

C. Spaeth

(Normas alemanas para proyecto elementos de hormigón pretensado)

ULTIMAS NOTICIAS SOBRE

# hormigón pretensado



d/

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS  
Patronato "Juan de la Cierva" de Investigación Técnica

U L T I M A S   N O T I C I A S

Técnicas en Estructuras

Hormigón Pretensado

Boletín de circulación limitada

Nº 13

4º Trimestre 1952

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -



I N D I C E

=====

457-0-8	Normas alemanas para el proyecto de elementos de hormigón pretensado ..	pág. 1
457-8-6	Contribución al estudio del hormigón pretensado .....	" 12

- - -

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

-----

457-0-8 NORMAS ALEMANAS PARA EL PROYECTO DE ELEMENTOS DE HORMI--  
GON PRETENSADO

(Vorgespannte Stahlbetonbauteile Richtlinien für die Bemessung--  
DIN 4227)

Publicado por "WILHELM ERNST UND SOHN" -- Berlin 1950

AUTOR: Hubert Rüsck

---

S I N O P S I S

Se comienza, en el presente número, la publicación de las normas alemanas para el proyecto de elementos de hormigón -- pretensado. Son las primeras publicadas, en el mundo, sobre la materia. Su empleo y aceptación, aunque sin aprobación oficial, se encuentra muy extendido, no solo en Alemania, sino también -- en otros países. Puede decirse que estas normas, redactadas por prestigiosos especialistas, constituyen un tratado resumido sobre hormigón pretensado, por lo que su difusión se considera de interés no sólo para los proyectistas sino también para los cons-- tructores.

---

1. CAMPO DE APLICACION

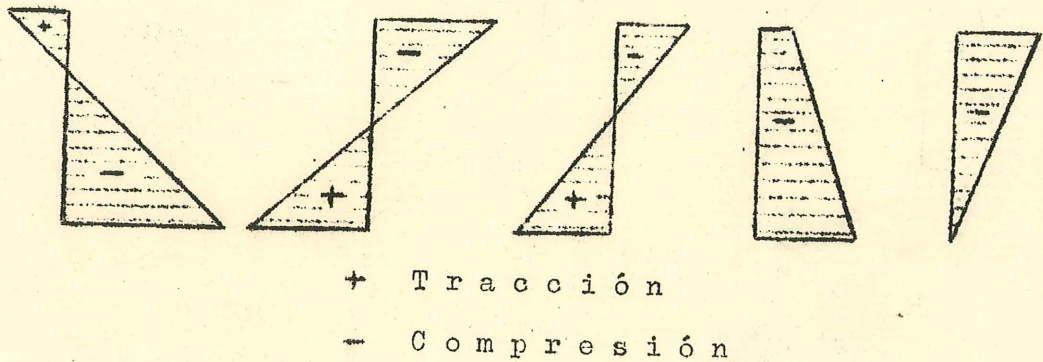
1.1 Generalidades

1.11 Definición de pretensado

Se denominan elementos de hormigón pretensado aquellos en los que, mediante la introducción de esfuerzos previos, se -- crea un estado de tensión preestablecido.



Existe pues pretensado cuando, prescindiendo de las tensiones originadas por las cargas existe, en el elemento constructivo terminado, un estado de tensión tal que contrarresta los esfuerzos de tracción debidos a las cargas actuantes. El esfuerzo de pretensado se superpone a las tensiones originadas por las cargas permanentes, sobrecargas móviles, variaciones de temperatura, fraguado y fluencia, con el fin de eliminar en el hormigón las tensiones de tracción o, por lo menos, reducirlas en forma tal, que no se originen fisuras capilares, permitiendo así el aprovechamiento total de los hormigones y aceros de alta resistencia. Para ello se eligen los esfuerzos de pretensado en



forma tal que la tensión previa (fig. 1a) actúe en sentido opuesto a las debidas a los restantes tipos de carga, por ejemplo, - carga permanente y sobrecarga móvil (fig. 1b), de modo que las tensiones de borde, en especial en la fibra más extendida (fig. 1c), se reduzcan en forma considerable.

### 1.12 Obtención del pretensado

En la mayoría de los casos, se obtiene el pretensado solidarizando rígidamente con la estructura de hormigón elementos pretesos de acero.

También es posible obtener el pretensado mediante una adecuada elección del proceso constructivo (p. ejemplo carga previa) o bien ejerciendo presión sobre la estructura mediante gatos o dispositivos similares que reaccionen sobre apoyos independientes.

## 1.2 Clasificación de las distintas partes de la sección

En los elementos pretensados cabe diferenciar:

La zona comprimida bajo la acción del momento de agotamiento.

La zona extendida bajo la acción del mismo.

Las fibras pretesas (armaduras)

### 1.21 Zona comprimida bajo la acción del momento de agotamiento

Se consideran comprendidas en esta zona, aquellas partes de la sección en las que, sin considerar el esfuerzo de pretensado, se originan tensiones de compresión debidas a las cargas actuantes.

### 1.22 Zona extendida bajo la acción del momento de agotamiento

Se consideran comprendidas en esta zona aquellas partes de la sección en las que las tensiones de tracción originadas por las cargas actuantes, sin considerar los esfuerzos debidos al pretensado, resultan disminuidas o eliminadas por la acción de esta última causa. En algunos elementos constructivos puede ocurrir que alguna de sus partes quede comprendida, para un determinado estado de carga, en la zona comprimida, y para otro en la zona de que trata este apartado.



### 1.23 Fibras pretesas

Las constituyen elementos de acero de alta calidad, que trabajan a tracción y que sirven para originar los esfuerzos de pretensado.

### 1.3 Grado de precompresión

Cabe distinguir entre pretensados totales y parciales

1.31 Cuando existe precompresión total no se originan, en general, tensiones de tracción en el hormigón (véase sección 10)

1.32 Cuando existe precompresión parcial, por el contrario, es admisible, en términos generales, la existencia de tensiones de tracción en el hormigón, pero limitadas en forma tal que se elimine el peligro de formación de fisuras capilares (véase sección 11).

### 1.4 Epoca de tesado de las armaduras

Estas pueden tesararse antes ó después del endurecimiento del hormigón.

1.41 Cuando se tesan antes del endurecimiento del hormigón, las armaduras pretesas se anclan en apoyos fijos y luego se hormigona. Después de endurecido el hormigón se suprime la sujeción citada transmitiéndose así los esfuerzos previos al hormigón.

1.42 Cuando se realiza el tesado después del endurecimiento del hormigón, se utilizan, como apoyos, los mismos elementos de hormigón ya endurecidos, con lo que los esfuerzos previos se transmiten a éste instantáneamente.

### 1.43 Tensión adicional

Se denomina así el ajuste de pretensado, que se obtiene mediante un aumento suplementario del esfuerzo de tracción - en las armaduras.

### 1.5 Naturaleza del anclaje

Se distinguen tres tipos de anclaje según que el pretensado se realice por adherencia, sin adherencia o por adherencia adicional.

1.51 En el pretensado por adherencia, los elementos pretesos se embeben en el hormigón fresco de forma que, simultáneamente al endurecimiento de éste, se origine la unión necesaria.

1.52 En el pretensado sin adherencia, las armaduras pretesas se sitúan, bien exteriores a la sección de hormigón, o bien dentro de dicha sección pero aisladas del hormigón.

1.53 En el pretensado por adherencia adicional, el hormigón se precomprime sin adherencia, creándose luego ésta por un hormigonado posterior, siendo así efectiva para los estados de carga - posteriores a esta operación.

## 2. GENERALIDADES

### 2.1 Regulaciones normativas

Para estructuras pretensadas, rigen, salvo que la presente norma especifique otra cosa, las siguientes normas de la Comisión alemana de hormigón armado:

Apartado A (DIN 1045). Normas para la ejecución de estructuras de hormigón armado



Apartado D (DIN 1048). Normas para el ensayo de hormigones utilizados en la ejecución de estructuras de hormigón en masa y armado.

Apartado E (DIN 4225). Estructuras prefabricadas de hormigón armado.

Para puentes: DIN 1075, bases para el cálculo de puentes.

## 2.2 Proyectos

En los proyectos se indicará expresamente, aparte de lo establecido en DIN 1045  $\phi$  2, el tipo de pretensado según 1.3 a 1.5

## 3. MATERIALES

### 3.1 Generalidades

La acción favorable del pretensado puede aprovecharse en una medida mayor, cuanto más elevada sea la resistencia en compresión del hormigón y la correspondiente en tracción del acero que se utiliza.

### 3.2 Hormigón

#### 3.21 Calidades

Para elementos de hormigón pretensado sólo se podrán utilizar hormigones de resistencias superiores a los 300 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Las altas calidades exigidas se obtendrán con bajas relaciones agua-cemento y mediante dispositivos de compactación especialmente eficaces.

