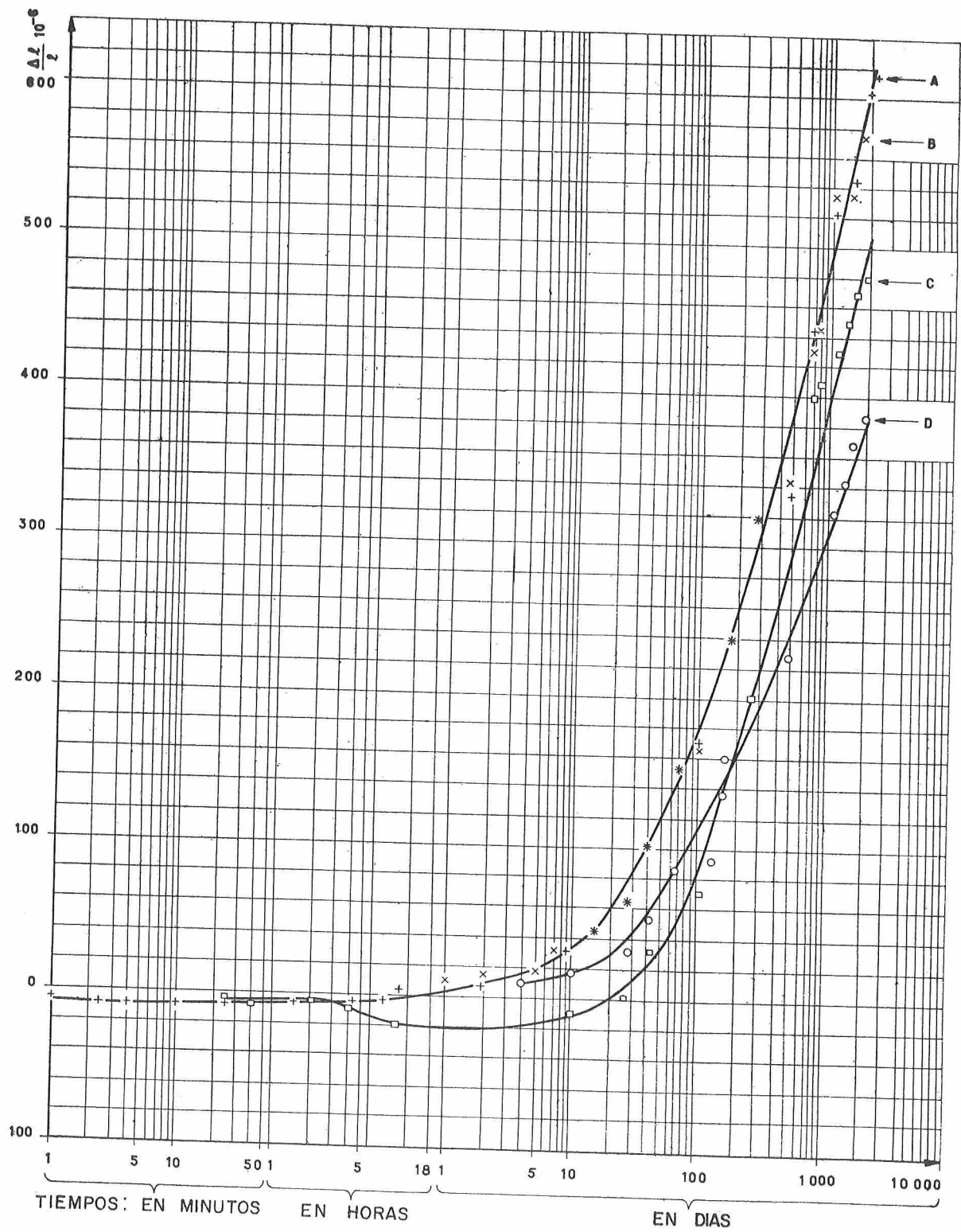


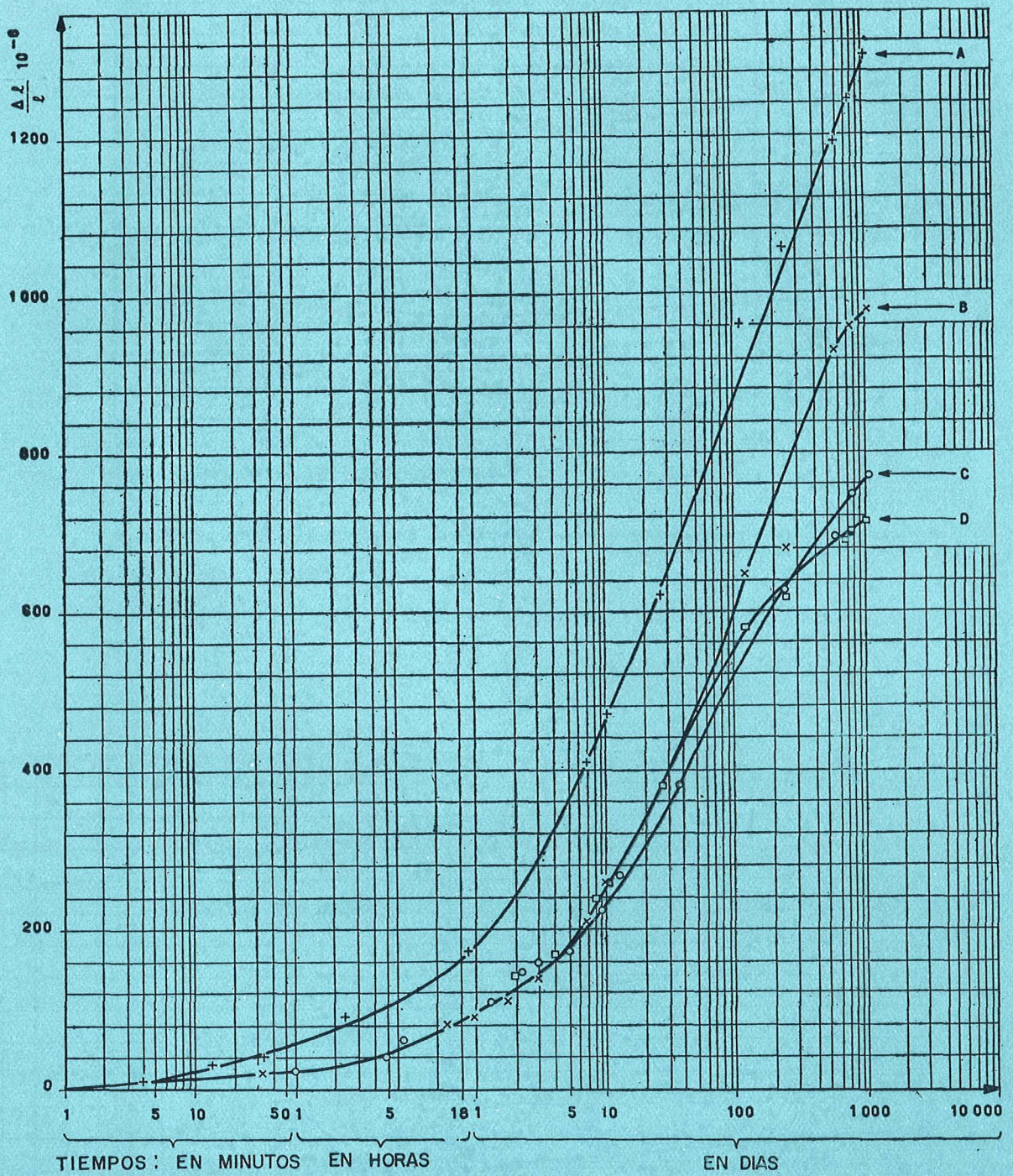
Fig. 7.—Variación de la tensión del hormigón, en función del tiempo.—Hormigón cargado al mes de edad, con alambres de acero patentado.



A — n.c. hormigón (inicial 170 kg/cm<sup>2</sup>).  
 B — n.c. hormigón (inicial 133 kg/cm<sup>2</sup>).

C — n.c. hormigón (inicial 101 kg/cm<sup>2</sup>).  
 D — n.c. hormigón (inicial 81 kg/cm<sup>2</sup>).

Fig. 8.—Diagrama de deformaciones lentas del hormigón.—Hormigón cargado al año de edad.



A — nc hormigón (inicial 211 kg/cm<sup>2</sup>).  
 B — nc hormigón (inicial 149 kg/cm<sup>2</sup>).

C — nc hormigón (inicial 116 kg/cm<sup>2</sup>).  
 D — nc hormigón (inicial 92 kg/cm<sup>2</sup>).

Fig. 9.—Diagrama de deformaciones lentas del hormigón (Deformación total). Hormigón cargado al mes de edad.

