ULTIMAS NOTICIAS SOBRE

# hormigón pretensado



BOLETIN NUM. 30 DE LA ASOCIACION ESPAÑOLA DEL HORMIGON PRETENSADO
DEL INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

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

a/

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

Patronato "Juan de la Cierva" de Investigación Técnica



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

Técnicas en Estructuras

Hormigón Pretensado

Boletín de circulación limitada

Nº 30

Enero-Febrero 1956

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

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

# I N D I C E


| | | Pág. |
|---|---|---|
| 628-0-5 | Experiencias y problemas relativos a la fabricación y utilización de los aceros para pretensado.- A.G.S. Bruggeling ..... | 1 |
| 837-0-3 | Influencia de la inyección y de los anclajes en el comportamiento de - los elementos de hormigón pretensado.- 2ª parte.- B. Kelopuu ..... | 35 |
| | Informe sobre los cursillos de hormigón pretensado ..... | 52 |


- - -

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

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

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

1 628-0-5 EXPERIENCIAS Y PROBLEMAS RELATIVOS A LA FABRICACION Y UTILIZACION DE LOS ACEROS PARA PRETENSADO

(Expériences et problèmes concernant la fabrication et l'utilisation des aciers pour précontrainte)

Por A.G.S. Bruggeling

INFORME GENERAL DE LA SESION IB DEL SEGUNDO CONGRESO DE LA FEDERACION INTERNACIONAL DEL PRETENSADO - AMSTERDAM, Septiembre 1955

## - S i n o p s i s -

El autor hace un interesante resumen de las distintas comunicaciones recibidas sobre el tema. Estudia y comenta las conclusiones a que se llega en dichas comunicaciones y, finalmente, expone las condiciones que -según él- deben cumplir los aceros de pretensado.

- - -

## RESUMEN DE LAS COMUNICACIONES RECIBIDAS RELATIVAS AL TEMA IB

Sobre este tema, tratado en el Segundo Congreso de la FIP, se han recibido seis comunicaciones.

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

## Comunicación nº 2 - Dificultades que se presentan en el empleo y la fabricación de los aceros para pretensado

Por M.C.F. Brereton (Inglaterra)

En este informe su autor recoge todos los datos, publicados en Inglaterra, sobre los aceros para pretensado. Señala el gran cuidado que hay que poner al establecer las características más convenientes que ha de cumplir este acero, y destaca los diversos problemas, que merecen ser considerados, y que son:

1º) corrugado de la superficie de los alambres, con el fin de favorecer su adherencia;

2º) hasta qué punto se puede admitir la corrosión en la superficie del alambre, y

3º) las propiedades mecánicas de los alambres (resistencia a la tracción, tensión de relajamiento) y la conveniencia de una mayor uniformidad en las características de los aceros suministrados por cada fabricante. Los usuarios reclaman, sobre todo, que sea constante su resistencia a la fatiga.

Es de agradecer a M.C.F. Brereton sus interesantes manifestaciones.

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

## Comunicación nº 1 - Resultados obtenidos en una serie de ensayos sobre aceros para el hormigón pretensado

Por Mr. Franco Levi (Italia)

—

Es muy interesante el resumen que presenta el Profesor Levi de los resultados obtenidos en los ensayos, por él realizados, con el fin de conocer el comportamiento de los aceros de pretensado. En sus conclusiones, el Profesor Levi, hace resaltar las siguientes o importantes observaciones:

1ª) que no es posible deducir, de momento, ninguna relación entre el diagrama esfuerzos-deformaciones y la tensión de relajamiento del acero;

2ª) que, en general, las pérdidas de tensión a lo largo del tiempo, dada una determinada tensión inicial, disminuyen rápidamente, de modo que, con un ensayo relativamente breve, se puede tener una visión, suficientemente exacta, de la tendencia del acero al relajamiento;

3ª) que para definir las características de los aceros, además de los ensayos de alargamiento en rotura, plegado y torsión, son necesarios, también, los de fatiga y resistencia, y

4ª) que la rotura expontánea de los aceros para pretensado no debe atribuirse siempre a la corrosión bajo carga. Se debe también tener en cuenta su resistencia a la fatiga y la existencia de tensiones internas en el material.

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

Respecto a la resistencia a la fatiga hace observar que las tensiones en el acero suelen ser mayores de lo que se supone, debido, entre otras causas, a las sobretensiones y a defectos locales. El Profesor Levi insiste mucho en la necesidad de examinar, con detenimiento y de una manera sistemática, todos los problemas referentes al acero de pretensado. Con este fin propone un amplio intercambio y difusión de los resultados obtenidos en los estudios realizados por los diferentes investigadores.

También indica que, en Italia, se está preparando una instrucción para el hormigón pretensado y que la comisión encargada de redactarla se ha impuesto las siguientes directrices:

a) prevenir eventuales sorpresas debidas a la adopción de cargas elevadas, y

b) recomendar que se empleen, siempre que sea posible, tipos de acero fabricados según los sistemas clásicos.

- - -

Comunicación nº 6 - El acero para hormigón pretensado

Por M. Millot (Francia)

-

Millot observa que en Francia no existe la necesaria colaboración entre los fabricantes y los consumidores de acero para pretensado. Esta falta de colaboración da lugar a una serie de dificul-

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

tades en el empleo de los aceros, algunas de las cuales señala en su comunicación.

También estudia algunos tipos de acero y sus sistemas de fabricación. Refiriéndose a la rotura espontánea de los alambres, indica las siguientes posibles causas:

a) grietas en la superficie y en el interior del alambre debidas, entre otras causas, a defectos del material o de fabricación. Resulta, por lo tanto, necesario examinar dichos alambres al microscopio y ensayarlos a torsión para comprobar si están o no deteriorados;

b) corrosión bajo carga, y

c) tensiones internas del material.

También cita Millot los extremos que -según su opinión- deben comprobarse en los ensayos de recepción del acero y señala la necesidad de variar dichos ensayos, según el empleo que haya de darse al material.

- - -

Comunicación nº 3 - Algunos problemas relativos a los aceros de alta resistencia para hormigón pretensado, considerados desde el punto de vista del consumidor

Por M. Bouvy (Holanda)

-

Bouvy hace algunas observaciones sobre las exigencias de los consumidores de acero para pretensado. Dedica particular atención

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

al problema del relajamiento, llegando a la conclusión de que, en general, el relajamiento no da lugar a caídas de tensión tan fuertes como se supone.

Hace resaltar, también, la importancia que tiene para el consumidor, que el acero que se le suministre sea de características constantes.

Resultan del mayor interés los datos recogidos por Bouvy sobre la rotura espontánea de los aceros para pretensado. Insiste, a este respecto, sobre la necesidad de proteger el alambre contra la corrosión durante su transporte, y recomienda que el alambre refinado no se coloque en obra en condiciones que favorezcan su corrosión.

El autor manifiesta que, por otra parte, en las estructuras que hasta ahora lleva construídas no se le ha roto todavía ningún alambre.

También hace observar la ventaja que tendría para el consumidor, el que el precio del acero de pretensado estuviera calculado por Kg de carga admisible en lugar de por Kg de peso.

- - -

Comunicación nº 4 - Ensayos de fluencia sobre aceros para pretensado

Por Mr. Canta (Holanda)

-

Mr. Canta, en su informe, da cuenta de los resultados obtenidos en unos ensayos de fluencia realizados bajo tensiones muy ele-

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

vadas. El comportamiento del acero, bajo dichas tensiones, puede dar una idea sobre cómo ha de comportarse bajo las tensiones normales. Los ensayos se pueden considerar como muy interesantes por lo inesperado de los resultados obtenidos. En general, se puede asegurar que bajo tensiones muy elevadas, el alambre normal, trefilado en frío, se comporta mejor que el trefilado en frío y tratado después térmicamente. En las conclusiones de su comunicación, Mr. Canta deduce que:

a) en el caso de alambres trefilados en frío y adoptando un sistema de coordenadas semilogarítmicas, la fluencia se presenta como función lineal del tiempo, y

b) los ensayos de breve duración no permiten hacer ninguna previsión acerca del comportamiento del acero mantenido bajo carga durante largo tiempo.