3.22 Sólo se emplearán hormigones de inferiores resistencias en estructuras pretensadas, como excepción en casos especiales, p. ejemplo, cuando un elemento pretensado deba poseer una determina

da capacidad de aislamiento térmico o un peso reducido (hormigón ligero) y en tales casos se requiere una autorización especial (1).

### 3.3 Acero

3.31 Los aceros destinados a constituir las armaduras pretensas, deberán cumplir requisitos especiales. Estos requisitos se refieren a la resistencia del acero (diagrama de tensión-deformación con indicación del límite de proporcionalidad, límite elástico aparente, resistencia máxima en tracción, alargamiento de rotura, estricción, módulo de elasticidad y límite convencional de fluencia). Asimismo debe estudiarse si es apropiado para el proceso a que ha de ser sometido (por ejemplo si puede soldarse). Los ensayos se realizarán sobre barras del mismo diámetro y en las mismas condiciones que las que se han de utilizar.

3.311 Para aceros que no tengan un límite elástico definido, se admitirá como tal la mínima tensión capaz de dejar una deformación remanente del 0,2 %.

3.312 El alargamiento de rotura, para barras redondas de  $\varnothing$  3mm. o más, medido sobre probetas de longitud igual a  $20d$  para secciones circulares y a  $11,3\sqrt{F}$  para perfiles, siendo  $F$  la sección, deberá alcanzar como mínimo un 4%. Las barras y alambres de diámetro menor que el indicado deberán tener un alargamiento de rotura no menor del 3% medido sobre una longitud de ensayo de 100 veces su diámetro. Las barras de sección no circular se incluirán en uno u otro grupo, de acuerdo con la superficie

(1) Aquí rige la ordenanza del 8 de noviembre de 1937 (RGBL - 1177) y la edición del Bauverwaltug 1937, pag. 1167



de su sección.

Cuando se trate de cables, los alambres que le componen deberán cumplir con lo especificado anteriormente. Las barras que hayan de soldarse, deberán poseer un alargamiento de rotura mínimo, del 8%.

3.313 Cuando se trate de cables constituidos por alambres retorcidos de acero, el valor determinante lo constituye, no la resistencia a tracción de los alambres individuales sino la del conjunto que forma el cable. Se supondrá que el límite elástico aparente del cable total está, con respecto al de un alambre aislado, en la misma relación que la resistencia a tracción del cable con la de un alambre. Aparte del módulo de elasticidad, se establecerá también la deformación remanente (véase 7.2)

3.314 En los casos de cables constituidos por alambres de acero paralelos unidos entre sí por ataduras, se considerará que sus propiedades mecánicas son las mismas que las de los alambres aislados.

3.315 Las deformaciones lentas se analizarán tanto para carga constante como para deformación constante (relajación). Se efectuará una distinción entre los límites teórico y convencional de fluencia.

El límite convencional de fluencia es la tensión límite de tracción que produce una variación de longitud de 0,008% en el período de tiempo comprendido entre 60 minutos y 100 horas de aplicada la carga. Este valor, sin embargo, solo será válido si la variación de longitud en el período comprendido entre los 6 minutos y los 60 minutos a partir de la aplicación de la carga, no excede del 0,016%.

El límite teórico de fluencia lo constituye la tensión límite para la cual, aunque las deformaciones elásticas durante la carga puedan ir acompañadas por deformaciones plásticas, las deformaciones bajo carga, no aumentan con el tiempo, ni aun para largos periodos.

Para el análisis del comportamiento plástico se parte del límite convencional. Si durante el pretensado, el acero ha de estar sometido a tensiones superiores a dicho límite, debe determinarse entonces la mayor deformación lenta previsible, correspondiente a dichas tensiones.

Aquellos aceros para los cuales los diagramas de deformación lenta-tiempos, en escala logarítmica, no disminuyen uniformemente, solo podrán ser sometidos a tensiones inferiores a su límite convencional de fluencia.

3.32 Para aquellas armaduras que no deban ser sometidas a tensión previa, rige la norma DIN 1045 5. Nº 6

#### 4. COMPROBACION DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES

El responsable de la calidad de los materiales utilizados será, en una obra, el ingeniero director de ella y en una fábrica de elementos pretensados, el encargado de la misma.

##### 4.1 Hormigón

##### 4.11 Comprobación antes de la ejecución

Se efectuarán ensayos de aptitud y consistencia de acuerdo con el apartado D de la DIN 1048.

Estos ensayos se repetirán cada vez que se cambie el origen del suministro del cemento o de los áridos, o cuando la resistencia del cemento o la granulometría de los áridos haya



variado considerablemente respecto a lo establecido en las normas.

#### 4.12 Comprobación durante la ejecución

Dos veces por semana, por lo menos, se comprobará la calidad y consistencia del hormigón en la forma establecida en el apartado D de las citadas normas DIN 1048. Además, se preparará un número suficiente de probetas cúbicas con destino al ensayo de endurecimiento indicado en la sección 5.1, antes del pretensado. Respecto al número de probetas rige lo establecido en el apartado A, párrafo 6, nº 3 de la DIN 1045. Mediante una ejecución y tratamiento posterior, especialmente cuidados, se asegurará que el hormigón utilizado en la ejecución de los elementos alcance la misma resistencia que el de las probetas.

#### 4.2 Acero

##### 4.21 Ensayos de resistencia

Antes de ser utilizado se comprobará si el acero a emplear cumple lo establecido en 3.3. De cada partida se comprobará la resistencia a tracción, límite de fluencia y alargamiento de rotura; además, para los cables, el módulo de elasticidad y deformación remanente, siempre que no se trate de aceros normalizados, en cuyo caso el fabricante garantizará el cumplimiento de las características de resistencia prescriptas por el pliego de condiciones.

4.22 En uniones soldadas de elementos pretensados deberá respetarse lo establecido por la DIN 1045, apartado 14 Nº 1c.

La calidad de la soldadura se comprobará mediante ensayos de plegado (doblado en frío). El diámetro de la barra so-

bre la cual se dobla se tomará igual al cociente que resulta de dividir el diámetro de la barra doblada por su alargamiento de rotura. La primera fisura deberá aparecer para un ángulo no inferior a los 60°.

Para el alargamiento mínimo de rotura de barras soldadas, véase 3.312.

#### 4.23 Alteraciones que pueden afectar la resistencia:

Después de colocadas, y antes de tesarlas, se revisarán las barras con objeto de comprobar si durante el transporte o montaje han sufrido alteraciones o daños que reduzcan su resistencia. En caso afirmativo, tales barras no podrán ser utilizadas.

4.24 Para armaduras no pretesas (ver 6.1) vale la DIN 1045, apartado 6, nº 4.

(Continuará en el próximo número)



457-8-6 CONTRIBUCION AL ESTUDIO DEL HORMIGON PRETENSADO

(Contribution à l'etude du béton précontraint)

AUTOR: J. Bolomey

S I N O P S I S

En 1939 y en 1940, la comisión del hormigón pretensado del grupo de Ponts et Charpentés de la SIA, encargó al Laboratorio de ensayo de materiales de la Escuela de Ingenieros de Lausana, la ejecución de diversos ensayos preliminares, con el fin de aclarar ciertos problemas relativos al empleo del hormigón pretensado.

Los primeros resultados de estas investigaciones fueron publicados bajo el título "Deformaciones elásticas, plásticas y de retracción de algunos hormigones". El presente estudio pone de manifiesto la necesidad de asegurar una adherencia suficiente entre el hormigón y las armaduras de acero sometidas a coeficientes de trabajo elevados.

I. Adherencia al hormigón, de las armaduras de acero de alto límite elástico.

A.- En primer lugar se realizaron ensayos de extracción de alambres de acero de 1,2 y 3 mm. de diámetro.

No obstante la gran dispersión obtenida en los resultados de esta serie de ensayos permite llegar a las siguientes conclusiones:

a) La adherencia por  $\text{cm}^2$  de superficie envuelta, es independiente del diámetro de los alambres.

- b) La adherencia crece con la duración del endurecimiento, es decir con la resistencia del hormigón.
- c) La adherencia es más elevada (alrededor de un 50%) cuando el hormigón se ha endurecido en el agua, que cuando se ha conservado en el aire. Esta comprobación confirma la hipótesis de que la adherencia se debe a la retracción.
- d) Las adherencias en alambres de acero trefilado son inferiores a las que se observan en aceros dulces laminados.

Estas diferencias pueden atribuirse al estado de las superficies.

Para mejorar la adherencia es preciso que la superficie de las barras sea lo más rugosa posible.