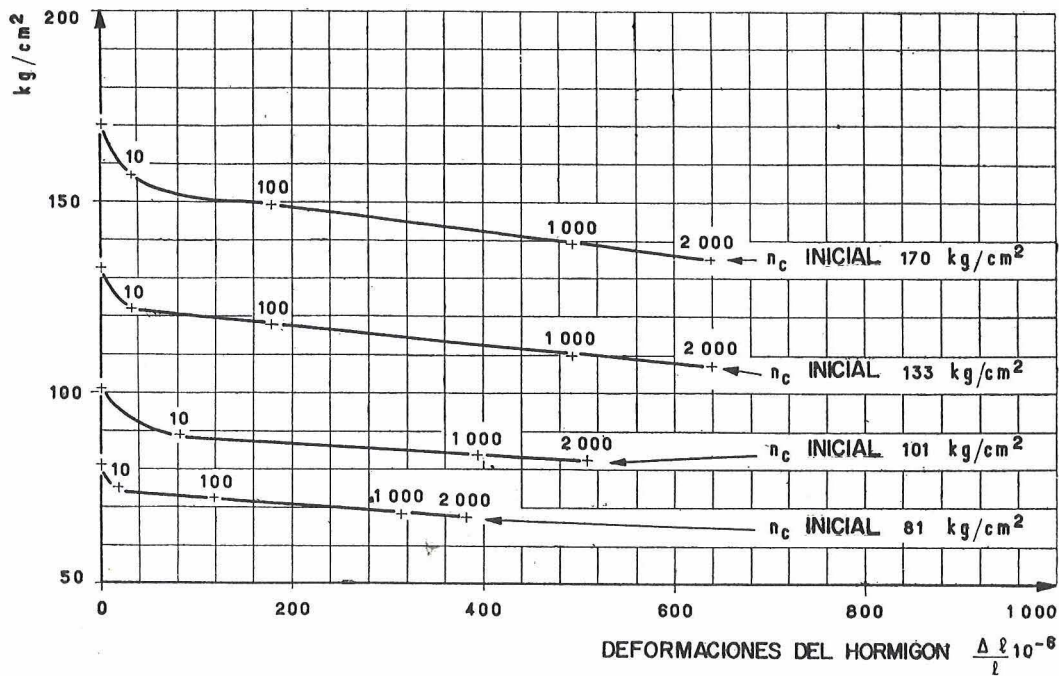


Fig. 10.—Diagramas de tensiones-deformaciones lentas, del hormigón.—Hormigón cargado al año de edad. Las cifras marcadas sobre las curvas indican días.

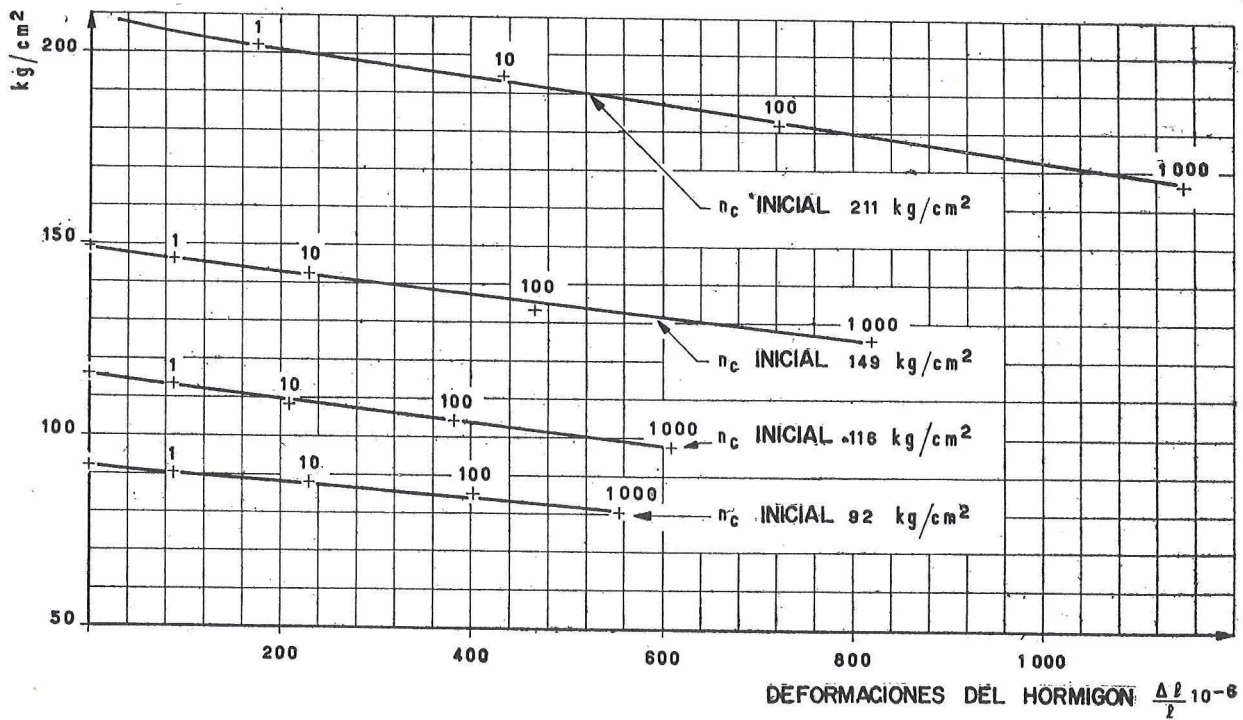


Fig. 11.—Diagramas de tensiones-deformaciones lentas del hormigón (deducida la retracción).—Hormigón cargado al mes de edad. Las cifras marcadas sobre las curvas indican días.



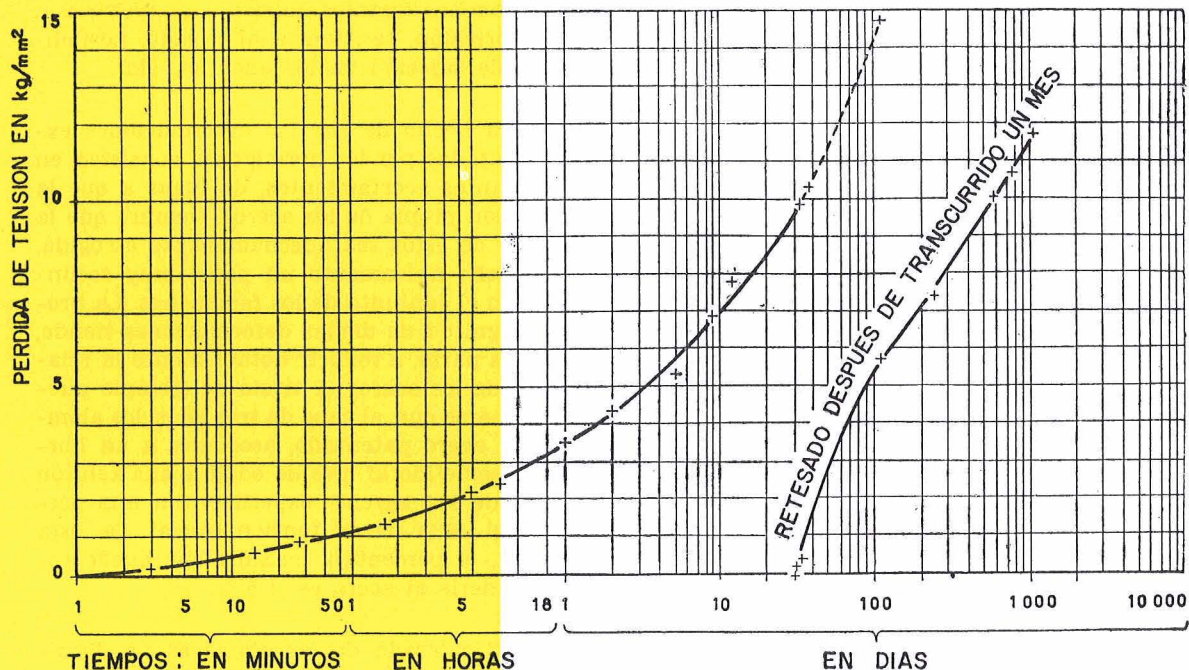


Fig. 12.—Diagrama de relajación de los alambres.—Hormigón pretensado al mes de edad.

$n_c$  inicial del hormigón: 116 kg/cm<sup>2</sup>.

$n_t$  inicial de los alambres: 120,4 kg/mm<sup>2</sup>  $\approx$  0,8 R.

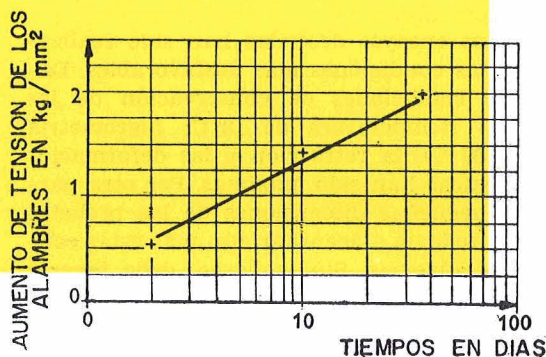


Fig. 13.—Hormigón armado con alambres de acero patentado.—1.º Conservado durante tres años en una nave con un grado de humedad igual al 60 %.—2.º Conservado después, durante treinta y siete días, en una nave con un grado de humedad igual al 95 %.

d) Retracción:

Edad en días      Retracción en  $\mu/m$  ó  $\frac{\Delta l}{l} \cdot 10^{-6}$

|     | Probeta 1 | Probeta 2 | Media |
|-----|-----------|-----------|-------|
| 1   | 0         | 0         | 0     |
| 3   | 100       | 88        | 34    |
| 7   | 225       | 169       | 197   |
| 21  | 362       | 338       | 350   |
| 27  | 394       | 363       | 379   |
| 91  | 525       | 500       | 513   |
| 151 | 558       | 538       | 548   |
| 251 | 566       | 546       | 556   |

Estabilización

Los valores correspondientes a 151 y 251 días han sido extrapolados a partir de los resultados anteriores obtenidos en el laboratorio.

En esta segunda serie de ensayos el programa establecido era el siguiente:

Al mes de edad, el hormigón se sometía a las siguientes tensiones: 92, 116, 149 y 211 kilogramos/centímetro cuadrado. Los 116 kg/cm<sup>2</sup>, corresponden, sensiblemente, al 28 % de la resistencia del hormigón, a los siete días. Los alambres se tesaban, en todos los casos, a 0,8 R, es decir, a 122 kg/mm<sup>2</sup>.

## Resultados de los ensayos

1.º En el diagrama de la figura 3 se representa la pérdida de tensión, en función del tiempo, de los alambres aislados, tesos inicialmente a 0,7 R, en el caso de alambres trellados, y al 0,7, 0,8 y 0,9 de R, en el caso de alambres de acero patentado.

2.º Los diagramas de las figuras 4 y 5 muestran la pérdida de tensión, en función del tiempo, de los alambres trellados embebidos en el hormigón pretensado al año de edad y de los alambres de acero patentado embebidos en el hormigón pretensado al mes de edad, respectivamente.