En esta comunicación se incluyen, también, las prescripciones provisionales holandesas sobre ensayos de recepción, de las cuales conviene destacar los siguientes puntos principales:

1º) los aceros se clasifican de acuerdo con la tensión que da lugar a un alargamiento remanente igual al 0,05 , prescribiéndose una determinada diferencia entre este límite y la resistencia a la tracción;

2º) no se consideran aptos para el pretensado los aceros con defectos longitudinales. Hasta el momento resulta difícil establecer un método de ensayo de recepción capaz de revelar la existencia de tales defectos, y

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

3º) el estudio de los ensayos de los aceros de pretensado está encomendado a una Comisión, que es la encargada de extender los correspondientes certificados.

- - -

## Comunicación nº 5 - Estudio del valor óptimo para la tensión de las armaduras de pretensado

Por M. Xercavins (Francia)

-

Los ensayos de fatiga sobre vigas pretensadas mediante alambres sometidos a distintas tensiones han demostrado que, por lo que respecta a la resistencia a la fatiga, es conveniente introducir en las armaduras las mayores tensiones posibles. De esta manera se consigue una mayor resistencia a la fisuración, se limitan las deformaciones de la viga y se disminuye la amplitud de oscilación de las solicitaciones del acero.

- - -

## IDEAS GENERALES SOBRE LOS DIVERSOS TIPOS DE ACERO UTILIZADOS PARA EL PRETENSADO

Antes de iniciar los comentarios a las comunicaciones recibidas, parece oportuno dar un breve resumen de los diversos sistemas utilizados en la fabricación de esta clase de aceros. A continuación

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

se incluirá una clasificación de los aceros según su sistema de fabricación. Las operaciones metalúrgicas, más importantes, empleadas en la fabricación de los alambres para pretensado, son las siguientes: temple suave, temple, temple gradual, estabilización, trefilado en frío y laminado en frío.

Temple suave

Consiste en someter el alambre a una temperatura de 800 a 900°C y enfriarlo entonces rápidamente hasta unos 500°C, aproximadamente, manteniéndolo durante cierto tiempo a esta temperatura, y dejándolo después enfriar hasta que quede a la temperatura ambiente. El alambre adquiere, de este modo, una estructura llamada sorbítica, que tiene el aspecto de una perlita finamente laminada. La mayor o menor finura de esta estructura sorbítica depende de la temperatura a que se hace el tratamiento y del tamaño del grano del acero. El alambre sometido a templado suave se presta muy bien al trefilado en frío.

Trefilado en frío

Consiste en reducir la sección del alambre haciéndolo pasar a través de una hilera.

El acero toma así una estructura fibrosa en dirección longitudinal. Durante el trefilado, la temperatura del alambre se eleva de 100 a 150°C.

Laminado en frío

El laminado en frío se hace por medio de una serie de cilin

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

dros dispuestos unos a continuación de otros.

La diferencia entre este sistema y el de trefilado, estriba en que en el laminado no se produce rozamiento sobre la superficie del alambre durante el trabajado en frío.

Temple

El temple consiste en el rápido enfriamiento de los aceros desde una temperatura de cerca de 800 ó 900°C hasta la temperatura ambiente. De esta forma, el alambre adquiere una estructura martensítica, que bajo el microscopio toma un aspecto acicular, y se produce un endurecimiento del acero.

El alambre templado no constituye, sin embargo, un producto acabado. Es muy frecuente someterlo, inmediatamente después del temple, a un revenido, designándose entonces con el nombre de alambre refinado.

Se observa también que enfriando las barras de acero durante la laminación, se puede conseguir un determinado refinamiento de dicho acero.

Temple gradual

Es posible reducir las tensiones internas creadas en el acero a consecuencia del temple, enfriándolo rápidamente desde 800 ó 900 grados centígrados hasta 300°C, manteniéndolo después, durante un cierto tiempo a esta temperatura, y enfriándolo entonces hasta la tempe-

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

ratura ambiente. De este modo, se obtiene también un acero refinado. En general, al acero refinado no se le somete posteriormente a ningún tratamiento en frío.

Estabilización

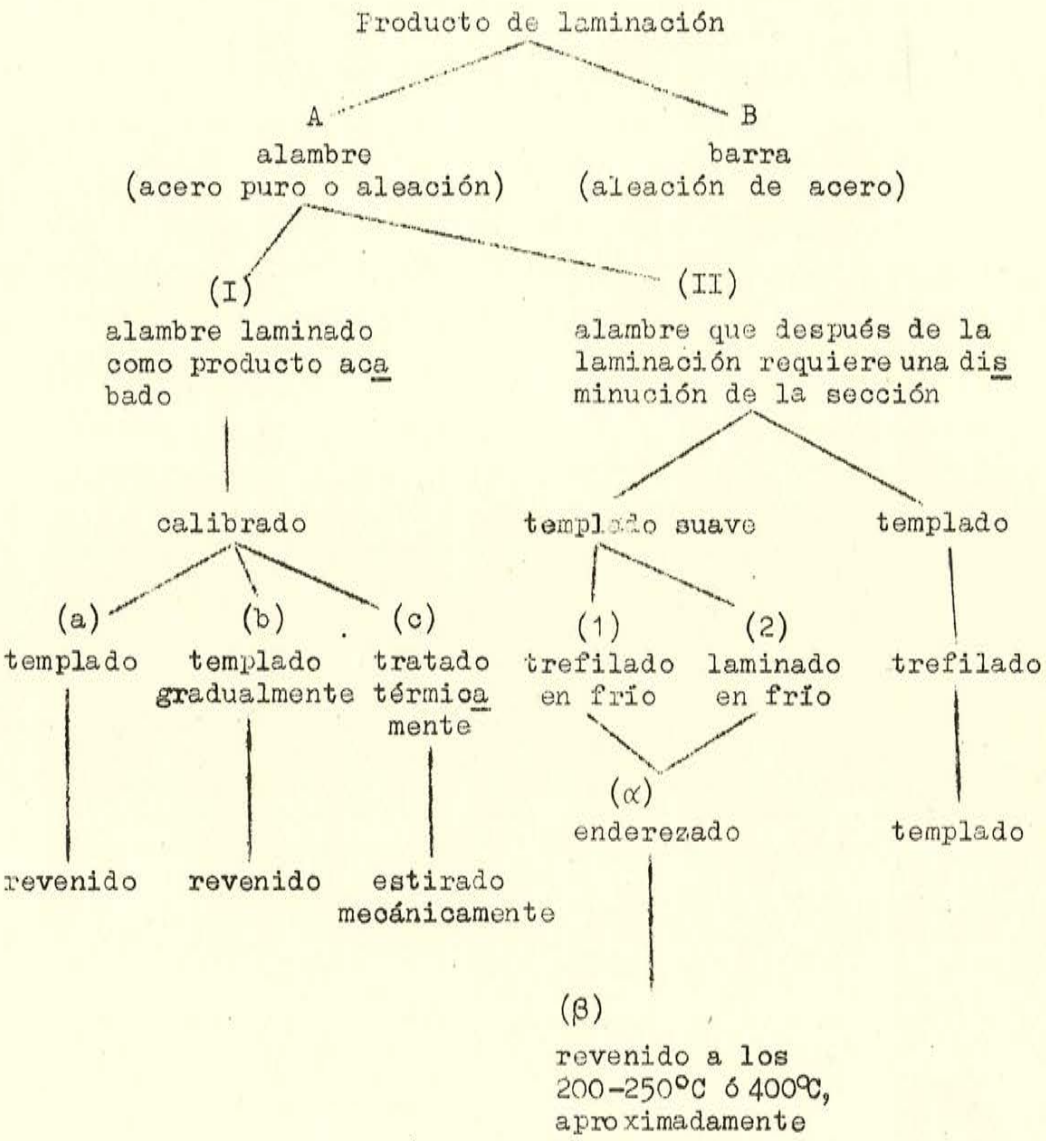
De los alambres trefilados en frío: Revenido.- El alambre se mantiene durante un cierto tiempo -que depende de la forma en que se realice la estabilización- a una temperatura de 200 a 300°C. Se admite que, de este modo, se produce la separación del oxígeno y del nitrógeno de la malla cristalina, los cuales tienden a oponerse al deslizamiento.