B.- A continuación se realizaron ensayos de extracción de alambres de acero de 1 mm. de diámetro lisos ó atacados al ácido. Los alambres tenían una resistencia a la tracción de  $270 \text{ Kg/mm}^2$  y estaban envueltos en un prisma de hormigón de cemento aluminoso de  $4 \times 4 \text{ cm}^2$  de sección.

Esta serie de ensayos pone de manifiesto la gran mejora obtenida, en la adherencia, al atacar los aceros lisos con ácido. Esta operación es, no obstante, delicada y debe realizarse muy cuidadosamente para que la corrosión no sea peligrosa.

C.- Ensayos de extracción de aceros de 3 mm. de diámetro, del llamado, comercialmente, acero para resortes.

El acero tenía una resistencia a la tracción de  $210 \text{ Kg/mm}^2$  y el hormigón empleado fué endurecido, durante 3



días en ambiente húmedo y después en el aire.

Los ensayos se realizaron sobre alambres lisos y sobre alambres tratados al ácido.

De los resultados de estos ensayos se deduce:

- 1º.- El esfuerzo de extracción crece con la longitud envuelta de la barra, pero no proporcionalmente a ella. Este fenómeno debe atribuirse al alargamiento elástico del metal que trae consigo un desprendimiento progresivo de la armadura.
- 2º.- La adherencia es mejor en el hormigón vibrado que en el de consistencia blanda. Parece que depende de la resistencia del hormigón al esfuerzo cortante y que no influye para nada el estado de tensión secundario ocasionado por la retracción.
- 3º.- La adherencia de los alambres atacados por ácido (enmohecido) es, en general muy superior a la de los alambres limpios.
- 4º.- La adherencia de alambres previamente tesos es inferior en general, a la de alambres no tesos. Este hecho se explica por un deslizamiento inicial de la armadura tesa al dejar sueltos los alambres, lo cual está en contradicción con la teoría de Hoyer.

Estos deslizamientos tienden a acentuarse con la duración del endurecimiento. Por consiguiente la tracción inicial del acero desapareció durante los ensayos de extracción de la armadura.

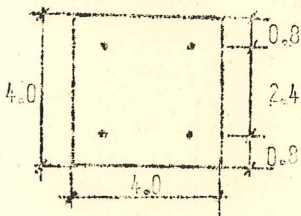
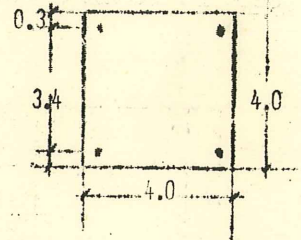
Estos ensayos de adherencia se repitieron en viguetas de 265 cm. de longitud, armadas con alambres lisos de 3 mm. de diámetro.

En ellos se observó que para evitar el deslizamiento de los alambres es preciso que el hormigón envuelva el alambre en una gran longitud. O bien disminuir el esfuerzo de extracción o, incluso, asegurar a la armadura un anclaje eficaz. En muchos casos la simple adherencia no bastará para asegurar un anclaje suficiente.

En los ensayos realizados no pudo observarse el efecto Hoyer.

D.- Ensayos a flexión de pequeñas viguetas armadas con alambres de  $\phi$  1 mm.

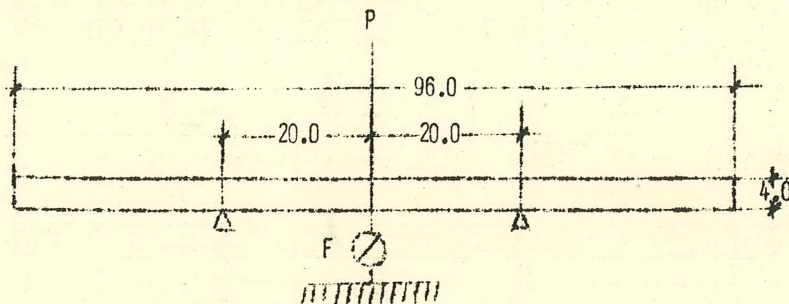
Se realizaron dos series de ensayos: La primera sobre cuatro viguetas (I a IV) de 4 x 4 x 32 cm. armadas con 4 alambres de 1 mm. de diámetro, - con una resistencia a tracción de  $270 \text{ Kg/mm}^2$  ó sea  $210 \text{ Kg/alem}$  bres, colocados a 3 mm. de las aristas (Fig. 2). La segunda - serie sobre cuatro viguetas (V a VIII) de 4 x 4 x 96 cm. armados de 4 alambres de idénticas características que los de la primera. Las piezas I a VI eran de hormigón de cemento aluminoso de  $310 \text{ Kg/m}^3$  con una relación cemento: agua = 1,50. Las probetas VII y VIII eran de hormigón con idéntica granulometría y dosificación pe





ro de cemento Portland Holderbank especial.

La disposición de las armaduras y el esquema de los ensayos se representa en las Fig. 3 y 4.



Después del ensayo principal, se repitieron sobre los trozos de las viguetas V a VIII los mismos ensayos.

Los ensayos confirmaron los resultados de los ensayos directos de tracción. Todos los prismas se rompieron una vez sobrepasada la resistencia a tracción del hormigón, como consecuencia del deslizamiento de las armaduras, que siempre se comprobó al aparecer la primera grieta.

Los ensayos realizados sobre estos ocho prismas presentan las siguientes particularidades:

- a) El deslizamiento de los alambres, durante la aplicación del pretensado del hormigón, no parece hacerse notar más que sobre una pequeña longitud a partir de los extremos de los prismas. Esta es la ventaja del empleo de alambres de muy pequeño diámetro.
- b) La tracción en el acero de los prismas V a VIII solo aumento  $5 \text{ Kg/mm}^2$ , para un momento suplementario de 1000 o m. mientras que el hormigón no se agrietó; pero cuando se

produjo el agrietamiento el aumento fué de  $205 \text{ Kg/mm}^2$  para el mismo momento. Esta gran diferencia es la que hace inevitables los deslizamientos.

El esfuerzo inicial de pretensado queda anulado por un momento de  $400 \text{ cmkg}$  ( $0,09 \times 400 = 36 \text{ Kg/cm}^2$ ); la tracción a que se somete el acero es entonces de  $185 + 4,00 \times 0,55 = 187 \text{ Kg/mm}^2$ .

Supongamos que el hormigón se agrieta para  $M = 1000 \text{ cmkg}$ . Inmediatamente antes de la rotura, la tracción en el acero es de  $190 \text{ Kg/mm}^2$  y la del hormigón de  $90 - 36 = 54 \text{ Kg/cm}^2$ . Inmediatamente después de la fisuración, la tracción en el hormigón se anula y la del acero pasa a  $187 + (1000 - 400) \times 0,205 = 310 \text{ Kg/mm}^2$ , lo que sobrepasa su resistencia.

Los alambres deberán romperse a menos que, como consecuencia del deslizamiento de la armadura o como consecuencia de haber rebasado el límite de elasticidad del acero, el pretensado desaparezca totalmente ó en parte. En este caso, para un momento de  $1000 \text{ cm.kg}$ . la tracción en el acero no es más que de  $205 \text{ Kg/mm}^2$ , valor que si puede soportar.

En los ensayos realizados se produjo siempre, - salvo en los trozos de  $40 \text{ cm}$ . de los prismas V a VIII, la desaparición del esfuerzo de pretensado como consecuencia del deslizamiento. En los trozos de los prismas V a VIII hubo rotura brusca aunque sin ninguna señal previa.

#### **E.- Ensayos de anclaje de las armaduras.**

En los ensayos A, B, C, D ha quedado demostrada -



la necesidad de asegurar un anclaje eficaz de las armaduras ya que la simple adherencia de las barras de acero es insuficiente.

Con objeto de encontrar un anclaje conveniente, se realizaron diversos ensayos, en el laboratorio de Lausana, aunque sin gran éxito.

Los ensayos fueron los siguientes:

- 1º - Soldadura al estaño de los bloques de anclaje.
- 2º - Soldadura eléctrica
- 3º - Zunchado en caliente de los manguitos de anclaje
- 4º - Ajuste en frío de los manguitos de anclaje
- 5º - Sujeción en frío del alambre al extremo de un manguito de anclaje.

Todos estos procedimientos ensayados tienen el inconveniente de no prestarse a la ejecución simultánea de varias viguetas colocadas unas a continuación de las otras, lo cual es de gran importancia económica y facilita la regulación de las tensiones de las diferentes barras como consecuencia de la magnitud de las deformaciones elásticas.