3.º Los diagramas de las figuras 6 y 7 representan las pérdidas de tensión, en función del

tiempo, en los hormigones cargados a las edades de un año y de un mes, respectivamente.

4.° Los diagramas de las figuras 8 y 9 indican, en función del tiempo, las deformaciones totales de los hormigones cargados a las mismas edades indicadas anteriormente.

5.° Las figuras 10 y 11 reproducen los diagramas tensiones-deformaciones lentas, de los hormigones. (Para los hormigones de un mes de edad se han descontado las deformaciones correspondientes a la retracción. En los hormigones de un año, se ha considerado que, a esta edad, la retracción ya ha terminado.)

6.° El diagrama de la figura 12 demuestra la influencia del retesado de las armaduras en las pérdidas de tensión en función del tiempo. (La curva de trazos corresponde a un segundo ensayo en el cual no se han retesado los alambres.)

En estos ensayos se han utilizado alambres de acero patentado, tesos inicialmente al 0,8 de la tensión  $R$  de rotura. La compresión inicial del hormigón era de  $116 \text{ kg/cm}^2$ .

7.° El diagrama de la figura 13 indica el aumento de tensión experimentado por los alambres cuando la higrometría del hormigón pasa del 60 al 95 %.

## Conclusiones

1.° Los alambres de acero patentado utilizados en la segunda serie de ensayos han demostrado unas características de relajación muy superiores a las de los alambres trefilados de la primera serie. Efectivamente, al cabo de los tres años, los primeros, tesos inicialmente a  $0,8 R$ , presentan una relajación del orden del 5 %, mientras que los alambres trefilados, tesos a  $0,7 R$ , dan, para el mismo plazo de tiempo, una relajación del orden del 12 %. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que la calidad de un acero depende, no solamente de sus características de relajación, sino también de

otros muchos factores, tales como: resistencia a la corrosión, resistencia al rayado, posibilidades de sujeción en los anclajes, etc.

2.° El hecho de que las deformaciones experimentadas por los hormigones consisten en importantes acortamientos, da lugar a que la relajación propia de los aceros, siempre que la calidad de éstos sea adecuadamente escogida, desempeñe únicamente un papel muy secundario en el conjunto de los fenómenos. La propia magnitud de dichas deformaciones tiende, por otra parte, a reducir notablemente la relajación de los aceros. A título de ejemplo puede indicarse que, al cabo de tres años, los alambres de acero patentado, asociados a un hormigón sometido al mes de edad a una tensión inicial de  $116 \text{ kg/cm}^2$ , experimentan una pérdida del 16 % de su tensión inicial. De esta pérdida, el porcentaje máximo que puede corresponderle al acero es el 5 %.

3.° El retesado de los alambres no disminuye sensiblemente las pérdidas de pretensado por relajación. El diagrama de la figura 12 indica, en efecto, que esta operación modifica bastante poco la marcha del ensayo.

4.° Los ensayos descritos han sido realizados en las condiciones más desfavorables. Dadas las condiciones de conservación de las probetas (temperatura de  $18^\circ \text{C}$ ; higrometría media, 60 %), la retracción y las deformaciones plásticas han sido máximas. Por otra parte, las pequeñas dimensiones de las probetas tienden todavía a acentuar aún más estas condiciones adversas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, en la práctica, es muy posible que se tropiece con casos en los que se presenten condiciones análogas a las indicadas.

La conclusión general que cabe destacar es la siguiente: Los aceros actualmente existentes en el mercado, permiten introducir importantes esfuerzos iniciales de pretensado en el hormigón. No obstante, a lo largo del tiempo, este esfuerzo inicial va disminuyendo a causa, principalmente, de la retracción y de la fluencia del hormigón. Esta situación sólo podrá mejorarse, de un modo efectivo y económico, aumentando la calidad del hormigón en lo que respecta a sus características de retracción y deformaciones lentas.

## **tuberías de hormigón pretensado de sección poligonal**

(Tomado de un artículo de R. Schjödtt,  
publicado en el número de agosto de 1959, de la revista «The Indian Concrete Journal».)

### S I N O P S I S

En Noruega se está empleando cada vez más un nuevo tipo de tubería de hormigón pretensado, de sección poligonal, que simplifica mucho las operaciones de pretensado, por lo que puede fabricarse con equipos, y en instalaciones, bastante más económicos que los necesarios para las tuberías de sección circular que hasta ahora se venían utilizando normalmente. En el presente artículo se indican algunos detalles sobre este nuevo tipo de tubería y su procedimiento de fabricación.

En la actualidad, la construcción de tuberías a presión para el abastecimiento de agua, obras hidráulicas, transporte de combustibles líquidos y gaseosos, etc., ha adquirido una gran importancia. El excepcional aumento de población que, en los últimos años, han experimentado las ciudades y el incremento, también muy considerable, del consumo de agua por habitante, han obligado a construir nuevas traídas de agua, cada vez de puntos más distantes. Los sistemas de riegos para hacer cultivables regiones que hasta ahora se consideraban como áridas o semi-áridas, se multiplican por todas partes. En la construcción de conductos para el transporte de gas y de petróleo, los Estados Unidos han invertido, solamente durante el año 1957, cerca de mil millones de dólares.

Resulta difícil formular un juicio definitivo sobre cuál es el material ideal para la construcción de las tuberías a presión. Indudablemente, el acero ha sido, hasta la fecha, el más utilizado; pero su conservación resulta, en general, muy costosa y las tuberías metálicas ofrecen poca resistencia a las cargas exteriores. Las tuberías de hierro fundido exigen menores gastos de conservación; pero para grandes diámetros y presiones elevadas resultan demasiado caras.

El hormigón es un material barato, y las tuberías con él construídas no tienen gasto alguno de conservación. Sin embargo, como es bien sabido, el hormigón posee una resistencia muy reducida a los esfuerzos de tracción.

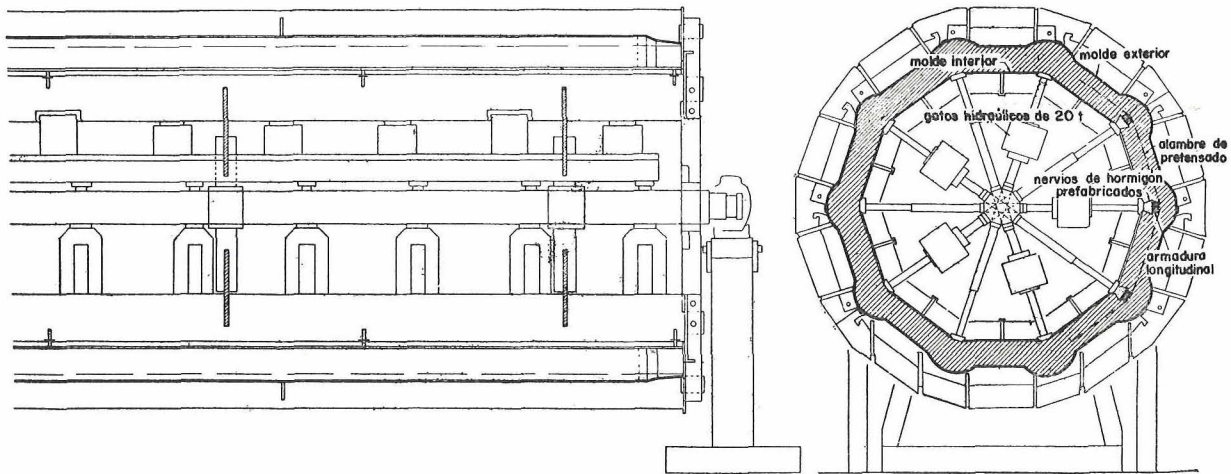


Fig. 1.—Secciones, longitudinal y transversal, de la máquina utilizada para la fabricación de las tuberías. El alambre de pretensado se sujeta, en los vértices del polígono, en unos redondos longitudinales que, a su vez, se apoyan sobre nervios de hormigón, prefabricados. La tensión se introduce mediante gatos hidráulicos de 20 toneladas, que empujan los alambres hacia el exterior.

La técnica del pretensado ha venido a resolver esta última dificultad, y gracias a ella, en la actualidad, es posible fabricar tuberías a presión a un precio realmente económico. No obstante, para conseguir una buena calidad, la fabricación de tuberías cilíndricas de hormigón pretensado exige una serie de dispositivos y equipos que hacen que los gastos de instalación de las fábricas destinadas a su producción sean bastante elevados. El transporte de las piezas desde una fábrica central fija a los distintos lugares en que hayan de utilizarse, supone siempre un gasto considerable que sólo puede reducirse con el establecimiento de una planta provisional de fabricación en las proximidades de la obra. En el caso de tuberías circulares, sin embargo, esta solución resulta frecuentemente impracticable, a no ser que se trate de contratos de gran envergadura, a causa del elevado coste de las instalaciones.

Por otra parte, las tuberías circulares pretensadas están constituidas, generalmente, por una gruesa capa interior de hormigón alrededor de la cual se enrolla el alambre de pretensado, el cual, a su vez, se encuentra protegido por otra delgada capa exterior de mortero. Esta falta de homogeneidad da lugar a que, frecuentemente, se desprenda el recubrimiento exterior, con el consiguiente peligro de corrosión, al quedar los alambres al descubierto.

### **Las tuberías "Polygon"**

Tratando de encontrar un procedimiento que permitiese fabricar tuberías de hormigón pretensado en instalaciones sencillas y económicas, el autor del presente trabajo ideó un nuevo tipo de pieza, de sección poligonal, en la que, además, se han eliminado los defectos anteriormente mencionados al hablar de las tuberías circulares. Este nuevo tipo (designado con el nombre de «Polygon»), así como las instalaciones necesarias para su fabricación, han sido ya ampliamente experimentados a lo largo de un período de más de tres años de continua utilización.