El tratamiento puede consistir, también, en un recalentamiento, muy breve, a una temperatura próxima a los 400°C.

De los alambres templados: El revenido se hace a una temperatura de 400 ó 500°C con el fin de reducir las tensiones internas. A consecuencia de este tratamiento, la estructura martensítica acicular se transforma en una martensita revenida (estructura de refinamiento).

Mediante las operaciones metalúrgicas, que brevemente quedan descritas, se fabrican los aceros de pretensado que en el cuadro de la página siguiente se mencionan.

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




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

Es preciso, sin embargo, tener en cuenta que, en la fabricación de un buen producto, además de las características químicas de material, intervienen otra serie de factores de diversa naturaleza. E esquema del cuadro anterior sirve sólo como información para los consumidores y como aclaración de este breve resumen general. Los produ tos que en dicho cuadro se mencionan son:

A alambre

(I) alambre laminado (eventualmente calibrado) como producto acabad

(a) templado y revenido

(b) templado gradualmente y revenido

(c) sometido a tratamiento isotérmico y, eventualmente, estirado mecánicamente

(II) alambre que después de la laminación requiere una reducción de la sección

(1) alambre sometido a un templado suave y trefilado en frío

(2) alambre sometido a un templado suave y laminado en frío. Diverso tratamientos de esta clase:

($\alpha$) enderezado

($\beta$) revenido.

Los tratamientos ($\alpha$) y ($\beta$) pueden combinarse y, por lo tanto, presentan las siguientes posibilidades: (1, $\alpha$); (1, $\alpha$, $\beta$); y, even tualmente, (1, $\beta$).

(3) alambre templado y trefilado durante el temple

B Barra.

Las barras, en general, están constituídas por aleaciones. Se suelen emplear tal como salen de la laminadora, o bien después de

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

haberlas sometido a un estirado en frío.

## CONSIDERACIONES SOBRE LAS COMUNICACIONES RECIBIDAS

Para poder comparar los principales puntos expuestos en las distintas comunicaciones presentadas, convendría estudiar separadamente los siguientes problemas:

Fluencia y relajamiento

Fatiga

Rotura espontánea del alambre

Necesidades de los consumidores

Dificultades en la fabricación del acero para pretensado

Ensayos de recepción.

### Fluencia y relajamiento

Brereton dice que los consumidores exigen, a veces, que las pérdidas de tensión por relajamiento sean pequeñas, pero que, generalmente, se conforman con los datos que, sobre las características del acero, les proporciona el diagrama esfuerzos-deformaciones.

Levi opina que no podrá establecerse nunca una relación de carácter general entre el diagrama esfuerzos-deformaciones y la tensión de relajamiento. Sin embargo, en la actualidad, se conocen ya fórmulas de esta clase, si bien sólo son aplicables a determinados t

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

pos de acero. Por otra parte, se admite que, en ciertos casos, es posible prever, con suficiente aproximación, el comportamiento del acero a lo largo del tiempo.

Como regla general, se indica que la caída de tensión experimentada en las primeras 120 horas supone algo más del 50% de la caída total; pudiéndose estimar que las pérdidas a los dos o tres meses ascienden al 60%.

Bouvy considera que existe una apreciable diferencia entre la fluencia y el relajamiento. Hace observar que, debido a su mayor sencillez, se han realizado bastantes más ensayos de fluencia que de relajamiento. Al final de su comunicación expone las siguientes conclusiones:

a) el ensayo de fluencia debe ser considerado únicamente como un método auxiliar para tener una idea del valor de la pérdida de tensión, y

b) en la práctica se ha podido comprobar que la pérdida efectiva de tensión en las armaduras es menor que la que se obtendría sumando las caídas de tensión correspondientes a los valores teóricos de la retracción y deformaciones lentas del hormigón, y las pérdidas de tensión del acero obtenidas experimentalmente.

De esto se deduce que el relajamiento del acero no debe dar lugar a una disminución de carga, tan considerable como, generalmente, se supone.

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

Canta da cuenta de los resultados obtenidos en una serie de ensayos de fluencia realizados, en parte, bajo tensiones muy elevadas y en los cuales se han utilizado, precisamente, los tipos de alambre siguientes: II 1 $\alpha$ $\beta$; II 1; II 1 $\alpha$; I b, y I a.

De estos ensayos se deduce que cada tipo de alambre presenta un comportamiento especial, respecto a la fluencia, que se caracteriza, bien por la forma de la curva de fluencia, o bien por la relación entre tensiones y alargamientos a lo largo del tiempo.

El autor concluye indicando que con el alambre (II, 1) se obtiene una relación alargamientos-tiempo bastante representativa, y que los ensayos breves no dan indicaciones suficientes para prever la fluencia del acero bajo cargas de mayor duración.

Si enderezando el alambre (II, 1) se transforma en el tipo (II, 1, $\alpha$), su fluencia aumenta notablemente. El autor indica también que el ensayo de fluencia debe completarse con un ensayo de relajamiento.

De lo expuesto anteriormente se deduce:

1º) que para las aplicaciones prácticas del acero para pretensado es muy interesante que el consumidor conozca perfectamente las características del relajamiento de los alambres, sometidos a distintas tensiones iniciales. Se puede afirmar que, en general, es más importante conocer la magnitud del relajamiento que intentar la obtención de aceros con menor tendencia al relajamiento;

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

2º) que las características de fluencia y relajamiento son distintas para cada tipo de alambre. Fijado un valor determinado para las pérdidas de tensión, es necesario estudiar qué tipo de acero debe ser empleado. No se puede deducir relación alguna entre el diagrama esfuerzos-deformaciones y el proceso de relajamiento;

3º) para determinadas calidades de acero y, especialmente, para los alambres (II, 1), se tienen datos muy completos sobre su fluencia y relajamiento a largo plazo. Los resultados obtenidos por Canta concuerdan también con éstos, por lo que respecta al alargamiento por fluencia que se produce al enderezar un alambre trefilado, y

4º) al estudiar las características de los aceros y en los ensayos de recepción debe tenerse en cuenta la influencia del relajamiento. Este puede fijarse, bien directamente, indicando la caída de tensión que le corresponde o, bien, estableciendo la relación existente entre la fluencia y el relajamiento, para una determinada calidad del acero.

Fatiga

Levi opina que los ensayos de fatiga son muy interesantes, pero que su realización, además de ser muy costosa, requiere mucho tiempo, por lo que cree que sólo deben ser prescritos cuando el acero empleado vaya a ser sometido, en obra, a unas oscilaciones de carga de más de 10 $Kg/mm^2$ de amplitud. Hay que tener en cuenta que, por diversas razones, la tensión en el acero puede ser, en algunos puntos, superior a la prevista, lo que dará lugar a una reducción en el

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

intervalo de resistencia a la fatiga que se había supuesto.