Por otra parte, el anclaje en los extremos de las barras es suficiente solo hasta que la resistencia del hormigón a tracción es sobrepasada y se produce agrietamiento. En la sección agrietada, el acero trabaja sólo a tracción con un coeficiente elevado. Junto a esta sección el hormigón intacto contribuye aún a la resistencia de la armadura. Resulta de ello las grandes diferencias de coeficiente de trabajo

entre dós puntos próximos de la armadura, que provocan deslizamientos locales que pueden hacer peligrar la pieza en caso de sollicitaciones repetidas.

Este peligro de deslizamiento local en la parte central de las barras extendidas, cuando sus extremos están sólidamente anclados, no es apenas temible en el hormigón armado ordinario a causa de los coeficientes de trabajo moderados de la armadura y porque la adherencia de los redondos al hormigón es generalmente suficiente. No ocurre lo mismo con el hormigón pretensado en el que el porcentaje de armadura es pequeño y trabaja con un coeficiente elevado, a la vez que es débil la adherencia de los aceros especiales.

En este caso, para evitar todo deslizamiento local, es preciso asegurar el anclaje continuo de las barras en toda su longitud o dejarlas deslizar libremente, en una vaina especialmente preparada, entre los anclajes terminales.

El anclaje continuo puede realizarse por medio del acero Isteq o mejor con la patente Sarrasin, para el empleo del acero de sección cuadrada retorcida.

Se realizaron ensayos sobre aceros de sección cuadrada de 4 y 5 mm. de lado, envueltos en prismas de hormigón de 9,15 y 21 cm. de longitud, con una resistencia a la compresión de  $530 \text{ Kg/cm}^2$  en los que como estaba previsto, el acero retorcido presentó una resistencia muy fuerte a la extracción.

Por el contrario, las caras oblicuas de las barras retorcidas ejercieron esfuerzos considerables en el sentido

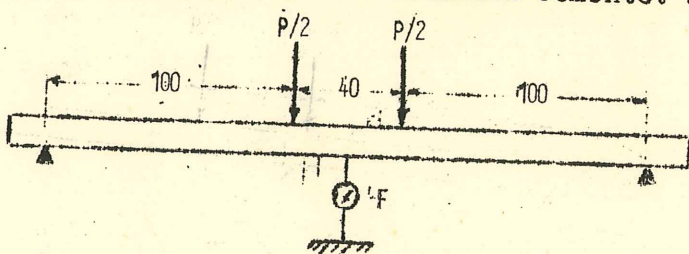
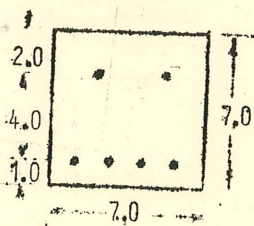


transversal de los prismas, esfuerzos que pueden hacer que se rompa el hormigón si no se toman medidas apropiadas para combatir este peligro, que existe también con el empleo del acero Isteg.

## II.- Influencia del pretensado del hormigón en la duración de viguetas de hormigón armado.

A la vista de los resultados de los ensayos antes citados, se dedujo la necesidad de realizar ensayos sobre viguetas que estuvieran solicitadas en análogas condiciones que en la obra. Estos ensayos se efectuaron sobre viguetas de  $7 \times 7 \times 265$  cm., armadas de barras redondas de 3 mm. de diámetro ó de sección cuadrada de 4 ó 5 milímetros de lado, retorcidas o no.

El hormigón empleado era de cemento Holderbank especial de  $390 \text{ Kg/m}^3$ , con grava de 0,1 - 15 mm., y una relación cemento: agua = 2,60.



La resistencia de este hormigón a los tres días fué de  $360 \text{ Kg/cm}^2$ , a los 7 días  $530 \text{ Kg/cm}^2$  y a los 28 días de  $620 \text{ Kg/cm}^2$ .

La disposición de las armaduras y el esquema de los ensayos se representa en la fig. 5.

El esfuerzo de pretensado se aplicó a los 7 días; los ensayos se efectuaron a los 28 á 38 días de edad.

Se realizaron ensayos sobre 5 viguetas, A, B, C, D, E que se completaron con ensayos de fatiga sobre los trozos de las mismas que quedaron después de los ensayos principales.

Los resultados de los ensayos se encuentran representados en el gráfico 1.

De estos ensayos se obtuvieron las siguientes consecuencias:

- a) Todas las viguetas mostraron una resistencia notable a la rotura bajo cargas estáticas.
- b) Bajo cargas repetidas todas ellas mostraron signos de fatiga (flechas remanentes y aumento de flechas elásticas), que se agravan con el número de sollicitaciones. Esta fatiga se debe al deslizamiento de la armadura cuya adherencia al hormigón es insuficiente.
- c) La vigueta con alambres anclados en sus extremos no demuestra apenas superioridad sobre las ejecutadas con alambres atacados con ácido, no anclados.
- d) El tratamiento de los alambres con el ácido mejora considerablemente la adherencia, pero no es suficiente por si solo para los aceros de elevado límite elástico. Sin embargo, proporcionará resultados satisfactorios en los alambres de pequeños diámetros cuyo límite de elasticidad no sobrepasa los  $100 \text{ Kg/mm}^2$
- e) La resistencia a la rotura, apenas se modifica por el pretensado. La gran ventaja de este es la de disminuir considerable



mente las flechas y la de retardar el agrietamiento del hormigón así como el deslizamiento de la armadura.

f) Las primeras grietas se observaron:

Vigueta A	para una carga de	90 Kg.	M=4500 cm.Kg.
Vigueta B	" " "	de 250 á 290 "	M=12500-14500 cm.
Vigueta C	" " "	de 300 á 310 "	M=15000-15500 cm.
Vigueta D	" " "	de 340 Kg.	M=17000 cm.Kg.
Vigueta E	" " "	de 350 Kg.	M=17000 cm.Kg.

Los ensayos de fatiga han demostrado que ninguna de las viguetas habría podido soportar, a la larga, cargas repetidas del orden de 240 Kg., correspondientes a un esfuerzo de tracción de  $192 \text{ Kg/cm}^2$  del hormigón, cuyo esfuerzo de pretensado era de  $185 \text{ Kg/cm}^2$ . La resistencia propia del hormigón a tracción parece haber desaparecido.

A continuación de estos ensayos se realizó otra serie sobre viguetas armadas con aceros retorcidos de sección cuadrada de 4 mm. de lado y con acero semiduro comercial, de sección cuadrada de 5 mm. de lado.

El hormigón pretensado no puede someterse con éxito a cargas repetidas si su armadura no está suficientemente armada en toda su longitud. Los alambres de pequeño diámetro puede satisfacer plenamente su sometido, siempre que su límite de elasticidad no sobrepase los  $100 \text{ Kg/mm}^2$ , incluso en este caso la seguridad es pequeña.

El acero Isteg es excelente, pero se presta mal a ser estirado. Por estas razones, se realizaron estos ensayos con acero de sección cuadrada retorcidos por el procedimiento SERRASIN.

Los ensayos se efectuaron sobre 6 viguetas F, G, H, I, J, K, L armadas en la forma indicada y con hormigón de cemento - Holderbank especial de  $390 \text{ Kg/m}^3$  como el empleado en la primera serie.

De esta serie de ensayos se dedujeron las siguientes - consecuencias:

- a) Todas las viguetas armadas con acero de sección cuadrada retorcido, mostraron una notable resistencia bajo cargas estáticas. Por el contrario, las armadas con acero de sección cuadrada no retorcido (viguetas F e I) perecieron prematuramente como consecuencia del deslizamiento de las armaduras. Los ganchos de la viga I produjeron un efecto útil, no comparable, sin embargo al del anclaje continuo del acero retorcido.
- b) Las resistencias a rotura fueron sensiblemente las mismas para las viguetas armadas de barras, de sección cuadrada, retorcidas, de 4 ó 5 mm. de lado, pretensadas ó no. Fueron ligeramente superiores a las de las viguetas armadas de aceros redondos de 3 mm. de diámetro.
- c) Todas las roturas se produjeron por aplastamiento del hormigón; sin embargo las viguetas M y L pretensadas, han mostrado, poco antes de ceder, signos de fatiga atribuibles, para la viga H, al destrenzado y al deslizamiento de la armadura tesa y para la viga L a haber sobrepasado el límite de elasticidad del metal.
- d) Las primeras grietas se observaron bajo cargas P de:

Vigueta F $\square$ 4/4 no retorcido, sin pretensado . . . . .	175 Kg.
Vigueta G $\square$ 4/4 retorcido sin pretensado . . . . .	300 "



Vigueta H □ 4/4 retorcido, pretensado 950/barra . . .	300 Kg.
Vigueta I □ 5/5 retorcido, sin pretensado . . . . .	150 "
Vigueta K □ 5/5 retorcido, sin pretensado . . . . .	175 "
Vigueta L □ 5/5 retorcido, pretensado 950/barra . . .	400 "

Cierto es que, bajo cargas bastante más débiles, se producen grietas no visibles que se ponen de manifiesto bien por los elongámetros o bien por la disminución del momento de inercia. Las flechas permanentes observadas desde el comienzo de los ensayos pueden atribuirse a las deformaciones plásticas y, para las viguetas no pretensadas, a la relajación de las armaduras que habían resultado comprimidas por la retracción del hormigón.