Como puede verse en la figura 1, en la tubería «Polygon» los alambres de pretensado forman un polígono sujeto en sus vértices por los redondos que constituyen la armadura longitudinal, la cual, a su vez, se apoya sobre unos pequeños nervios, prefabricados, de hormigón.

Estos nervios son los que transmiten a los alambres el esfuerzo de pretensado originado por unos gatos hidráulicos, interiores. El estudio de la distribución correcta de tensiones en los vértices del polígono, teniendo en cuenta las coacciones mutuas que en ellos se produce entre alambres, nervios, gatos y, posteriormente, el hormigón vertido «in situ», que constituye la pared de la tubería, planteó inicialmente una serie de complicados problemas que han sido resueltos, por último, de un modo totalmente satisfactorio.

Dada la forma poligonal de la sección, la entrada del agua en la tubería origina un momento flector en las caras del polígono, con las consiguientes tensiones de tracción. Sin embargo, bajo la presión de servicio, estas tracciones quedan eliminadas gracias a la excentricidad de los alambres de pretensado respecto al plano medio del espesor de la pared. En efecto, esta excentricidad da lugar a que se produzca un momento de signo contrario al creado por la carga de agua. En los ensayos a presión, realizados, generalmente, bajo esfuerzos iguales a 1,2 veces los correspondientes a carga de agua más golpe de ariete, aparecían unas pequeñas tracciones como consecuencia del momento flector producido. Pero, al contrario de lo que ocurre en el caso de tuberías de sección circular, estas tracciones actúan sólo sobre la mitad del espesor de la pared, y, por consiguiente, son perfectamente tolerables. Posteriores ensayos confirmaron de un modo rotundo la exactitud de esta hipótesis.

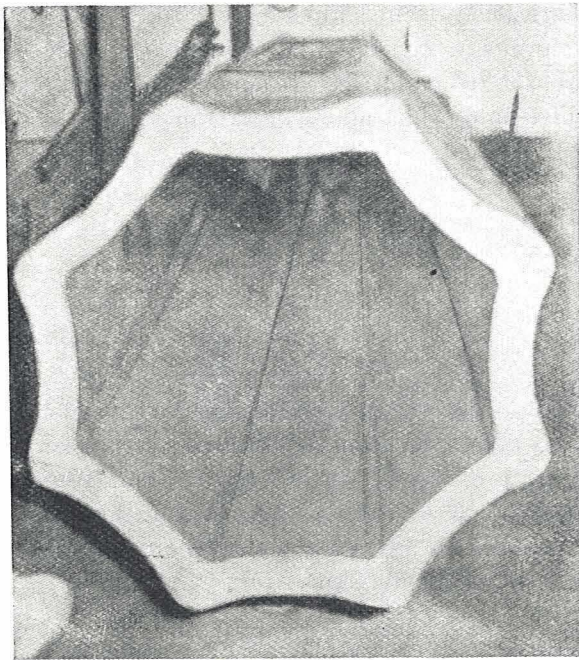


Fig. (A).—Modelo de la tubería tipo «Polygon», de 80 cm de diámetro. La sección poligonal de la pieza simplifica las operaciones de pretensado, lo que permite reducir el coste de las instalaciones necesarias para la fabricación de las piezas.

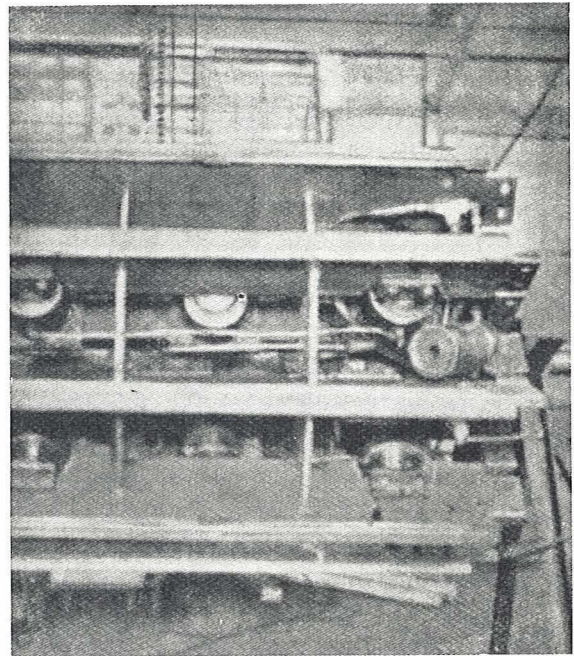


Fig. (B).—Una vista de la máquina utilizada para fabricar este tipo de tubería. Se ha retirado el molde exterior con el fin de que puedan apreciarse los gatos hidráulicos, de acción radial para el tesado de la armadura transversal.

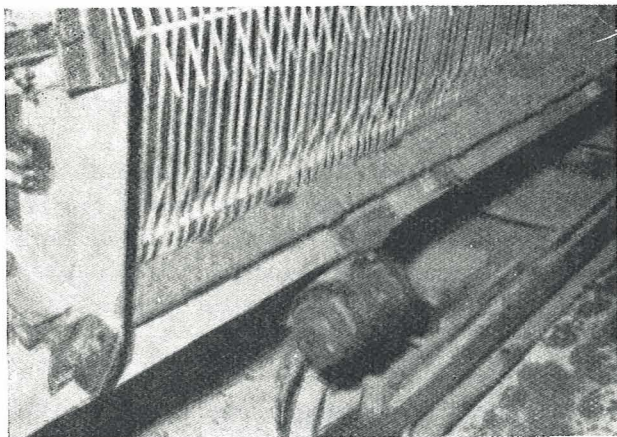


Fig. (C).—Hormigonado y vibrado de la cara inferior de la tubería. El molde exterior se va colocando a medida que avanza el hormigonado.

El proyecto del equipo preciso para la fabricación de este tipo de tuberías, partiendo de la base de que se quería que fuese económico, seguro, de gran duración y no demasiado complicado, planteó también numerosos problemas. La instalación era necesario que permitiese el fácil y rápido enrollamiento de los alambres de pretensado y que fuese capaz de producir un esfuerzo de pretensado de la magnitud exactamente requerida en cada caso, esfuerzo que, además, habría de mantenerse constante durante el endurecimiento del hormigón.

Por otra parte, el vertido y vibrado del hormigón tenía que poder hacerse de un modo fácil y eficaz.

Puede decirse que todos estos requisitos los cumplen, de un modo totalmente satisfactorio, los dispositivos ideados. Solamente tres hombres, trabajando durante cuatro horas, bastan para realizar todas las operaciones necesarias para la fabricación de una tubería de 4,5 m de longitud. El hormigón se vibra primero y revibra posteriormente, con el fin de garantizar la obtención de un material denso e impermeable. Un espesor de pared de 7,5 cm, por ejemplo, es así suficiente para resistir una presión de agua equivalente a una altura de 200 m sin que por el exterior aparezca el menor signo de humedad.

## Las juntas

Los extremos de cada trozo de tubería «Polygon» son de sección exterior circular con el fin de poder utilizar el mismo tipo de junta que en las demás tuberías de hormigón pretensado. Una futura posibilidad, de gran interés, es la de llegar a conseguir las tuberías sin juntas, mediante la fabricación continua, «in situ», de las sucesivas piezas. En este caso, la armadura longitudinal de pretensado sería también continua, cosa que no ofrece ninguna dificultad en este tipo de tubería, tanto si es prefabricada como si se construye «in situ».

Para la explotación de este nuevo sistema de fabricación se ha formado en Oslo una Sociedad encargada de conceder la necesaria autorización de empleo de esta patente, tanto en Noruega como en los demás países. Asimismo, facilita cuanta información se le solicite sobre el particular y el correspondiente asesoramiento técnico.

## **postes de hormigón pretensado para el tendido de líneas eléctricas**

(Tomado de un artículo publicado por R. P. Mhatre en la revista «The Indian Concrete Journal», de agosto de 1959.)

Las principales características que deben reunir los postes para el tendido de líneas eléctricas son: gran duración, bajo coste inicial (incluyendo los gastos de transporte y colocación) y mínimos gastos de conservación.

Hasta que no se empezaron a utilizar los postes prefabricados de hormigón armado o pretensado, el tipo más corriente era el poste metálico, tubular o constituido por un perfil laminado. Esta clase de postes era muy popular, debido a la facilidad de su transporte y colocación, y por ello, cuando se intentó introducir el empleo de los postes de hormigón, fue necesario vencer una fuerte resistencia por parte de los consumidores. En el caso de piezas de hormigón armado, la relativa facilidad con que se dañan durante su transporte y colocación influyó también en las preferencias del mercado por los postes metálicos.

Los postes de hormigón pretensado presentan innegables ventajas respecto a los de hormigón armado. Su peso es considerablemente menor y, gracias al pretensado, resultan más resistentes durante su transporte y colocación. Por todo ello, se han ido haciendo cada vez más populares y reemplazando, gradualmente, a los postes metálicos. Solamente la "Hindustan Housing Factory" ha suministrado, durante los últimos tres años, más de 50.000 postes para el tendido de diversas nuevas líneas eléctricas.

Los postes de madera han sido también muy utilizados a causa de su pequeño coste inicial y la facilidad de su transporte. Pero son de poca duración y de caro mantenimiento, por lo que, a la larga, no resultan nada económicos. Por otra parte, es difícil obtener postes de madera de más de 9 m de longitud, lo cual limita bastante su campo de aplicación.