Bouvy señala que la amplitud de las oscilaciones de carga no excede, en general, de los 5 $Kg/mm^2$; por lo que -según él- la fatiga no constituye nunca un problema.

Xercavins indica los valores de las resistencias a la fatiga en el acero por él empleado. De estos datos se deduce que el aumento de la amplitud de las oscilaciones influye notablemente sobre la fatiga.

De los resultados obtenidos en los ensayos realizados se deduce que, en ciertas estructuras, la amplitud de las oscilaciones de tensión en el acero es menor de lo que cabe esperar y, por lo tanto, la resistencia a la fatiga de tales estructuras resulta mayor de la que se obtiene en un cálculo basado en las características del acero utilizado.

Del examen de las comunicaciones presentadas se puede sacar la conclusión de que la fatiga no representa, por el momento, ningún problema, dado que la amplitud de las oscilaciones, en general, es mínima. A pesar de ello, para ciertos tipos de estructuras se deben tener en cuenta los valores máximos de la amplitud de las oscilaciones obtenidas en la práctica y escoger, en cada caso, el tipo de acero y la magnitud de esfuerzo de pretensado que más convenga para garantizar una suficiente resistencia a la fatiga de la estructura.

Rotura espontánea

Brereton dice que la rotura del alambre suele ser ocasionada por un defecto del material; pero que, a veces, también se prese

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

ta en las zonas de anclaje, donde el alambre queda expuesto a la intemperie.

Levi sostiene que la mayoría de las roturas espontáneas se producen a consecuencia del ataque químico o electroquímico del acero sometido a tensión; pero que, también, hay que tener en cuenta otras posibles causas, entre las que señala las siguientes:

1ª) insuficiente resistencia a la fatiga del alambre sometido a tensiones demasiado elevadas, debido a circunstancias especiales;

2ª) corrosión bajo tensión: cuanto más denso es el alambre, tanto más sensible es a la corrosión bajo tensión, y

3ª) tensiones internas en el acero.

Bouvy hace un detallado estudio de las posibles causas de rotura espontánea de los alambres refinados, citando las siguientes: influencia de la intemperie, aguas agresivas y composición del hormigón. Da cuenta de unos ensayos de corrosión, sobre vigas, realizados en Inglaterra, y hace notar que -según se deduce- si la protección contra la corrosión es eficaz, los alambres de las vigas no se rompen.

Esta conclusión, sin embargo, parece dudosa, ya que los resultados obtenidos en diversos ensayos demuestran que el alambre refinado es más sensible a la corrosión bajo tensión que el trefilado. Tanto es así que, actualmente, los fabricantes de alambre refinado están tratando de conseguir un nuevo tipo, menos sensible a la corrosión bajo tensión que el que ahora producen.

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

Los fabricantes deben intentar lograr, también, que el acero no sufra ninguna corrosión durante el transporte y la puesta en obra.

En definitiva, se puede decir que todos los autores coinciden en que, además de la corrosión bajo tensión, es preciso tener en cuenta otras causas de rotura, que son:

1ª) tensiones demasiado fuertes e insuficiente resistencia a la fatiga;

2ª) tensiones internas;

3ª) fisuras longitudinales, y

4ª) defectos de fabricación.

Características exigidas por los consumidores

Brereton resume las características exigidas por los consumidores, en los siguientes puntos:

1º) uniformidad en cada partida suministrada;

2º) alta resistencia en tracción;

3º) alambres sin defectos superficiales que puedan perjudicar su anclaje y bloqueo, y

4º) posibilidad de que se oxide ligeramente el acero para mejorar la adherencia.

A este respecto, debe señalarse que uno de los procedimientos que da mejores resultados, cuando se desea aumentar la adheren -

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

cia, consiste en practicar muescas o entalladuras en la superficie del alambre.

Brereton ha dedicado especial atención al estudio de la forma y dimensiones que debe darse a las entalladuras superficiales del alambre, problema que -a su modo de ver- preocupa fundamentalmente a los consumidores.

Bouvy expone que, desde el punto de vista del consumidor, son fundamentales las siguientes condiciones:

1ª) uniformidad en la calidad y características de cada partida suministrada (diagrama de esfuerzos-deformaciones, etc.);

2ª) que los alambres estén perfectamente enderezados;

3ª) que los alambres no tengan defectos superficiales;

4ª) que las variaciones de diámetro en los alambres sean mínimas, y

5ª) que el precio, por Kg de pretensado, sea el más bajo posible.

Las normas holandesas para la recepción de alambres, comentadas por Canta, imponen las siguientes condiciones acerca de la calidad de los aceros:

1ª) que el alambre no presente defectos en su superficie;

2ª) que la superficie del alambre esté prácticamente limpia de herrumbre;

3ª) que los alambres se suministren enrollados en bobinas de gran diámetro, y

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

4º) que el alambre sea recto.

Todos los autores coinciden en que:

1º) el alambre no debe tener defectos superficiales;

2º) el alambre debe estar sólo ligeramente atacado por la herrumbre;

3º) las características de cada partida suministrada deben ser lo más uniformes posibles, y

4º) el alambre debe quedar recto al desenrollarlo de la bobina en que se suministra.

Dificultades con que se tropieza en la fabricación del acero

Brereton señala que las barras semitrabajadas que se utilizan para fabricar los alambres no deben tener impurezas ni oclusiones. Los tratamientos térmicos deben realizarse con gran exactitud. Los trenes continuos de producción del alambre hacen necesario efectuar soldaduras que, posteriormente, deben ser eliminadas. Hasta el momento, no se ha logrado encontrar un procedimiento adecuado para conseguir uniones perfectas.

Las nervaduras sobre la superficie del alambre constituyen siempre una dificultad, ya que no es fácil mantener constante su profundidad ni, por lo tanto, evitar variaciones en el diámetro del alambre.

Millot hace constar que los fabricantes tratan de obtener un acero homogéneo, sin oclusiones ni defectos de laminación. General

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

mente, y con el fin de que no se produzcan tensiones internas, utilizan el procedimiento de trefilado en frío. Se intenta también encontrar un tratamiento térmico adecuado que no dé lugar a la decarburación superficial del alambre.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que por muchas precauciones que se tomen, resulta imposible evitar totalmente estos defectos.

Ensayos de recepción

Brereton cree que, actualmente, una de las mayores dificultades consiste en saber cuales son los aceros que mejor se adaptan al hormigón pretensado. Por ejemplo, existe el problema de si el alambre debe de estar completamente limpio de oxidación o conviene que se encuentre ligeramente atacado en el momento de su puesta en obra. Se subraya, no obstante, la ineludible necesidad de establecer, de una manera precisa, la forma de realizar los ensayos de recepción, con el fin de evitar que los resultados obtenidos por dos laboratorios distintos puedan ser discordantes.

Franco Levi indica que las pruebas a que deben someterse los alambres para su recepción son, entre otras, las siguientes:

1ª) determinación del alargamiento en rotura;

2ª) ensayo de plegado;

3ª) ensayo de torsión para comprobar si existen o no defectos superficiales en el alambre, y

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

4ª) ensayo de resiliencia.

Millot propone los siguientes ensayos:

1º) ensayo de torsión. Examen de las fisuras longitudinales;

2º) examen de las oclusiones, y

3º) ensayo de resiliencia y ensayos rápidos de corrosión.