- e) Contrariamente a lo que se produce habitualmente en las piezas de hormigón armado ordinario sometidas a flexión el número de grietas capilares aumenta progresivamente con la carga, sin que ninguna de ellas se abra fuertemente, y sin que se produzcan anomalías en las curvas de deformaciones o tensiones. Fué muy difícil registrar el instante exacto en que se produjo la primera grieta.

Las grietas son numerosas, pero apenas visibles en tanto que no hay deslizamiento por no sobrepasarse el límite de elasticidad del metal; estas grietas se vuelven a cerrar y desaparecen completamente cuando se retira la carga. Se observan en primer lugar en la cara inferior de las vigas y suben progresivamente por las caras laterales a medida que la carga aumenta.

Esta particularidad, que ha sido observada en todas las

viguetas, mientras que la armadura no se deslizaba completamente, debe atribuirse al empleo de barras de pequeño diámetro que le aseguran un anclaje continuo bajo cargas estáticas.

Inversamente, cuando en una viga de hormigón armado se produce una grieta no elástica, que no puede atribuirse a la retracción, puede deducirse que se ha producido un deslizamiento local de la armadura ó que se ha sobrepasado el límite de elasticidad de la misma.

- f) El pretensado no modifica de modo apreciable la resistencia a la rotura de las viguetas; por el contrario disminuye considerablemente las deformaciones (flechas) bajo cargas moderadas y retarda la aparición de las primeras grietas.
- g) En el hormigón no pretensado, el acero retorcido de sección cuadrada provoca, bajo cargas pequeñas, deformaciones mayores que el acero de sección cuadrada no retorcido. Este hecho puede atribuirse a las compresiones iniciales de la armadura, debidas a la retracción a la que se opone violentamente el acero retorcido; las deformaciones son menores para el acero liso no retorcido, sobre el que el hormigón joven, aún poco adherente, puede deslizarse ligeramente. El mismo fenómeno se observa, por otra parte, con el acero Isteg. Bajo cargas mayores la armadura lisa comienza a deslizarse, lo que produce un aumento rápido de las flechas y disminuye la resistencia final.
- h) A igualdad de carga, las viguetas pretensadas armadas con barras de acero retorcido, de sección cuadrada de 4 y 5 mm. de lado, acusan en general flechas un poco más débiles que las armadas con alambres redondos de acero de 3 mm. de diámetro. Las diferencias se acentúan para cargas fuertes (hormigón agrie



tado) a causa de diferencias de sección de las armaduras -- (0,42,, 0,96,, 1,50 cm<sup>2</sup>) y a causa del deslizamiento de los redondos.

- i) Los resultados de los ensayos de la vigueta H indican que bajo carga de 575 Kg. (M= 28750 cm/Kg.) el esfuerzo de tracción en las barras tesas (no incluyendo el esfuerzo inicial de pretensado) ha variado de 6450 a 3120 Kg/cm<sup>2</sup> entre 1,20 y 0,80 m. de distancia del apoyo, ó sea en 20 cm. de longitud. Esto pone de manifiesto la eficacia del anclaje del acero retorcido de sección cuadrada así como la existencia de un elevado coeficiente de trabajo del hormigón sometido a esfuerzo cortante bajo la presión de las caras oblicuas a las barras.

A continuación de los anteriores se realizaron otros ensayos sobre viguetas de 7 x 15 x 265 y 10 x 15 x 265. Estos se hicieron con el objeto de comprobar el comportamiento de unas viguetas más rápidas, ya que las del ensayo anterior eran de pequeña sección muy flexibles con una cuantía comprendida entre el 0,85 y el 3%.

Se ensayaron 9 viguetas (M, N, O, P, Q, U, V, X, Y) de hormigón de cemento Holderbank especial de 390 Kg/m<sup>3</sup> y otras 3 (R, S, T) de hormigón de cemento aluminoso de 260 Kg/m<sup>3</sup>.

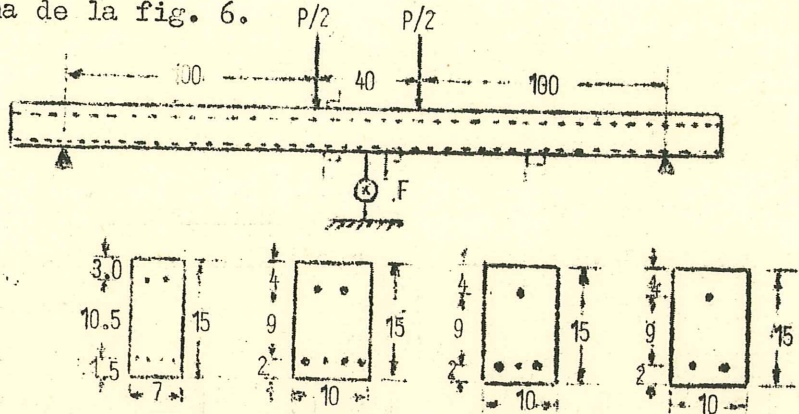
Las armaduras estaban constituidas del siguiente modo:

Viguetas	M N	R S T	O P Q	U	V X Y
	6 $\emptyset$ 3	6 4/4	6 5/5	1 $\emptyset$ 5 + 3 $\emptyset$ 10	3 10/10

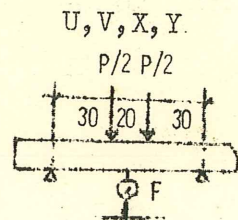
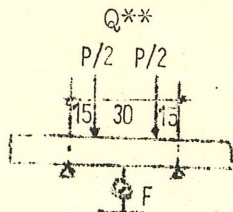
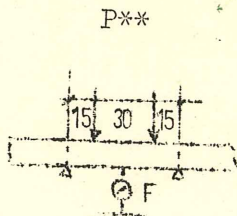
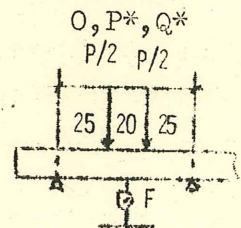
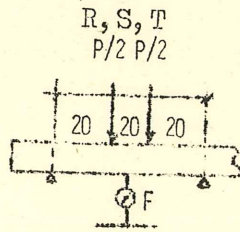
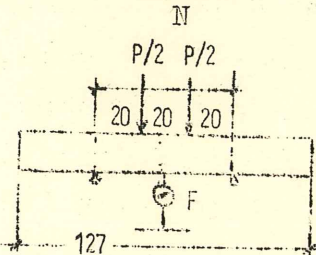
Sobre todas ellas se efectuaron ensayos estáticos y en

Los ensayos dinámicos cuyos resultados se encuentran representados en los gráficos 2, 3, 4 y 5.

Los ensayos estáticos se realizaron de acuerdo con el esquema de la fig. 6.



Los ensayos dinámicos se realizaron según los esquemas que se indican:



(\* ) 1<sup>er</sup> ensayo . (\*\* ) 2<sup>o</sup> ensayo



Todos estos ensayos sirvieron para completar los anteriormente realizados, juntos con los cuales condujeron a las siguientes conclusiones:

#### Ensayos directos de adherencia acero-hormigón

Los ensayos de adherencia que se realizaron sobre alambres de acero trefilado de alto límite elástico facilitaron las siguientes deducciones:

- 1º - La adherencia en  $\text{Kg/cm}^2$  de superficie envuelta de alambre, es independiente del diámetro de los alambres.
- 2º - La adherencia crece con la duración del endurecimiento, es decir con la resistencia al esfuerzo cortante y la compacidad del hormigón.
- 3º - La adherencia es más elevada (aproximadamente en un 50%) - cuando el hormigón ha endurecido en el agua que cuando ha sido conservado al aire. No viene pues influenciada por la retracción.
- 4º - La adherencia crece con la rugosidad de la superficie de los alambres porque mejora con el ataque por ácido ó por oxidación.
- 5º - La adherencia de los aceros trefilados, incluso oxidados, es muy inferior a la de los aceros laminados; es frecuentemente inferior a  $10 \text{ Kg/cm}^2$ , lo que necesita una gran longitud de superficie envuelta.