### **Ventajas de los postes de hormigón pretensado**

Las principales ventajas, tanto técnicas como económicas, que ofrecen los postes de hormigón pretensado pueden resumirse en la forma siguiente:

1. Son más duraderos que los de madera, metálicos o de hormigón armado. Contrariamente a lo que a estos últimos les ocurre, en los pretensados no existen fisuras permanentes y, por consiguiente, el peligro de corrosión de las armaduras es nulo.
2. Los postes de hormigón pretensado pesan bastante menos que los de hormigón armado y, por lo tanto, son más fáciles de transportar y colocar.
3. Las propiedades aislantes del hormigón hacen que los postes pretensados ofrezcan más seguridad que los metálicos para el tendido de líneas de alta tensión.
4. Los postes pretensados proporcionan una gran economía en el consumo de acero. Según se deduce de la tabla I, el ahorro de acero varía entre el 85 y el 90 %, en comparación con los metálicos, y entre el 60 y el 75 % respecto a los de hormigón armado.
5. Los gastos de conservación de los postes pretensados son casi nulos. En cambio, cuando se usan postes metálicos es preciso pintarlos periódicamente, lo que supone una pesada carga económica.
6. Los postes de hormigón pretensado no requieren ningún tipo de cimentación especial de hormigón. Por la elevada calidad del hormigón con el que se fabrican, resultan inmunes a la acción agresiva de las sales o cualquier otra impureza que pueda contener el terreno. Esta circunstancia supone también una notable economía en el coste final del poste.
7. Finalmente, el coste de los postes de hormigón pretensado puede reducirse considerablemente normalizando y simplificando sus tipos, con lo que se logra una importante economía en el coste de los moldes.

Realmente, los postes de hormigón pretensado son más difíciles de manejar y colocar que los metálicos. Pero esta dificultad no es insuperable. La experiencia de los últimos años ha demostrado que un poco más de cuidado en la carga, descarga, transporte y colocación de los postes pretensados basta para eliminar muchos de los problemas que estas operaciones plantean.

**TABLA I.—Cantidades de cemento y acero que requieren los postes tipo 36/600 construídos con diferentes materiales.**

| MATERIAL             | METALICOS |           | Hormigón armado | HORMIGON PRETENSADO |             |              |            |
|----------------------|-----------|-----------|-----------------|---------------------|-------------|--------------|------------|
|                      | Tipo raíl | Tubulares |                 | Cuadrado            | Rectangular | Sección en I | Vierendeel |
| Cemento (kg) (*) ... | 30,5      | 30,5      | 264             | 244                 | 193         | 178          | 157,5+30,5 |
| Acero (kg) ... .. .  | 490       | 186       | 113,5           | 54,5                | 42          | 31           | 31         |

(\*) Los postes metálicos y los de hormigón pretensado tipo Vierendeel exigen una cimentación de hormigón en la que normalmente, se consumen 30,5 kg de cemento.

El transporte y la colocación de los postes en zonas rurales resulta más sencillo empleando carretones especialmente proyectados, con una pequeña plataforma giratoria sobre el juego delantero de ruedas y utilizando un cabrestante para levantar y colocar las piezas. En las zonas urbanas en las que, en general, existen buenas carreteras resulta más adecuado el empleo de tractores con remolques-plataformas, con juegos de ruedas independientes y equipados con pequeñas grúas. En definitiva, puede afirmarse que si parte de la economía que proporciona el empleo de los postes de hormigón pretensado se invierte en la preparación de los adecuados dispositivos de transporte y elevación, estas operaciones pueden organizarse de tal forma que la colocación de los postes resulte una labor rápida y sencilla.

### **Fabricación**

Los postes de hormigón pretensado se fabrican, generalmente, en las grandes bancadas continuas características de las industrias dedicadas a la prefabricación en gran escala de elementos de hormigón con armaduras pretesas. Los postes así obtenidos resultan económicos, si el lugar en que hayan de emplearse está situado a menos de 500 km de la fábrica.

El proceso de fabricación es el siguiente: Se empieza por colocar y tesar los alambres de acero de alta resistencia que forman la armadura, sujetándolos en robustos estribos situados en los extremos de los bancos de fabricación, que suelen tener de 90 a 120 m de longitud. En general, los moldes con fondo de madera y costeros metálicos dan resultados muy satisfactorios. El hormigón debe ser de muy buena calidad, con una resistencia en compresión a los veintiocho días de 530 kg/cm<sup>2</sup>. Cada fábrica debe poseer un pequeño laboratorio para la periódica comprobación de la calidad del hormigón. La adecuada dosificación de los áridos y el empleo de vibradores de alta frecuencia permite reducir al mínimo la relación agua-cemento y obtener hormigones muy compactos. Si las masas contienen la suficiente cantidad de áridos finos, las superficies exteriores de los postes resultan perfectamente terminadas y no requieren ningún tratamiento posterior. Todos los días deben ensayarse probetas, fabricadas con las mismas masas utilizadas en los postes, para comprobar la calidad del hormigón. En general, deberá mantenerse una estrecha vigilancia sobre todas las operaciones de fabricación con el fin de conseguir una producción de elevada y uniforme calidad.

Una vez vertido el hormigón en los moldes, se deja endurecer hasta que alcance una resistencia de unos 350 kg/cm<sup>2</sup> (normalmente, dos o tres días). Entonces se cortan los alambres, con lo cual se transmite al hormigón el esfuerzo de pretensado. Se retiran los costeros de los moldes y, mediante grúas se transportan las piezas hasta unos remolques que las trasladan a las zonas de almacenaje. Mientras tanto, se limpian los costeros de los moldes para dejarlos en perfectas condiciones para su reutilización.

Con el fin de asegurar la uniformidad de la calidad de los postes, es normal someter a ensayo uno, al menos, de cada doscientos postes fabricados.

### **Cálculo**

Hasta ahora se vienen fabricando cuatro tipos principales de postes, para distintas alturas y cargas de trabajo. Estos tipos son los siguientes: cuadrado, rectangular, de sección en I y el tipo Vierendeel. Los de sección cuadrada se emplean, generalmente, en los puntos de cambio de dirección de la línea. Los postes rectangulares, de sección en I y los Vierendeel han sido proyectados para resistir toda la carga de trabajo según el eje mayor de su sección, y el 25 % de dicha carga según el eje menor. Se entiende, a estos efectos, como eje mayor aquel con relación al cual posee la sección un mayor momento resistente. El poste se coloca siempre de forma que este eje mayor coincida con la dirección de la línea que soporta.

Desde el punto de vista del transporte, manejo y colocación, los postes de Sección en I han demostrado un comportamiento tan satisfactorio como los rectangulares y, en consecuencia, son estos dos tipos los que resultan más recomendables para su empleo en zonas rurales en las cuales el transporte suele presentar dificultades. En las zonas urbanas, en las que el transporte es más fácil, el tipo Vierendeel ofrece mayores ventajas.

Todos estos tipos se fabrican en longitudes totales que varían entre 8,5 y 12 m y para cargas máximas comprendidas entre 90 y 270 kg.



Para cargas de trabajo más elevadas (de 270 a 550 kg) conviene emplear postes compuestos, constituidos por elementos pretensados independientes que, una vez colocados "in situ", se enlazan entre sí mediante riostras horizontales. De esta forma se facilita su transporte y montaje.

En las figuras 1 a 5 se representan los esquemas de los diferentes tipos de poste. Sus características principales son las que, resumidamente, se indican a continuación:

**Hormigón:**

Dosificación de cemento ... .. 370-400 kg/m<sup>3</sup>.

**Resistencia mínima del hormigón en compresión:**

A los veintiocho días ... .. 530 kg/cm<sup>2</sup>.

En el momento del pretensado ... .. 350 kg/cm<sup>2</sup>.

**Alambres de pretensado:**

Mínima resistencia a rotura en tracción,  $R_{ar}$  ... .. 17.000 kg/cm<sup>2</sup>.

Límite elástico mínimo, correspondiente al 0,2 % .. 85 % de  $R_{ar}$ .

Alargamiento mínimo en rotura, medido sobre una base igual a 25 cm ... .. 4 %.

Tolerancia en el diámetro ... ..  $\pm 2$  %.

Estado superficial ... .. No presentarán defectos superficiales ni óxido no adherido. Se recomienda el empleo de alambres corrugados.

Alambres estirados en frío ... .. No se permite soldarlos.

**Tensiones admisibles:**

Tensiones admisibles en el hormigón bajo las cargas de trabajo:

En compresión ... .. 0,40 de la resistencia, en probeta cúbica, a los veintiocho días.

En tracción ... .. 17,5 kg/cm<sup>2</sup>.

Tensiones de tracción admisibles en los alambres:

Tensión inicial ... .. 85 % de  $R_{ar}$ .

Tensión final (bajo cargas de servicio) ... .. 65 % de  $R_{ar}$ .

**Coefficiente de seguridad a fisuración:**

$M_f = 1,2$  veces la carga de trabajo, respecto al eje mayor y el 25 % de dicho producto respecto al eje menor.

**Coefficiente de seguridad a rotura:**

$M_r = 2,5$  veces la carga de trabajo, respecto al eje mayor y el 25 % de dicho producto respecto al eje menor.

Las aristas de la sección transversal de los postes se matan, achaflanándolas, para evitar roturas durante el transporte. La tolerancia en las dimensiones longitudinales es de  $\pm 1,3$  cm, y en las transversales, de 0,16 cm.

La longitud de empotramiento del poste en el terreno y las dimensiones y separación de los orificios para sujeción de las crucetas de los aisladores se fijan de acuerdo con las indicaciones del peticionario. Generalmente, junto con los postes, el propio fabricante suele suministrar las crucetas necesarias para la colocación de los aisladores, o de las pantallas de iluminación, según se destinen al tendido de líneas eléctricas o como postes de alumbrado.

**Manejo, transporte y colocación de los postes**

Los postes de hormigón armado ordinario están expuestos a la fisuración, durante su manejo y colocación, a causa de la débil resistencia del hormigón en tracción. En los postes pretensados, por el contrario, no existe este peligro, ya que sus secciones son más ligeras y resisten mucho mejor las tracciones. A pesar de ello, es necesario tratarlos con más cuidado que si se tratase de postes metálicos. A continuación se indican las instrucciones que deben seguirse en el transporte y colocación de los postes de hormigón pretensado.

1. Los postes de hormigón pretensado deben manejarse siempre con el eje mayor de su sección transversal en posición horizontal.