Las prescripciones holandesas prevén, entre otros, los siguientes ensayos:

1º) determinación del alargamiento en rotura;

2º) determinación del valor correspondiente al 0,05 del límite de alargamiento y de la resistencia en tracción;

3º) ensayo de plegado, y

4º) ensayo de torsión. Examen de los defectos longitudinales del alambre.

Resumiendo, se puede decir que es muy importante emplear aceros que no presenten oclusiones perjudiciales, fisuras longitudinales, ni otros defectos análogos.

A tal fin, parece oportuno realizar los ensayos de plegado y de torsión. Igualmente, debe procurarse unificar los ensayos de recepción.

Observaciones del autor del presente informe

Basándose en las conclusiones que se deducen del examen de las comunicaciones anteriormente comentadas y en otros datos proceden

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

tes de diversas publicaciones de los distintos países, se procurará dar una idea general sobre la situación actual de la técnica del hormigón pretensado en lo que se refiere al acero.

Del estudio de cuanto se ha escrito sobre el modo de realizar los ensayos de relajamiento, se deduce que es preciso tener en cuenta dos conceptos distintos.

En primer lugar, resulta que los ensayos de fluencia y relajamiento deben realizarse con la mayor precisión. Es, por lo tanto, necesario estudiar los factores que los perturban, y eliminarlos. Con este fin se han hecho diversas experiencias en Italia, Bélgica, Inglaterra y Holanda.

Observando los diferentes procedimientos utilizados para determinar el valor de la caída de tensión, se ve que los principios en que se basan los distintos métodos empleados, difieren mucho entre sí. Esto significa que los factores perturbadores son de naturaleza muy diversa. Resulta, por consiguiente, evidente, que los ensayos de relajamiento es necesario realizarlos con gran esmero, y, que si se quiere poder comparar los resultados obtenidos por diferentes laboratorios, es imprescindible unificar, mediante un convenio internacional, los procedimientos a seguir en esta clase de experiencias, para la determinación de las características fundamentales de los aceros. Así, por ejemplo, si se quiere que los resultados de los ensayos, realizados con el fin de conocer el tiempo necesario para alcanzar la estabilización de la caída de tensión sean comparables, será preciso que se ajusten siempre a unas normas fijas.

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

Por otra parte, y desde el punto de vista del constructor, los ensayos de relajamiento y la determinación de las pérdidas de tensión deben hacerse en condiciones lo más análogas posible a aquellas en que ha de encontrarse el acero en la práctica. Así, por ejemplo, para hallar la pérdida de tensión de un alambre se debe utilizar el procedimiento que consiste en fijar un cable, de bastante longitud, sometido a una determinada tensión, entre dos bloques de anclaje o sobre un bastidor de acero. Bajo el efecto de una carga colocada en su centro, el alambre flecta; si se mide la flecha a intervalos regulares, el incremento de ésta permite conocer la pérdida de carga. Este procedimiento puede emplearse también en obra y los resultados así obtenidos son perfectamente comparables con los deducidos en el laboratorio.

Para poder comparar el comportamiento de las diversas calidades de acero, y establecer la relación existente entre las experiencias efectuadas en obra y en el laboratorio, es necesario realizar una serie de ensayos muy precisos.

En definitiva, se llega a la conclusión de que se deben continuar y perfeccionar estos experimentos y que, como complemento de los ensayos de laboratorio, conviene realizar otros en condiciones más semejantes a las que se presentan en la práctica.

De los resultados obtenidos en el laboratorio se deduce que determinadas calidades del acero, por ejemplo los alambres de los tipos (I) y (II, 1, $\alpha$, $\beta$), para tensiones relativamente pequeñas en relación con la correspondiente al límite convencional del 0,05, sufren

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

fuertes caídas de tensión. Se comprende, por lo tanto, que cuando se emplean tensiones muy elevadas (en relación con el citado límite del 0,05) conviene adoptar las máximas precauciones. Por otra parte, parece lógico suponer que, durante el tesado de estos aceros, la pérdida de carga que se produce dará lugar a un cierto equilibrio entre las tensiones de los alambres tesos simultáneamente.

Por lo que se refiere al efecto producido por las cargas alternas, el comportamiento del acero debe ser estudiado, no sólo en relación con su resistencia a la fatiga, sino también teniendo en cuenta las condiciones de trabajo en obra. Así, por ejemplo, según Zinser, una amplitud de oscilación en la magnitud de la carga del orden del 5% hace que la fluencia adquiera el valor correspondiente a la tensión más elevada.

En los estudios de fatiga, debe tenerse en cuenta que las condiciones en obra difieren extraordinariamente de las del laboratorio.

En obra, es fácil que se presenten algunos de estos defectos:

1º) fuertes desviaciones en los alambres debidas a defectos de fabricación;

2º) anclajes no alineados perfectamente con los alambres, lo que da lugar a que se produzca una tensión excéntrica, y

3º) alambres deteriorados.

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

Se puede decir que, una tensión segura es aquella que, a pesar de los inevitables inconvenientes, puede alcanzarse en obra sin grandes dificultades.

En relación con la rotura espontánea, se conocen ya diversos factores capaces de causarla en la práctica. Entre éstos se pueden citar, además de algunos defectos de fabricación, la fisuración de los alambres, una soldadura deficiente y las tensiones internas. En todos estos casos, la responsabilidad recae en el fabricante. Una gran parte de las roturas se producen también, probablemente, a consecuencia de la corrosión bajo carga. Este es un problema muy difícil y delicado, porque cualquier opinión sobre el particular, expuesta a la ligera, puede ocasionar graves perjuicios a los fabricantes de aceros. Se debe, por lo tanto, procurar mantenerse en este punto en la posición más ecuánime posible. Desgraciadamente, los resultados obtenidos en los diversos ensayos realizados, no permiten todavía establecer conclusiones definitivas sobre la importancia, en la práctica, de la sensibilidad a la corrosión bajo carga de las diversas clases de aceros.

La rotura, mencionada por Bouvy, de un alambre trefilado, no debe atribuirse a corrosión bajo tensión, sino a defectos de fabricación, ya que, en cambio, las vigas pretensadas por él citadas, como ejemplo, por su buen comportamiento después de una larga inmersión en el Mar del Norte, estaban también armadas -según se deduce de su informe- con alambres trefilados.

Merece destacarse el hecho de que Belche al hablar de la corrosión bajo tensión, no se refiera al acero refinado sino a un ace-

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

ro al Si-Mn, en cuya fabricación se produce una ligera decarburación. Esta decarburación puede originar grietas superficiales, y entonces, en determinadas condiciones, la corrosión bajo tensión. No parece suficientemente justificado el punto de vista de Bouvy, que considera que los fabricantes de alambres sensibles a la corrosión bajo tensión, deberían suministrar estos alambres enrollados sobre carretes de gran diámetro para evitar que se produjeran corrosiones durante su transporte o su puesta en obra.

Es cierto que, aumentando el diámetro de los rollos, se disminuye la tensión de los alambres y, por lo tanto, el riesgo de corrosión bajo tensión. Pero, precisamente por ello, cabe preguntarse si no será preferible, desde otro punto de vista, prescindir de tales precauciones. En efecto, si al llegar a la obra los rollos de alambre presentan roturas por efecto de la corrosión, el constructor se da cuenta inmediatamente de este defecto y puede rechazar la partida, evitándose el peligro de que pueda utilizar alambres en malas condiciones. Por consiguiente, parece preferible que los aceros sensibles a la corrosión se suministren en rollos de pequeño diámetro y sin protección de ninguna clase.

En las obras suele suceder (sobre todo cuando se inician las heladas) que los alambres tesos queden expuestos, durante largo tiempo, a la intemperie y, por consiguiente, al riesgo de un ataque electro-químico.