Puede ser reducida esta, utilizando alambres de muy pequeño diámetro, es decir, aumentando el perímetro envuelto con relación a la sección de los alambres. Este procedimiento

to tiene siempre el inconveniente de complicar considerablemente y de encarecer las construcciones de hormigón pretensado.

- 6º - El esfuerzo de extracción crece con la longitud envuelta - del alambre, pero más lentamente que esta, a causa del desprendimiento progresivo debido a la elasticidad del metal. Una tracción de  $10 \text{ t/cm}^2$  corresponde en efecto a un alargamiento de  $5 \text{ mm/m}$ , de modo que el desprendimiento de la armadura (esfuerzo cortante del hormigón) se propaga poco a poco, a tirones y no de un modo continuo.
- 7º - El efecto de anclaje debido al aumento de volumen del acero liberado del esfuerzo inicial de pretensado es insignificante. Es completamente anulado, en general, por el deslizamiento inicial de la armadura que somete al hormigón, a esfuerzo cortante, a todo lo largo de ese deslizamiento y disminuye la adherencia ulterior en este trozo.
- 8º - El anclaje en los extremos de las barras es de una realización difícil y poco segura desde que se usan aceros duros cuyo límite de elasticidad sobrepasa las  $8 \text{ ó } 10 \text{ t/cm}^2$ .
- 9º - El anclaje, en el hormigón, de barras de acero retorcido - de sección cuadrada (patente SARRASIN) es excelente y eficaz, incluso en débiles longitudes.

Las reacciones en las caras oblicuas de las barras - crean esfuerzos laterales considerables que pueden ser peligrosos si las armaduras están colocadas muy cerca de la superficie del hormigón.



Ensayos sobre viguetas armadas con redondos  
de acero de 3 mm. de diámetro

- 10 - Las vigas pretensadas se comportan muy bien bajo cargas estáticas, mientras que el esfuerzo de tracción en el hormigón no sobrepasa al esfuerzo de pretensado del mismo.
- 11 - Cuando este límite ha sido sobrepasado, se produce un agrietamiento bajo cargas repetidas y las viguetas muestran signos de fatiga que se agravan con el número de sollicitaciones. Esta fatiga se debe al deslizamiento de las armaduras cuya adherencia es insuficiente.

Este deslizamiento es local y se produce en la zona agrietada de momento flector máximo. Se debe a las diferencias de tracción muy considerables en el acero junto a una grieta y en la zona inmediatamente próxima, no agrietada, - en la que el hormigón trabaja aun a tracción. Se deduce que estos deslizamientos locales se observan solo durante el ensayo estático pero que, en el caso de cargas repetidas, se propagan progresivamente hasta los extremos de la vigueta. El anclaje en los extremos de los alambres no puede impedir este deslizamiento local.

Durante los ensayos dinámicos de la vigueta N, la primera grieta apareció después de 90.000 reiteraciones de un momento de 0,30 m.t.; después de 600.000 reiteraciones, la flecha aumentó a más del doble. Este momento de 0,30 m.t. - corresponde a un esfuerzo de tracción en el hormigón, según el cálculo, de  $105 \text{ Kg/cm}^2$ , cuando el esfuerzo inicial de -

pretensado era de  $104 \text{ Kg/cm}^2$ . Durante los ensayos estáticos se observaron, para un momento de  $0,40 \text{ mt}$ , los primeros deslizamientos de la armadura, que coincidieron con la aparición de dos grietas.

Este peligro de deslizamiento, muy grave en los aceros duros trefilados sometidos a esfuerzos de tracción elevados no es apenas temible en el hormigón armado ordinario, debido a la mejor adherencia de los aceros laminados y al coeficiente de trabajo de la armadura, que no sobrepasa los  $1000$  ó  $1400 \text{ Kg/cm}^2$  en el caso del hormigón agrietado.

- 12 - La resistencia a la rotura no se modifica, apenas, por el pretensado. La gran ventaja de este es la de disminuir considerablemente las flechas así como los coeficientes de trabajo del hormigón; de retardar el agrietamiento del hormigón y el deslizamiento de la armadura.

Esta última particularidad es debida al lento crecimiento, proporcional a los momentos flectores, de la tracción en el acero mientras que el hormigón no se agriete y su crecimiento rápido e irregular desde que se agriete el hormigón.

- 13 - Las viguetas A y M, no pretensadas, armadas de alambres de  $3 \text{ mm}$ . de diámetro, acusaron, bajo cargas moderadas, flechas considerables y un fuerte agrietamiento, acompañados de un notable deslizamiento de la armadura, cuando la tracción en esta no sobrepasa los  $3000$  ó  $4000 \text{ Kg/cm}^2$ .



Viguetas armadas de acero retorcido de sección cuadrada de 4 y 5 mm. de lado

- 14 - El anclaje de las barras es excelente sin que se produzca ningun deslizamiento, hasta el momento de la rotura. Esta fué provocada, en varias viguetas sometidas a cargas repetidas, por aplastamiento del hormigón bajo la acción de los esfuerzos laterales ejercidos por las caras oblicuas de las barras introducidas a pequeña profundidad.
- 15 - Las tracciones en el acero disminuyen, desde el punto medio de las viguetas a los apoyos, mucho más rápidamente que los momentos flectores, no obstante producirse un fuerte agrietamiento en el hormigón. Las diferencias entre los coeficientes de trabajo del acero entre dos puntos proximos puede alcanzar varias  $t/cm^2$  (ver los gráficos de tensiones de las viguetas R. S. T), lo que demuestra la necesidad del anclaje continuo en cuanto el hormigón se agrieta.
- 16 - Todas las viguetas armadas con aceros de retorcidos de sección cuadrada mostraron una notable resistencia bajo cargas estáticas ó dinámicas, incluso después de un fuerte agrietamiento porque en ellas son imposibles los deslizamientos locales.

Por el contrario las viguetas F é I armadas con aceros no retorcidos, perecieron prematuramente como consecuencia del deslizamiento de la armadura. Los ganchos terminales de los aceros no retorcidos de la vigueta I tienen una utilidad totalmente nula si se compara con la seguridad que ofrecen los anclajes continuos de acero retorcido.

- 17 - Las resistencias a rotura de las viguetas armadas con acero retorcido de sección cuadrada no se modifican apenas por la acción del pretensado. La gran ventaja de este es la de disminuir las flechas así como los coeficientes de trabajo del hormigón.
- 18 - Las viguetas armadas con acero retorcido de sección cuadrada ofrecen una mayor seguridad, gracias al anclaje continuo, que las viguetas armadas con redondos. El agrietamiento no hace temer una rotura prematura, hasta que el límite de elasticidad de la armadura ó la resistencia del hormigón no han sido sobrepasados. Esto siempre que los aceros tengan al menos un revestimiento de 2 cm. de hormigón para evitar el peligro de aplastamiento de este último.
- 19 - Una vez descartado el peligro de deslizamiento de los aceros, que se produce como consecuencia del agrietamiento del hormigón, es posible aplicar un pretensado más débil a condición de que las flechas correspondientes al hormigón agritado sean aún admisibles.

Viguetas con fuerte armadura de acero  
dulce, redondo ó de sección cuadrada

- 20 - Todas las viguetas cedieron como consecuencia de haberse sobrepasado el límite de elasticidad del acero.
- 21 - No se pudo comprobar ningún deslizamiento de la armadura, ni siquiera en la vigueta U no pretensada, armada con redondos de acero laminado y dotados de ganchos terminales.
- 22 - En las viguetas V, X e Y, armadas con aceros retorcidos de sección cuadrada de 10 mm. de lado, el pretensado no modifi



có sensiblemente la resistencia a la rotura, pero en cambio permitió reducir casi a la mitad las flechas y los coeficientes de trabajo del hormigón comprimido.

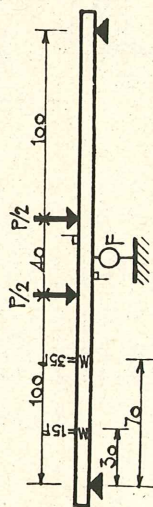
Gracias a los grandes alargamientos del acero dulce, - que ofrecen completa garantía contra el peligro de una rotura brusca, observada algunas veces al emplear acero de alto límite elástico, se ha podido llevar el pretensado hasta el límite de proporcionalidad de los alargamientos del acero.

- 23 - El agrietamiento no ocasionó ningún trastorno al buen comportamiento del hormigón incluso en los ensayos dinámicos. Fué difícil determinar exactamente bajo que carga se produjo el agrietamiento, no presentando las curvas de flechas o tensiones, irregularidades notables.
- 24 - Las flechas, mayores que las dadas por el cálculo, y los débiles alargamientos del hormigón, en la zona extendida, hacen suponer que se produjo un primer agrietamiento, antes de aplicar el pretensado, bajo la acción de la retracción a la que se opone la armadura.
- 25 - Las viguetas V, X, Y armadas con tres barras de acero dulce de 10 mm. de lado se comportan mejor, y ofrecen mayor seguridad que las R, S, T, armadas con 6 barras de acero de alto límite elástico de 4 mm. de lado, aunque sean equivalentes las resistencias totales de las armaduras y los esfuerzos de pretensado.