2. Al descargarlos de los remolques o vagones utilizados para su traslado deberán manejarse cuidadosamente y en ningún caso podrán lanzarse desde ellos al suelo como, en algunas ocasiones, se hace con los postes metálicos.

3. Los postes se almacenarán sobre una superficie perfectamente lisa y nivelada o, en caso contrario, sobre apoyos aislados situados a 1,80 m entre ejes.

4. Al colocar los postes se situarán con el eje mayor de su sección transversal paralelo a la dirección de los alambres que constituyen el tendido de la línea que soportan. En el caso en que dicha línea se desvíe más de 15°, deberán utilizarse postes de sección cuadrada o disponerse los adecuados vientos de arriostamiento.

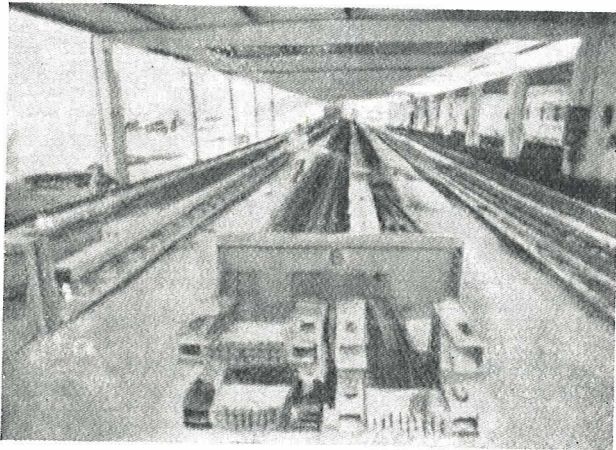


Fig. (A).—Bancada de fabricación en una factoría de postes de hormigón pretensado. En primer plano puede verse uno de los estribos de anclaje de las armaduras.

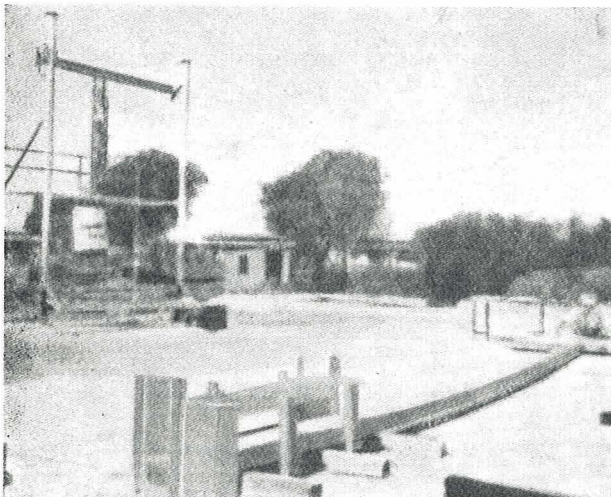


Fig. (B).—Uno de los postes de hormigón pretensado, sometido a ensayo. Como garantía de la uniformidad de la fabricación y de su calidad, se ensaya uno por lo menos de cada doscientos postes fabricados.

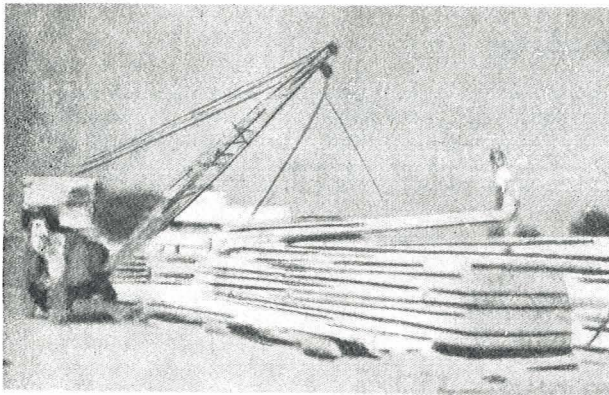


Fig. (C).—Apilado de postes de hormigón pretensado, de sección en I, en la zona de almacenaje. Cuando el terreno no está perfectamente liso y nivelado, deben colocarse los postes sobre apoyos aislados situados a 1,80 m entre ejes.

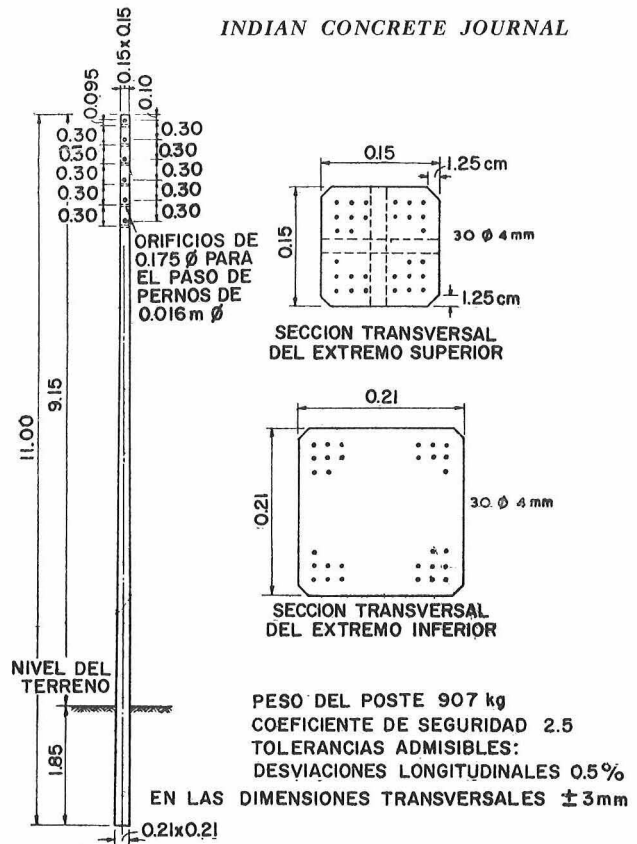


Fig. 1.—Detalle de uno de los postes de hormigón pretensado, de sección transversal cuadrada, tipo 36/400.

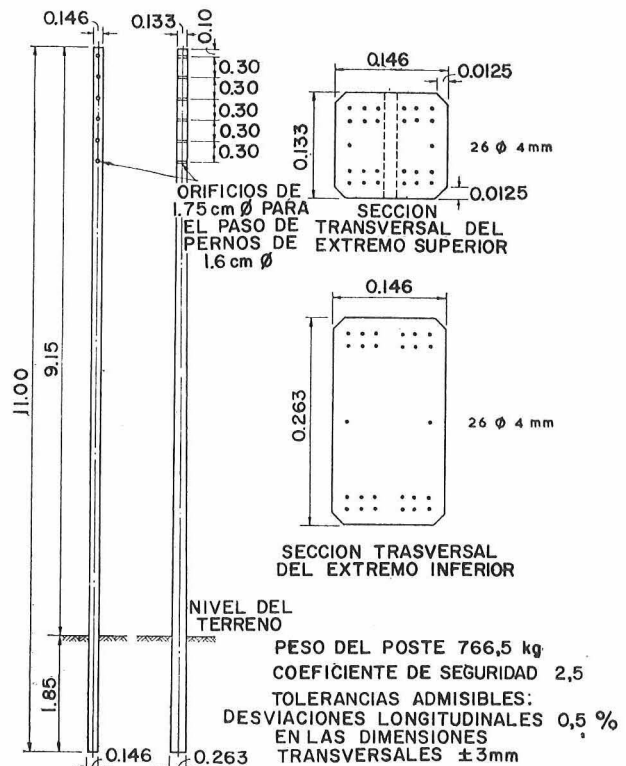


Fig. 2.—Detalle de uno de los postes de hormigón pretensado, de sección transversal rectangular, tipo 36/400.



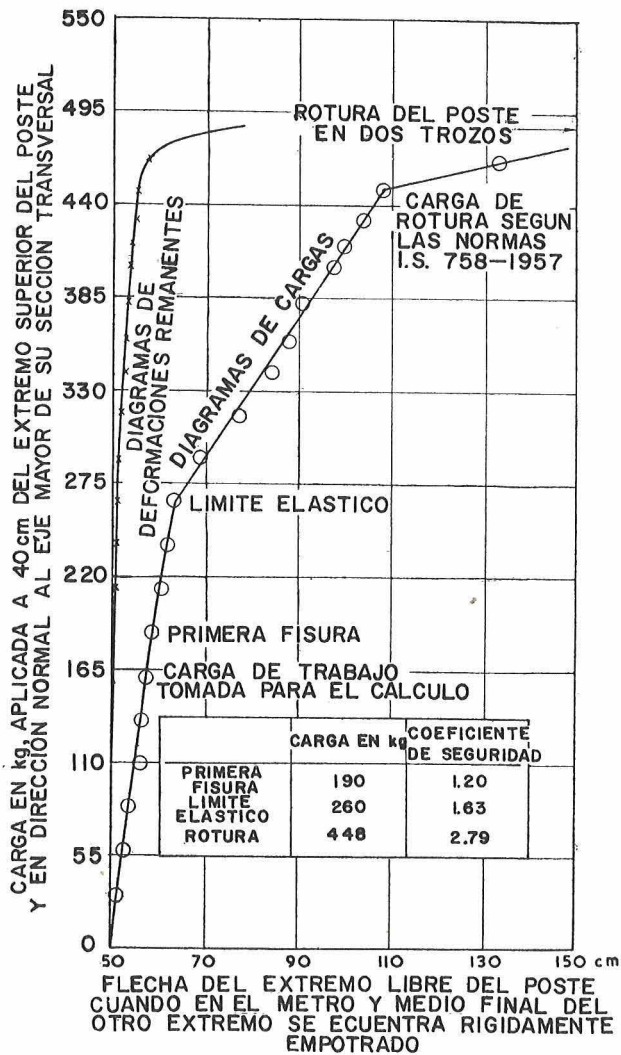


Fig. 6.—Resultados obtenidos en el ensayo de un poste de hormigón pretensado, de sección en I, del tipo 30/350.