De la comunicación de Bouvy, no cabe deducir que no se hayan producido nunca, en obra, roturas de esta clase. En efecto, exis-

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

ten diversos sistemas de anclaje, que no permiten observar la rotura una vez realizada la puesta en carga.

En la actualidad, los fabricantes de alambres refinados estudian también, con el mayor interés, el problema de la corrosión bajo tensión, ya que se han dado cuenta de la responsabilidad que a - ellos les puede corresponder si por su causa falla la estabilidad de una estructura.

En tanto no se llegue a reducir a valores normales la tendencia a la corrosión de las diversas calidades de alambre, convendrá adoptar, para su empleo, toda clase de precauciones y no utilizarlos cuando las condiciones de la obra puedan favorecer la corrosión.

En relación con la influencia del transporte, los consumidores tienen la duda de si deben o no aceptar un material cuya superficie aparezca atacada por la corrosión. Si se tiene en cuenta que una superficie que aparentemente es perfectamente lisa, al observarla al microscopio se ve que, en realidad, no está tan pulida como para no poder garantizar una adherencia suficientemente buena con el hormigón, y considerando además que el acero de pretensado es un material caro, se llega a la conclusión de que este acero debe suministrarse con la superficie perfectamente pulida y sin corrosión.

Si se necesita que la adherencia entre el hormigón y el acero sea muy grande se deben utilizar las armaduras corrugadas o con nervios. Al hacer el ensayo de recepción de un alambre que presente su superficie nervada, hay que tener presente que la tolerancia del diámetro influye también en el espesor de estos nervios, por lo que el

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

fabricante de acero debe estudiar el modo de mantener, lo más constante posible, dicho espesor. Por su parte, el consumidor de alambre de este tipo debe procurar que la longitud del anclaje no sea demasiado pequeña, con el fin de evitar la fisuración de las zonas de anclaje de las vigas.

Además, es necesario, también, tener en cuenta otros factores; por ejemplo, la distancia entre los alambres. Conviene, igualmente, fijar la profundidad de los resaltos o nervios y su separación, teniendo presente la dificultad práctica de su ejecución, lo cual resulta muy importante para el futuro desarrollo del pretensado.

En el momento actual no es posible, todavía, fijar con exactitud, y de un modo definitivo, claro y sencillo, las características que deben reunir los aceros para pretensado. De las comunicaciones recibidas se pueden deducir, en relación con la calidad y características de un alambre ideal, las siguientes conclusiones:

1ª) la calidad del acero debe ser tal que permita su obtención mediante un proceso de fabricación capaz de proporcionar un producto con características uniformes. Esta uniformidad debe cumplirse en lo que se refiere:

a) a la sección,

b) a la forma del diagrama esfuerzos-deformaciones, de tal modo que el alargamiento sea, prácticamente, constante bajo la tensión de servicio,

c) al límite convencional y a la resistencia en tracción, para poder elegir una tensión inicial apropiada, y

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

d) al comportamiento en relación con la fluencia y el relajamiento;

2ª) los alambres no deben presentar escamas;

3ª) los alambres no deben estar atacados por la corrosión. La tendencia a la corrosión bajo tensión debe ser pequeña;

4ª) los alambres no deben presentar grietas internas ni defectos superficiales;

5ª) bajo tensiones superiores a las normales de servicio, el material debe comportarse plásticamente, es decir, el acero debe experimentar fuertes alargamientos bajo tensiones comprendidas entre las correspondientes al límite convencional y al punto de máxima carga;

6ª) es necesario poder dar, con facilidad, a los alambres la forma conveniente. Las deformaciones accidentales que pueden adquirir durante su fabricación no deben ser causa de rotura durante su tesado, y

7ª) el alambre debe quedar recto al desenrollarlo de los carretes (para las vigas con cables).

Para poder determinar si un acero reúne las características requeridas, y llegar a conocer su comportamiento en determinadas condiciones, es necesario someterlo a diversos ensayos.

En relación con las características que debe reunir un buen acero, sería conveniente llegar a fijarlas mediante un acuerdo internacional. De esta forma, los exportadores podrían suministrar un acero normalizado con arreglo a unas prescripciones uniformes, por todos

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

admitidas. Parece especialmente interesante establecer un tipo de ensayo que permita descubrir si existen o no fisuras o grietas en el acero. Hay que tener en cuenta que los ensayos de plegado, torsión y resiliencia no parece que sean siempre suficientes para revelar los defectos del material. A tal efecto convendría conocer hasta qué punto el método de barnizado del alambre, ideado por Beche, resulta adecuado para detectar los defectos superficiales. No deben tampoco olvidarse los ensayos de enrollamiento, los cuales ofrecen la oportunidad de poder ensayar, rápidamente, grandes longitudes de alambre.

Es necesario, igualmente, establecer las condiciones en que deben realizarse los ensayos de fatiga y plegado.

Con el fin de lograr una producción lo más económica posible, parece aconsejable que cada uno de los tipos de acero tenga distinta resistencia en tracción.

Cuando se pretende conseguir una gran resistencia a la rotura en tracción, es necesario desechar importantes porcentajes de cada una de las partidas de alambre fabricadas, y ello influye notablemente, como es lógico, en el precio del acero.

Finalmente, no se debe olvidar que existen otros materiales, que quizás pudieran ser utilizados en sustitución del acero; por ejemplo: el vidrio. Será conveniente, por lo tanto, seguir atentamente el desarrollo de los estudios sobre tales materiales.

Conclusiones

1ª) Es de desear que se lleguen a fijar, mediante un acuerdo internacional, las características que debe tener un buen acero pa

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

ra pretensado. Estas características deben poder ser comprobadas por unos ensayos de recepción, perfectamente definidos.

2ª) Con el fin de que puedan compararse los resultados obtenidos en los diversos ensayos y experiencias, es necesario establecer, con carácter internacional, los procedimientos para realizar tales pruebas.

3ª) No se debe realizar ningún estudio sobre las características del acero sin tener en cuenta las condiciones en las cuales va a trabajar el material en la práctica y en las que habrá de encontrarse en la obra.

4ª) Para obtener los mejores resultados es necesaria una estrecha colaboración entre fabricantes y consumidores. El fabricante debe darse cuenta de la responsabilidad que le corresponde en la seguridad de la estructura, y tratar de obtener un producto lo más uniforme posible y sin defectos internos ni superficiales. El consumidor, por su parte, deberá emplear el acero, de tal forma, que no perjudique sus características fundamentales.

- - -

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

35 837-0-3 INFLUENCIA DE LA INYECCION Y DE LOS ANCLAJES EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGON PRETENSADO (2ª parte)

(Rôle de l'injection et des ancrages dans le comportement des éléments en béton précontraint)

Por B. Kelopuu

INFORME GENERAL DE LA SESION Ia DEL SEGUNDO CONGRESO DE LA FEDERACION INTERNACIONAL DEL PRETENSADO - AMSTERDAM, Septiembre 1955

- - -

PROPIEDADES DEL MORTERO FRESCO

Para que el mortero fresco pueda responder, de un modo satisfactorio, a las prescripciones anteriormente indicadas, es necesario que reúna ciertas características especiales; entre las cuales, las más importantes, son las siguientes:

1º - Fluidez.- Para que la inyección resulte eficaz, es imprescindible que la fluidez del mortero sea buena.

2º - Ausencia de segregación.- Con el fin de evitar que quede agua interpuesta.

Estas dos condiciones dependen de las siguientes características de la mezcla:

1) La relación agua/cemento;
2) El amasado;
3) La naturaleza del cemento;

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

4) Las adiciones;
5) El mortero coloidal.

En Alemania y Suecia, se determina la fluidez midiendo la velocidad de deslizamiento del mortero en un recipiente tipo, normalizado. En Holanda, en cambio, la fluidez se mide del mismo modo que la docilidad.