En estas dos series de ensayos las secciones de acero estaban en la relación de 3 a 1.



Gráfico 1 Ensayos de viguetas armadas con alambre Ø 3 mm.



Acero

Lim. elást. 19 t/cm<sup>2</sup>

Resist. trac. 21 t/cm<sup>2</sup>

Alargamiento 1,7 %

Mod. Elast. E<sub>a</sub> 2150 t/cm<sup>2</sup>

Aplicación del pretensado a los 7 días. Edad al realizar los ensayos 35 días

Hormigón no agrietado

σ<sub>bc</sub> = 0,0168 M.

σ<sub>at</sub> = 0,0160 M.

l = 214 cm<sup>4</sup>

D. 6 al. rugosos no anclados

pretensado 950 kg/alam.

Hormigón vibrado P = 10 + 90 √ d:15

CP espec. 390 kg/m<sup>3</sup> R. compres. 7 d 530 kg/cm<sup>2</sup>

Grava 0,1 - 15 1910 28d 620

Agua 150

Densidad 2,45 E<sub>b</sub> = 350 t/cm<sup>2</sup>

Hormigón agrietado

σ<sub>bc</sub> = 0,029 M.

σ<sub>at</sub> = 0,07 M.

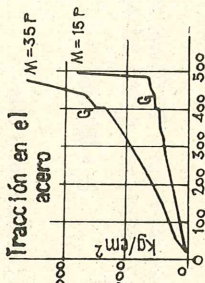
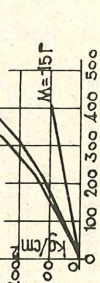
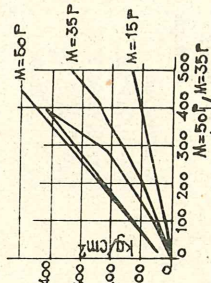
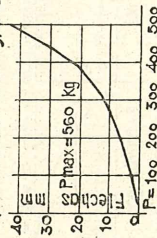
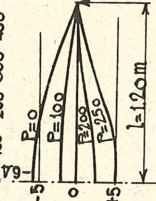
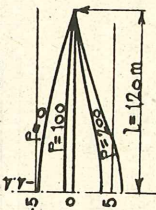
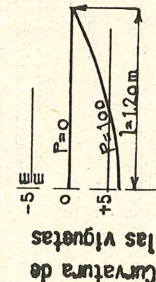
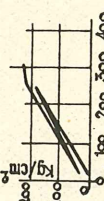
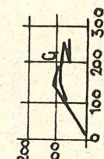
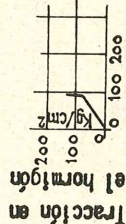
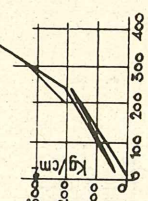
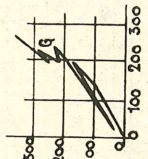
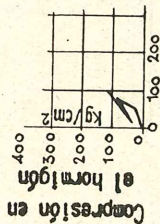
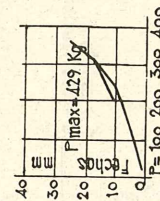
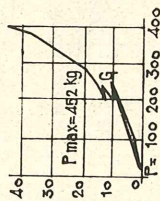
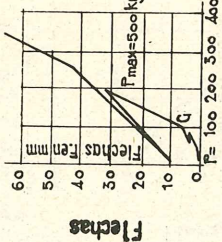
l = 63 cm<sup>4</sup>

E. 6 al. lisos no anclados

pretensado 950 kg/alam.

B. 6 alam. rugosos no anclados. Pretensado 500 kg/al. C. 6 alambres lisos anclados en sus ext. pretensado 950 kg/al.

A. 6 alambres lisos no anclados. Pretensado nulo



G - Deslizamiento de la armadura



### Gráfico 4

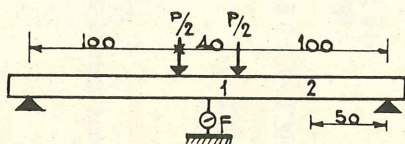
Ensayos de viguetas armadas con 6 barras de acero cuadrado retorcido de 4/4 mm.

Acero. Lim. elást. = 11.0 t/cm<sup>2</sup>  
 Resist. trac. = 16.4 " "  
 Mod. elast. = 1900 " "

Hormigón vibrado 260 kg. C. Al.  $P = 10 + 90 \sqrt{d:15}$   
 $R_c$  a los 2 días = 480 kg/cm<sup>2</sup>  $R_c$  a los 4 días = 605 kg/cm<sup>2</sup>  
 $E_b = 350 \text{ t/cm}^2$

Hormigón

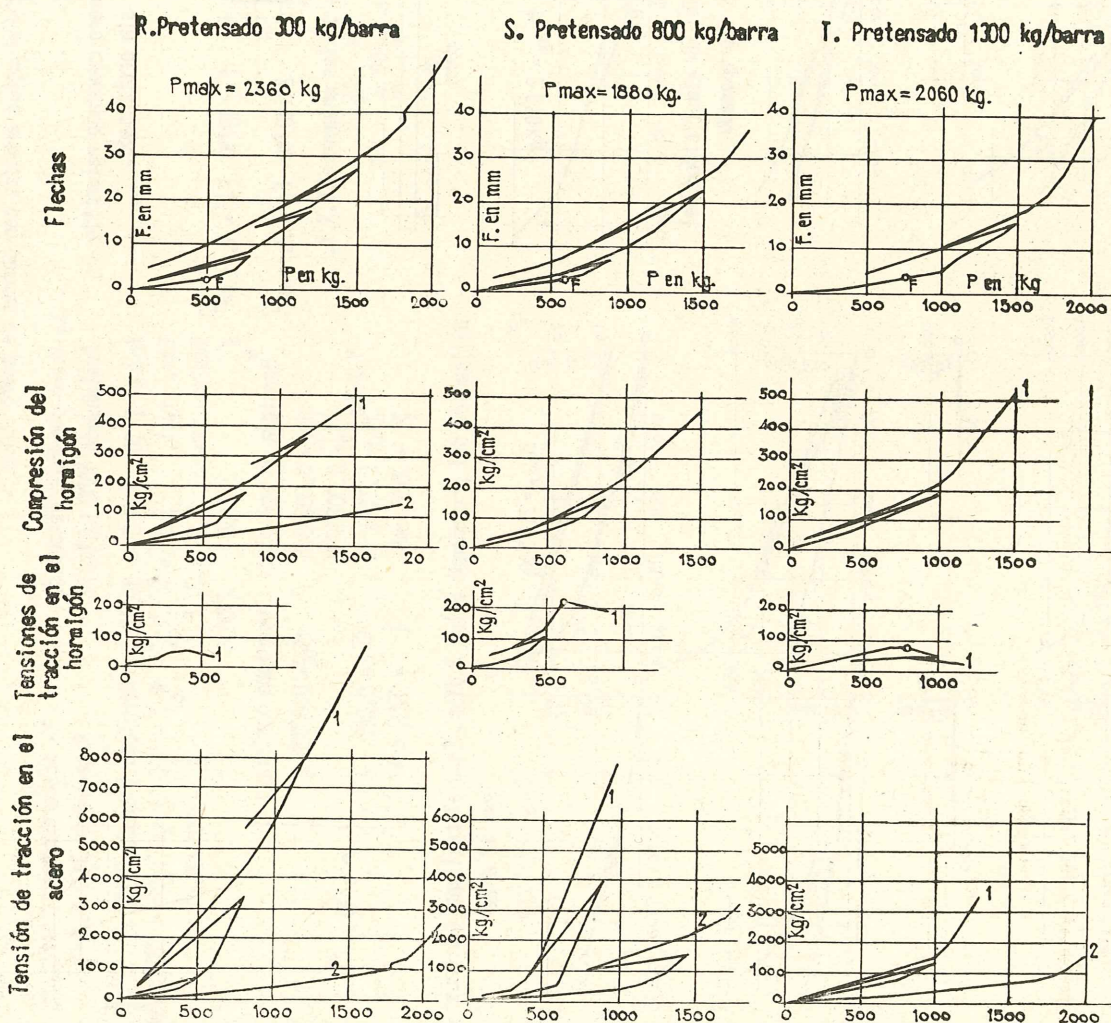
No agrietado	agrietado
$\sigma_{bc} = 0.0025$ ■	0.0048 ■
$\sigma_{bt} = 0.0024$ ■	--
$\sigma_{at} = 0.0175$ ■	0.132 ■
$I = 3025 \text{ cm}^4$	$I = 720 \text{ cm}^4$
$n = 10$	



2  $\square$  4/4  $F_e = 0.32 \text{ cm}^2$   
 1  $\square$  4/4  $F_e = 0.64 \text{ cm}^2$

Sec. 1 ■ = 50 P  
 Sec. 2 ■ = 25 P

Aplicación del pretensado a los 2 días. Edad al efectuar los ensayos = 4 días



Conclusiones generales

- a) La condición primordial para emplear con éxito el hormigón - pretensado sometido a cargas repetidas, es que la adherencia entre el acero y el hormigón quede perfectamente asegurada.
- b) Esta perfecta adherencia no puede garantizarse siempre cuando se emplea acero redondo trefilado de alto límite elástico y - sometido a un fuerte tesado.