Para cargas de trabajo más elevadas, comprendidas entre 270 y 540 kg, pueden utilizarse postes compuestos constituidos por elementos independientes, pretensados, que se enlazan «in situ» mediante riostras laterales.

Cuando no existen las instalaciones adecuadas para la construcción de los postes en una sola pieza, pueden utilizarse pequeños bloques de hormigón, de unos 90 cm de longitud, que posteriormente se solidarizan entre sí mediante un postensado, para formar el poste. La economía que puede proporcionar este tipo de poste depende, esencialmente, de que se disponga o no de un tipo de anclaje barato y seguro.

Para longitudes superiores a los 12 m resulta más económico emplear postes del último tipo indicado, es decir, constituidos por elementos independientes, solidarizados entre sí mediante el postensado. Ello exige, naturalmente, utilizar anclajes adecuados y de pequeño coste.

Si se considera la gran economía de acero que puede alcanzarse utilizando postes de hormigón pretensado, y su superior comportamiento, resulta evidente que deberían emplearse cada vez más en sustitución de los postes metálicos.

En la India, como en muchos otros países, existe un amplio mercado consumidor en potencia de elementos prefabricados de hormigón, con armaduras pretensas, en la industria de la construcción, tanto para forjados de cubiertas y pisos, como en forma de grandes vigas para estructuras industriales, pilotes, vigas para puentes, etc., sin contar los postes para el tendido de líneas eléctricas. Por todo ello se considera que el establecimiento de un cierto número de industrias de esta clase, adecuadamente distribuidas por el país, puede constituir un factor muy importante y beneficioso para el necesario desarrollo industrial de la nación.

5. El pozo para el empotramiento del poste en el terreno deberá ser lo suficientemente grande para que el poste entre justo en él. Para la construcción de estos pozos suele utilizarse, con muy buenos resultados, un trépano de perforación del diámetro adecuado.

6. La cimentación del poste debe quedar perfectamente consolidada. Cuando las condiciones del terreno son deficientes puede emplearse hormigón para sujetar el poste.

7. Es conveniente, una vez colocado el poste, someterlo a un ensayo para ver si ha quedado perfectamente sujeto y evitar que pueda caerse y partirse si la cimentación no ha sido adecuadamente realizada.

Una vez colocado el poste y comprobado que se encuentra bien cimentado, no es necesario ya adoptar más precauciones ni nuevas medidas para su perfecta conservación. La elevada calidad del hormigón utilizado en su fabricación le hace inmune a las condiciones climáticas o del terreno, por desfavorables que sean.

## Conclusiones

Los postes prefabricados de hormigón pretensado, de alturas variables entre los 8,50 y los 12 m, capaces de resistir cargas de trabajo comprendidas entre 90 y 270 kg pueden transportarse, fácilmente, dentro de un radio de 500 km. Pueden competir ventajosamente con los postes de madera, metálicos o de hormigón armado, si se tiene en cuenta no sólo el coste inicial, sino también los gastos de conservación, el importe de los bloques de cimentación necesarios en los distintos casos, y la mayor duración de los postes pretensados.

# **IV Congreso Internacional del Pretensado (F. I. P.)**

Roma - Nápoles, 27 mayo - 2 junio 1962

La FEDERACION INTERNACIONAL DEL PRETENSADO y el Comité Organizador Italiano tienen el gusto de invitar a todos los que están interesados en el campo del hormigón pretensado a participar en el IV CONGRESO INTERNACIONAL DEL PRETENSADO (F. I. P.), que se celebrará, en Roma y Nápoles, del 27 de mayo al 2 de junio de 1962.

Para mayor información, dirigirse a:

Fédération Internationale de la Précontrainte, General Secretary, Terminal House, Grosvenor Gardens, London SW. 1.

Comitato Organizzatore IV Congresso Internazionale del Precongresso Segreteria Generale - Centro Studi - Ministero del Lavori Pubblici - Roma.

## **información general**

### **1. Preámbulo**

El Comité Ejecutivo de la F. I. P. ha encargado a un Comité italiano de organización, presidido por M. Giovanni Padoan, Presidente del Consejo Superior de Obras Públicas, de la preparación de este Congreso, que se celebrará en Roma y Nápoles del 27 de mayo al 2 de junio de 1962.

El Secretario General del Congreso es M. Italo di Lorenzo, Secretario General del Centro de Estudios del Ministerio de Obras Públicas: Porta Pia, Roma.

Se ha confiado la organización general del Congreso al Centro de Estudios del Ministerio de Obras Públicas.

Todos los trabajos y actos del Congreso, así como viaje de estudio y excursión turística, se desarrollarán según el programa presentado en el presente Boletín.

Las sesiones técnicas tendrán lugar en el Palacio de los Congresos (E. U. R.) de Roma, del 27 al 30 de mayo de 1962, y en el Palacio de los Congresos de la Mostra d'Oltremare, de Nápoles, del 31 de mayo al 2 de junio de 1962.

### **2. Inscripción al Congreso**

Hasta ahora se han inscrito 500 congresistas procedentes de 45 países.

Las solicitudes de inscripción al Congreso deberán formularse en las fichas especiales y serán enviadas al Comité Organizador hasta el 15 de marzo de 1962, como máximo.

El Comité sólo podrá aceptar las inscripciones que vayan acompañadas del pago de derechos fijados. Estos deberán corresponder, cualquiera que sea la moneda empleada para su pago, a los valores siguientes de moneda italiana:

- a) 25.000 liras italianas por cada congresista.
- b) 10.000 liras italianas por cada persona que acompañe a un congresista.

El pago de derechos a) permite recibir una copia de cada publicación técnica distribuida con ocasión del Congreso, incluidos los informes, comunicaciones y documentos que se refieran a los temas del Congreso.

El pago de derechos autoriza también a beneficiarse de las ventajas que podrá obtener el Comité Organizador en relación con los transportes, hoteles, restaurantes y excursiones, así como a participar gratuitamente en todas las visitas, recepciones, audiencia en el Vaticano, etc., organizadas con ocasión del Congreso. Únicamente para la cena oficial de clausura del Congreso, cada participante deberá efectuar una reserva especial, acompañándola del abono de gastos que se fijarán durante el Congreso en Roma.

El pago de derechos b), reservado exclusivamente a los no congresistas da derecho a beneficiarse de las mismas ventajas de que gozan los que han pagado los derechos a), a excepción de la prerrogativa de recibir las comunicaciones, informes, etc., que se refieran a los temas del Congreso. Tanto los derechos a) como los derechos b) no comprenden todos los gastos de estancia durante el Congreso, en Roma y Nápoles. Por el contrario, correrán a cargo del Comité todos los gastos de transferencia de participantes de Roma a Nápoles.

### **3. Inscripción para los viajeros**

Las solicitudes de inscripción para el viaje de estudio y excursión turística deberán formularse en las fichas especiales e irán acompañadas por los derechos de participación, enviándolas al Comité Organizador hasta el 15 de marzo de 1962, como máximo.

Los derechos de inscripción para tales viajes, cualquiera que sea la moneda empleada para el pago, deberán corresponder a los siguientes valores en moneda italiana:

- 1) Viaje de estudio: 80.000 liras por persona.
- 2) Excursión turística: 40.000 liras por persona.

El pago de tales tarifas da derecho a ocupar una habitación de una sola cama en los hoteles.

Si, por el contrario, los participantes desean alojarse en habitaciones de dos camas, los derechos de inscripción se reducen a:

- 3) Viaje de estudio: 75.000 liras por persona.
- 4) Excursión turística: 35.000 liras por persona.

El pago de derechos 1), 2), 3) y 4) da a los participantes derecho a beneficiarse de:

- a) Viajes en primera clase por ferrocarril.
- b) Transporte en autocar Gran Turismo para viajes por carretera.
- c) Comida y alojamiento. Habitación con cuarto de baño en hoteles de primera categoría.
- d) Tarifas y propinas incluidas en los derechos mencionados.

El precio de los dos viajes no incluye ninguna clase de bebida, ya sea en hoteles o durante los viajes, ni los gastos de carácter personal de los participantes.

Los que no estén inscritos en el Congreso ni sean congresistas ni acompañantes de éstos y no hayan satisfecho los derechos de inscripción relativos, no pueden solicitar que se les inscriba en los viajes.

Se consideran los precios fijados para todo el recorrido del viaje escogido y no dan derecho a ningún reembolso por recorridos y servicios utilizados parcialmente. El viaje de estudio y la excursión turística se acabarán, respectivamente, el 6 de junio en Turín y el 5 de junio en Nápoles. A finales de estos dos días, todos los gastos que tuviesen que sufragar los congresistas correrán a su cargo exclusivamente.

El Comité de Organización se reserva la facultad de anular o modificar, total o parcialmente, los dos viajes en cuestión, en caso de fuerza mayor o en interés de los participantes. En este caso, el participante podrá anular su inscripción teniendo derecho a la devolución total de las cuotas pagadas, o pasar del viaje de estudio a la excursión turística y viceversa.

#### **4. Anulación de las inscripciones**

Todo participante puede retirar su inscripción a los viajes antes citados, devolviéndoles el importe total de las cuotas únicamente si la solicitud se envía antes del 1 de abril.

Las anulaciones que lleguen al Comité después de la fecha prevista sufrirán un descuento del 5 % de su importe en compensación de los gastos originados, además de las penalizaciones eventualmente requeridas por los transportistas y hoteles interesados, a causa de las reservas de plazas.

#### **5. Responsabilidad y seguro**

El Comité de Organización no asume ninguna responsabilidad por las molestias eventuales que pudiesen sufrir los congresistas, las personas que les acompañan, o sus equipajes, en relación con los actos del Congreso, viajes, transferencias, etc.