El ensayo de segregación se efectúa mediante un tubo de vidrio, que se llena con mortero y después se tapa. La cantidad de agua desprendida en la superficie de la mezcla, transcurrido un cierto tiempo, sirve para medir la segregación.

Fluidez del mortero

Douvy indica que, según un ensayo por él realizado, la adición de un humectante puede reducir la fluidez del mortero; resultado que está en contradicción con los obtenidos en otros ensayos.

Hill informa que para aumentar la fluidez se han utilizado plastificantes y otras adiciones.

STUVO ha ensayado varias mezclas para morteros, con el fin de determinar su fluidez, utilizando cemento Portland ordinario y de alta resistencia inicial. La proporción era: 7 partes, en volumen, de cemento por dos de "trass" (material de efectos puzolánicos), con una relación agua-cemento de 0,398-0,572. Se han hecho ensayos con y sin adiciones (Plastiment, Injectal). El escurrimiento del mortero en la mesa de ensayos apenas variaba de unas mezclas a otras, y la influen

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

cia de las adiciones se manifestaba por la reducción en la relación agua/cemento necesaria para conseguir fluideces equivalentes.

Segregación

Bouvy señala la posibilidad de obtener mezclas sin segregación mediante el empleo de productos humectantes. La característica que más interesa conseguir en los morteros utilizados para inyección es la ausencia de segregación. En los ensayos con cementos aluminosos se ha comprobado que se produce una segregación bastante considerable. Bouvy insiste en las ventajas de las inyecciones a base de mortero coloidal, ya que, de esta forma, disminuye el peligro de segregación.

STUVO ha realizado ensayos de segregación con las mezclas más arriba mencionadas. Las adiciones han dado, como resultado, una reducción de dicha segregación.

Composición de la mezcla

Bouvy recomienda el empleo de mezclas, constituídas por 4 partes de cemento, 1 de "trass" y 2,4 de agua (en volumen), con adición de un humectante.

Hill, por su parte, aconseja utilizar pasta de cemento puro para los procedimientos Lee-McCall y Gifford-Udall-CCL y una mezcla de cemento y arena para los sistemas Freyssinet y Magnel-Blaton, con una relación agua/cemento de 0,45 en el primer caso y de 0,55-0,62 en el segundo. Estima conveniente emplear cemento Portland ordinario y una arena muy fina.

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

Magnel recomienda un mortero de la misma composición, más o menos, y con una relación agua/cemento de 0,50-0,55 .

STUVO ha ensayado mezclas con dos clases distintas de cemento y subraya que las diferencias entre las características de los morteros frescos, en ambos casos, son muy pequeñas.

El árido más utilizado en Holanda es el "trass", debido a que con él se consiguen mezclas flúidas y estables. La relación agua/cemento varía de 0,45 a 0,65 . Se suelen emplear humectantes.

PROPIEDADES DEL MORTERO ENDURECIDO

Las propiedades que debe poseer el mortero endurecido son:

1) Retracción mínima;
2) Buena adherencia.

Estas características resultan, en cambio, perjudiciales para la obtención de una buena fluidez.

Hill indica que, empleando mezclas constituídas por volúmenes iguales de cemento y arena, la retracción suele ser de $5 \times 10^{-4}$, a los 28 días. Con esta retracción resulta muy probable la fisuración del mortero.

STUVO, después de una serie de ensayos sobre retracción, deduce que el mortero cemento-"trass", sin adiciones ni humectantes, es el que da mejores resultados. Utilizando adiciones (Plastiment, Injectal) es posible disminuir la relación agua/cemento y aumentar así la resistencia en compresión del mortero.

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

## INFLUENCIA DE LAS TEMPERATURAS ANORMALES

### Altas temperaturas

Hill da cuenta de los ensayos efectuados en la Fire Research Station, de Elstree, en los cuales se ha comprobado que, el mortero sometido a elevadas temperaturas, permanece inalterable.

### Bajas temperaturas

Bouvy comunica que se han realizado ensayos sobre morteros conteniendo alcohol metílico, como anti-congelante, en la proporción de 1:5 en volumen, y que la resistencia a la rotura así conseguida ha sido satisfactoria.

El mortero fresco, cuando se le agrega un producto humectante, es mucho más resistente al hielo.

Hill sugiere que, cuando exista peligro de heladas, se empleen morteros con aire ocluído.

Sallinen se refiere a la construcción de un hangar en el aeropuerto de Seutula, cerca de Helsinki. Se trata de una estructura, de grandes dimensiones, en la que los cables de pretensado, de 51 m de longitud, van colocados dentro de unos tubos que fueron inyectados durante el invierno. Describe el procedimiento utilizado para la inyección. Las vigas se colocaron dentro de una estufa móvil, en cuyo interior se hacía circular una corriente de aire caliente.

STUYO comenta el empleo del alcohol como anti-congelante. En su comunicación incluye datos sobre la reducción conseguida, en el

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

punto de congelación, en función de la cantidad de alcohol añadida a agua de la pasta del mortero de inyección. Estudia, también, la velocidad de fraguado del mortero, a distintas temperaturas, y hace nota que la adición de alcohol retarda el fraguado y disminuye la resistencia del mortero. En cambio, aumenta su resistencia a las heladas.

## METODOS DE INYECCION Y PROBLEMAS QUE SE PLANTEAN EN OBRA

La descripción de los métodos de inyección y de los diversos problemas que se plantean durante su realización en obra, constituye uno de los capítulos más interesantes de las comunicaciones que se comentan.

Bouvy recomienda emplear bombas de diafragma y hace notar las dificultades que oponen, a la inyección, los espaciadores.

Hill describe varios sistemas de inyección. En uno de ellos la inyección se realiza mediante aire comprimido; en otro, se utiliza una amasadora de mortero coloidal combinada con una bomba y, finalmente, en otro se emplea una bomba de alimentación continua por tornillo sin fin. En los tres métodos se inyecta mortero coloidal. Hill insiste en la necesidad de una vigilancia esmerada, por personal especializado. Para limpiar las fundas de los alambres recomienda mezclar el agua de la pasta con un humectante. Indica que, en el caso de cables curvos, puede resultar ventajoso hacer la inyección por el punto más bajo del trazado de los alambres, y que, según se ha podido comprobar en ensayos realizados utilizando fundas de material plástico transparente, el empleo de espaciadores no presenta ningún inconveniente.

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

Magnel sugiere que se prohiba el uso de cables curvos encima de los apoyos de vigas continuas (cables de continuidad). Recomienda utilizar espaciadores metálicos entre los alambres.

Sallinen indica que en la estructura del hangar de Seutula, anteriormente mencionada, cada funda iba provista de un orificio de comprobación que atravesaba la masa del hormigón. La inyección se hizo mediante aire comprimido, empezando a una presión de 4 $Kg/cm^2$ que se elevó enseguida hasta los 8-10 $Kg/cm^2$.

STUVO señala que, en Holanda, la limpieza de los tubos para los cables se hacía antes con agua pero que, en la actualidad, se emplea únicamente aire comprimido, porque se ha visto que siempre quedaba algo de agua en las partes inferiores de las vainas, lo que provocaba la segregación.

La presión del aire era de 6 $Kg/cm^2$. La inyección se realiza, habitualmente, por aire comprimido a una presión de 8 $Kg/cm^2$. En el caso de cables de longitud superior a los 60 m, se colocan en serie las botellas de inyección a presión y el mortero se introduce por el punto medio de la funda. Hace notar que el empleo de bombas de diafragma no es recomendable, ya que el efecto de pulsación que se produce puede provocar taponamientos en los conductos.