La pérdida de tensión de los alambres como consecuencia del deslizamiento inicial de los mismos durante la aplicación del pretensado es difícil de valorar por adelantado; unas veces será insignificante y otras muy notable. Asimismo es delicado determinar exactamente cual será el esfuerzo final de - pretensado del hormigón y, como consecuencia, bajo qué carga es de temer que se produzca la primera grieta. El agrietamiento trae consigo, casi infaliblemente, el deslizamiento local, más o menos pronunciado, de la armadura de alambres redondos trefilados.

Estas alteraciones son más de temer cuanto más débil -- es el porcentaje de acero sometido a un fuerte tesado. Será -- preciso pues aumentar el coeficiente de seguridad a la vez que el pretensado, lo que perjudica la economía de acero.

- c) Por el contrario, queda asegurada una adherencia excelente con el empleo de anclaje continuo (acero Isteg, patente Sarrasin) que ofrece toda seguridad, incluso si el hormigón está agrietado.

En este caso puede disminuirse el coeficiente de segu-



ridad ya que no son de temer deslizamientos de la armadura.

- d) Las dificultades de ejecución del pretensado crecen rápidamente con la tensión inicial aplicada a la armadura. Son estas prohibitivas cuando el esfuerzo de pretensado de las barras sobrepasa las 6 ó 8 t/cm<sup>2</sup>.

El anclaje continuo, que suprime los peligros de deslizamiento que son consecuencia del agrietamiento, permite no aplicar mas que esfuerzos moderados de pretensado, incluso cuando se utiliza un acero de elevado límite de elasticidad. Esta es la ventaja esencial del procedimiento Sarrasin sobre el de Freyssinet.

- e) No es lógico el empleo del hormigón pretensado hasta que las actuales normas para el cálculo del hormigón armado no hayan sido modificadas en lo que concierne a las tensiones admisibles de trabajo del hormigón y del acero.

Es preciso aceptar flechas relativamente fuertes que pueden alcanzar 1:500 e incluso 1:200 de la luz. Estas pueden reducirse realizando perfiles de momento de inercia máximos para un mínimo de sección de hormigón y de acero.

- f) Se han obtenido resultados muy interesantes utilizando acero retorcido de sección cuadrada, de calidad ordinaria, tesado hasta las proximidades de su límite de elasticidad (3 t/cm<sup>2</sup> en la vigueta Y). Es probable que el efecto del pretensado desaparezca con el tiempo. Se ha conseguido compensar todas las deformaciones elásticas plásticas y de retracción, impidiendo por consiguiente toda grieta por retracción y conservar intacta la resistencia del hormigón a tracción.

Un excelente anclaje de las barras, permite considerar una tensión admisible de trabajo del acero dulce igual a  $2400 \text{ Kg/cm}^2$ . Los alargamientos plásticos de la armadura harán desa parecer localmente la acción del pretensado, si la tensión - que aún queda en las barras, aumentada en la tracción suplemen taria debida a las cargas, rebasa el límite de elasticidad - del metal. La circunstancia de que este límite sea, en ocasio nes, superado, no supone un peligro para la estabilidad de la pieza, siempre que las tracciones debidas a las cargas se en- cuentren dentro de las tolerancias admitidas.



Durante el pasado mes de Noviembre y organizado por la Asociación Española del Hormigón Pretensado, de este Instituto, el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, D. Alfredo Páez Balaca, ha dado en Barcelona, y en los locales del Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares, un curso sobre hormigón pretensado en el que se desarrollaron los siguientes temas:

Día 24: Las tensiones previas y las residuales.  
Estructuras metálicas y cerámicas pretensadas.  
El hormigón pretensado: La precompresión, la retracción y la preflexión.  
El pretensado y el postensado.  
Armaduras autotesas. Los cementos expansivos.

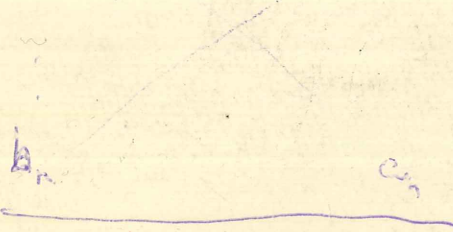
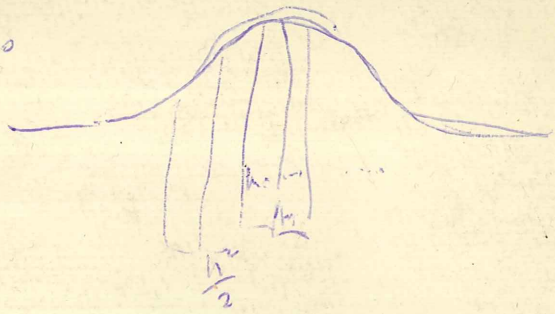
Día 25: Posibilidades de aplicación del hormigón pretensado.  
Traviesas. Viguetas. Pilotes. Postes. Escaleras helicoidales. Tuberías. Silos. - Depósitos cilíndricos. Grandes depósitos. Naves industriales. Puentes. Pistas de aterrizaje. Presas.  
La técnica española. Tempul (1926) Alloz (1940).  
La cúpula del mercado de Algeciras y la de San Félix y Régula.  
Placas. Silos. Tuberías.

- Día 26:** Los dispositivos de tesado.  
Los aceros especiales: Alambres. Redondos. Cables trenzados.
- a) La técnica alemana.
  - b) La técnica franco-belga.
  - c) La técnica suiza.
  - d) La técnica italiana.
  - e) Variantes.
  - f) Las soluciones españolas en Tempul, Alloz, Palmones, Almarail y Jarama.
- Día 27:** Precauciones a adoptar en la ejecución.  
Las deformaciones del acero: Límites de proporcionalidad y fluencia. Los ensayos de Campus y las prescripciones alemanas. Los ensayos de Bolomey.  
Posibles soluciones. El retesado y la equitensión de los alambres.
- Día 28:** Precauciones a adoptar en el proyecto.  
La fisuración.  
La teoría clásica y los cálculos en rotura: Compresión y flexión compuestas.  
Subdivisión del coeficiente de seguridad.  
El momento mínimo y el momento máximo.  
El comportamiento del hormigón.  
Armaduras mixtas (ordinarias y pretesas).  
Resolución práctica del problema general.  
Comprobación de secciones en rotura.



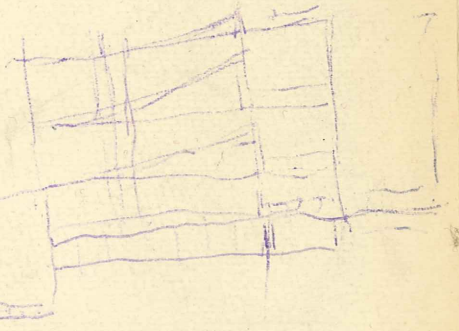
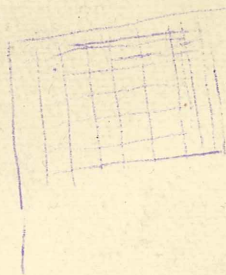
$a_1, b_1, c_1, d_1, \dots, n_1 \rightarrow A_{20}$

$n_2, a_2, b_2, \dots, n_2 = \text{B}$



$a_1, a_2, a_3, \dots, n_1, n_2, n_3$   
 $b_1, b_2, b_3, \dots$   
 $c_1, c_2, c_3, \dots$   
 $d_1, d_2, d_3, \dots$

$a_n, b_n, c_n, d_n, \dots$



$x_1, x_2, x_3, \dots$

$y_1, y_2, y_3, \dots, x^2$

2 1  
3 2  
5 3  
1

$v_1, v_2, v_3, \dots$