#### **6. Equipaje**

Cada participante a los viajes podrá llevar un equipaje máximo de dos maletas, cuyo peso total no sobrepase los 20 kilogramos. El transporte de las maletas, incluido en los derechos de inscripción a los viajes, se efectúa bajo la responsabilidad del propietario.

#### **7. Aviso de la compañía de viajes**

La compañía italiana C. I. T. comunica que la entrega de todos los billetes y cupones, la organización de los transportes de todas las clases y las estancias en los hoteles, las efectuará a título de intermediario, con la condición expresa de que no podrá hacerse responsable de ningún accidente, daño, retraso o irregularidad que se produzcan, bien por defecto de un vehículo de cualquier naturaleza o por falta o negligencia de la Compañía o de toda persona encargada del transporte de los viajeros.

Los equipajes que no estén asegurados, así como la facturación en los viajes, se transportan con daños y perjuicios a cargo de los viajeros durante toda la duración de los viajes. Los paquetes, abrigos, paraguas y otros equipajes de mano quedan completamente bajo la responsabilidad del viajero, el cual, además, se le avisa contra el riesgo inherente de estos pequeños objetos olvidados en los vehículos.

Todos los precios, horarios e itinerarios mencionados en este programa pueden modificarse sin aviso previo. En este caso, el viajero podrá, si lo desea, aceptar las modificaciones o cancelar su compromiso y recuperar el importe íntegro de las cantidades pagadas por él, sin ninguna indemnización.

Si, por cualquier motivo, los organizadores deciden suprimir todos o parte de los compromisos previstos, el viajero no podrá más que exigir la devolución de las cantidades correspondientes que ha pagado, excepto daños y perjuicios.

La compañía no se hace responsable de pérdidas o demasías de gastos debidos a retrasos o cambios en los servicios de trenes, barcos, aviones u otros medios de transporte, enfermedades, guerra, cuarentena, huelgas u otras causas, todo ello correrá a cargo de los viajeros.

#### **8. Temas del Congreso y sesiones técnicas**

El Comité Ejecutivo de la F. I. P. ha fijado los siguientes temas, rogando a las personalidades que a continuación se citan que ejerzan las funciones de Ponentes Generales:

## **Temas del Congreso**

- I. Resultados de las investigaciones que se refieren, especialmente, a las cuestiones de durabilidad y fatiga.
- II. Consideraciones sobre las obras: Problemas y dificultades, remedios y soluciones.
- III. Economía del hormigón pretensado, en relación con los Reglamentos, seguridad, aplicación de un pretensado parcial, utilización de hormigones ligeros, etc.
- VI. Progresos de la prefabricación y standardización en fábrica.
- V. Realizaciones importantes de hormigón pretensado:
  - a) Puentes, viaductos y carreteras elevadas.
  - b) Edificios y otras construcciones.

## **Ponentes**

- S. S. Davydov (U. R. S. S.).
- D. Vandepitte (Bélgica).
- H. Bay (Alemania).
- Ben C. Gerwick, Jr. (U. S. A.).
- R. Morandi (Italia).
- Chr. Ostenfeld (Dinamarca).

Todas las comunicaciones e informes generales aceptados para su discusión en el Congreso se publicarán previamente en uno de los seis idiomas del Congreso (francés, inglés, italiano, ruso, alemán y español) y enviados de antemano a todos los congresistas, sin otro pago que el del importe de los derechos de inscripción antes mencionados (25.000 liras).

Los trabajos de cada sesión serán dirigidos por una Presidencia, que se compone de un Presidente, un Vicepresidente y un Secretario.

Los nombres de las personas que componen las cinco presidencias se harán saber a su debido tiempo, publicándose en el programa definitivo que se enviará a los congresistas una vez inscritos en el Palacio de los Congresos de Roma. El Ponente General iniciará los trabajos de cada sesión y leerá su ponencia.

A continuación, los diferentes congresistas podrán intervenir según el orden reservado que habrá notificado ya la Presidencia.

Por consiguiente, los congresistas que deseen intervenir en las discusiones deberán solicitarlo a la Presidencia antes de que comience la sesión. Se pondrán fichas especiales para esta reserva a disposición de los congresistas con objeto de facilitar las organizaciones de los debates.

## **9. Diapositivas y películas**

Los congresistas que deseen ilustrar sus intervenciones con proyecciones de diapositivas o películas deberán tener en cuenta que los únicos formatos admitidos son los siguientes:

Para diapositivas:  $5 \times 5$  cm;  $7 \times 7$  cm;  $8,5 \times 8,5$  cm;  $8,5 \times 10$  cm.

Para películas: ancho 16 ó 35 mm.

Se ruega a los congresistas que deseen proyectar películas fuera de sus intervenciones que lo comuniquen a la Secretaría de la F. I. P. y al Comité de Organización antes del 30 de marzo de 1962, indicando también la longitud, título y tipo de dichas películas.

## **10. Exposición**

Con ocasión del Congreso se organizará una exposición especializada de los productos que interesan en el campo del hormigón pretensado.

Esta exposición ocupará una parte del Palacio de los Congresos (E. U. R.) de Roma y, precisamente, la superficie que se presenta punteada en el plano adjunto. Los expositores deberán reservar el espacio que consideren necesario lo antes posible, ya que las reservas se aceptarán en el orden de su llegada hasta que se ocupe por completo la superficie disponible.

Las reservas deberán enviarse directamente al Comité de Organización y se ruega que se utilicen para ello las fichas especiales.

El precio por metro cuadrado de superficie necesaria es de 15.000 liras italianas, comprendiendo todo el equipo y mano de obra necesarios para preparar el "stand".

Para mayor información sobre la exposición, ver la ficha de reserva.



## programa para los actos del Congreso

### programa del Congreso

#### Sábado 26 de mayo

9 a 17 horas

Registro de los Miembros del Congreso.—Palacio de los Congresos, E. U. R., Roma.

#### Domingo 27 de mayo

9 a 17 horas

Registro de los Miembros del Congreso.—Palacio de los Congresos, E. U. R., Roma.

10 a 12 horas

Inauguración oficial del Congreso.—Palacio de los Congresos, E. U. R., Roma.

#### Discursos:

1. Alcalde de Roma.
2. Presidente del Comité Organizador.
3. Presidente de la F. I. P.
4. Ministro de Obras Públicas.

21,30 a 23 horas

Recepción de gala: Concierto sinfónico.—Auditorium.

#### Lunes 28 de mayo

9 a 17 horas

Las oficinas de registro e información se abrirán en el Palacio de los Congresos, E. U. R., Roma.

#### Sesión técnica. Tema I:

9 a 13 horas

“Resultados de investigaciones con referencia a la durabilidad y fatiga”. Ponente General, Profesor S. S. Davydov (U. R. S. S.).—Gran sala del Palacio de los Congresos, E. U. R., Roma.

15,30 a 18,30 horas

Visitas técnicas: Estructuras de hormigón pretensado construídas recientemente en Roma.

21 a 23 horas

Excursión facultativa a Tívoli, cena y visita a la “Villa d’Este”.

#### Martes 29 de mayo

9 a 17 horas

Las oficinas de registro e información se abrirán en el Palacio de los Congresos, E. U. R., Roma.

**Sesión técnica. Tema II:**

9 a 12 horas "Consideraciones de obra (problemas y dificultades, remedios y soluciones)".—Ponente General, Profesor D. Vandepitte (Bélgica).—Gran sala del Palacio de los Congresos, E. U. R., Roma.

**Sesión técnica. Tema III:**

16 a 19 horas "Economía del hormigón pretensado en relación con reglamentos, seguridad, pretensado parcial, hormigón ligero, etc.".—Ponente General, Doctor H. Bay (Alemania).—Gran sala del Palacio de los Congresos, E. U. R., Roma.

21 a 23 horas Visita a la ciudad.

**Miércoles 30 de mayo**

9 a 17 horas Las oficinas de registro e información se abrirán en el Palacio de los Congresos, E. U. R., Roma.

10 a 12 horas Visita al Vaticano, audiencia privada de Su Santidad el Papa Juan XXIII a los miembros del Congreso.

**Sesión técnica. Tema IV:**

16 a 19 horas "Progresos de la prefabricación en fábrica y normalización".—Ponente General, Ben C. Gerwick, Jr. (U. S. A.).—Gran sala del Palacio de los Congresos, E. U. R., Roma.

20,30 a 24 horas Recepción en el "Castel S. Angelo", Roma.

**Jueves 31 de mayo**

9 horas Salida para Nápoles (por vía férrea).

11,30 horas Llegada a Nápoles y alojamiento en los hoteles.

17 a 19 horas Recepción en el Palacio Real.

**Viernes 1 de junio**

**Sesión técnica. Tema V-a:**

9 a 11 horas "Estructuras importantes de hormigón pretensado: puentes, viaductos y carreteras elevadas".—Ponente General, Profesor R. Morandi (Italia).—Exposición de Ultramar, Palacio de los Congresos.

13 horas Almuerzo en la Exposición de Ultramar.

**Sesión técnica. Tema V-b:**

16 a 18 horas "Estructuras importantes de hormigón pretensado: edificios y otras construcciones".—Ponente General, Dr. Chr. Ostenfeld (Dinamarca).—Exposición de Ultramar, Palacio de los Congresos.

21 a 23 horas Películas técnicas.—Exposición de Ultramar, Palacio de los Congresos.

**Sábado 2 de junio**

**Sesión técnica:**

9 a 12,30 horas "Carretera de hormigón pretensado".—Exposición de Ultramar, Palacio de los Congresos.

13 horas Almuerzo en la Exposición de Ultramar.

15 a 18 horas Visita técnica y turística de la ciudad de Nápoles.

21,30 a 24 horas Cena de clausura.



**procedimientos**

# Barredo

de hormigón pretensado

## características

- 1** tensión independiente por cada hilo
- 2** seguridad en el anclaje superior a la resistencia de los hilos
- 3** posibilidad de retesado
- 4** facilidad de comprobación de la tensión de la armadura, en cualquier momento