Además de las comunicaciones que quedan resumidas, el Ponente General tiene interés de describir los importantes resultados conseguidos en las experiencias desarrolladas, sobre este tema, en Alemania y Suiza.

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

Walz informa sobre los trabajos de investigación llevados a cabo en el Instituto Otto Graf(9), de Stuttgart, en los cuales se ha determinado la fluidez, la segregación, la retracción, la resistencia y demás propiedades, de diferentes morteros. Las conclusiones deducidas han sido las siguientes: La fluidez aumenta con la cantidad de agua y disminuye con la finura de molido del cemento. Cuando se emplea como árido caliza en polvo, bentonita (arcilla expansiva), u otro material análogo, los plastificantes influyen muy poco en la fluidez. Para los morteros coloidales, el tiempo de amasado varía entre 7,5 y 15 minutos. Utilizando mortero coloidal, con una relación agua/cemento de 0,55 , se ha registrado un ligero aumento de fluidez, reduciendo el tiempo de amasado a 7,5 minutos, excepto en el caso de que el árido empleado sea bentonita. Aumentando el tiempo de amasado hasta 15 minutos, no se ha observado mejora alguna. Debe refrigerarse la amasadora, ya que la pasta se calienta y origina una disminución de fluidez.

Desde el punto de vista de la segregación, la relación agua/cemento es de la mayor importancia. Cuanto mayor es la finura de molido del cemento, más débil es la segregación. En uno de los ensayos se sustituyó el 17% del cemento por polvo de cuarzo, pero este cambio no tuvo ninguna influencia en la segregación. En cambio, utilizando caliza fina, bentonita, o un plastificante, se consiguió reducir considerablemente la segregación. El mortero coloidal ha dado buenos resultados; después de un amasado durante 15 minutos, y con una relación agua/cemento = 0,55 , no se ha observado segregación.

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

La retracción depende, igualmente, de la relación agua/cemento, la cual debe ser mantenida lo más baja posible. El empleo de arena reduce la retracción, pero disminuye, al propio tiempo, la fluidez.

El Instituto del Cemento y del Hormigón, de Suecia, a instancias de la Administración Real de Carreteras y Navegación, ha efectuado ensayos sobre inyección de elementos pretensados. Todavía no se han publicado los resultados de dichos ensayos, pero, sin embargo, han sido puestos a disposición de este Ponente General, por lo cual desea expresar, públicamente, su agradecimiento. Se han ensayado, únicamente, morteros con arena. El empleo de "trass", lejos de haber proporcionado ventajas, parece que resulta más bien perjudicial. El cemento Portland normal ha demostrado una tendencia a la segregación que puede ser parcialmente evitada utilizando cemento de alta resistencia inicial. La influencia de la adición de un aireante a la pasta de cemento puro, parece ser despreciable. El empleo de aire ocluído y de agentes defloculantes G.R.D.A. en las inyecciones, suele dar buenos resultados con el cemento de alta resistencia inicial y, dentro de ciertos límites, también con el Portland corriente. Estas adiciones aumentan la fluidez y disminuyen la retracción.

Röhnisch hace un informe muy interesante sobre el comportamiento del mortero bajo la acción del hielo(10), e incluye unos nomogramas para la determinación de la resistencia al hielo de diversos tipos de mezclas.

Los ensayos de resistencia al hielo se efectuaron en tubos de vidrio, utilizando morteros de 12, 36 y 168 horas (7 días) de edad.

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

Aunque no todos los ensayos a los 7 días han dado resultados satisfactorios, se deduce que la resistencia al hielo mejora con la edad de las probetas, y que la inyección en tiempo frío debe realizarse con toda prudencia, teniendo en cuenta que en los hormigones jóvenes pueden producirse fisuras después del fraguado.

Debe señalarse que el empleo de 'trass' como árido, aumenta la cantidad de agua necesaria para la mezcla y, por lo tanto, el riesgo de que se hiele. Empleando dos clases distintas de cemento aluminoso, las cantidades de agua necesarias han sido muy diferentes. En estos tipos de cemento, la edad de la probeta no influye sobre la resistencia al hielo. Los ensayos realizados con polvo de cuarzo, asociado con un agente aireante, han dado resultados satisfactorios.

El mortero con cemento de alta resistencia inicial, o cemento aluminoso, ha demostrado una mayor resistencia a las heladas que el mortero con Portland corriente. Se citan dos interesantes ejemplos de inyecciones de mala calidad.

A la vista de todas las comunicaciones que quedan comentadas, el Ponente General deduce las siguientes conclusiones:

1 - Las características más importantes del mortero para inyecciones son: buena fluidez, ausencia de segregación y retracción mínima. Como estas dos últimas propiedades dependen, en gran parte, de que la relación agua/cemento sea pequeña, se comprende que son perfectamente compatibles con la obtención de una buena adherencia y resistencia.

2 - Cuando, como ocurre con los procedimientos Dywidag y Lee-McCall, la cantidad de pasta inyectada es pequeña en relación con la sección

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

de la armadura, debe utilizarse mortero sin áridos. En los demás casos parece preferible que el mortero lleve árido.

3 - La relación agua/cemento debe ser siempre lo más baja posible y, preferentemente, inferior a 0,55. El empleo de cemento de alta resistencia inicial, resulta siempre ventajoso, aunque dé lugar a una disminución de la fluidez.

4 - Es recomendable utilizar pastas coloidales. Los aumentos de temperatura resultan perjudiciales y, por consiguiente, deben ser evitados.

5 - En relación con el empleo de plastificantes, aireantes y humectantes, existe diversidad de opiniones. Parece que las adiciones, tales como el aire ocluído, pueden dar buenos resultados. Sin embargo, es aconsejable proseguir los ensayos sobre el particular que actualmente se vienen realizando, antes de emitir un juicio definitivo.

6 - Cuando las inyecciones deban hacerse en invierno es necesario adoptar precauciones especiales y proteger las piezas contra el frío. En estos casos puede utilizarse cemento aluminoso, por su propiedad de fraguar a baja temperatura, pero entonces resulta peligroso calentar el elemento a temperaturas próximas a los 30°C, después del fraguado, a causa de la tendencia a la pérdida de resistencia, del cemento aluminoso, en estas condiciones[11].

7 - Antes de la inyección, deben limpiarse cuidadosamente los tubos empleados como fundas de las armaduras. Para ello suele utilizarse agua y aire comprimido y conviene evitar que quede agua en los conductos, para que no provoque segregación.

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

8 - La inyección debe efectuarse, preferentemente, con el auxilio de bombas, evitando el empleo de aire comprimido. Si la presión ha de ser superior a los 4-6 $Kg/cm^2$, deben tomarse precauciones, especialmente en el caso de conductos de grandes dimensiones, para impedir que pueda resultar dañada la pieza. Los conductos de gran longitud deben ir provistos de dispositivos para poder comprobar la presión en diferentes puntos a lo largo de su trazado, y la inyección debe efectuarse teniendo en cuenta la forma del cable. - Los espaciadores y enrejados no suponen, en general, ningún obstáculo para la inyección y deben utilizarse en aquellos sistemas que recomiendan su empleo. Las variaciones bruscas de sección en los conductos resultan siempre perjudiciales.

LOS ANCLAJES

En las comunicaciones de Barredo, Dyckerhoff y Widmann, Hill, Rossetti y STUVO, se trata el tema de los anclajes.

Barredo describe el sistema "Barredo" de pretensado. Los - grupos, de tres alambres, se anclan por medio de un taco de acero perforado y cuñas cónicas o piramidales. El sistema permite el tesado individual de cada alambre con el mismo esfuerzo de tensión en todos ellos. Esta tensión se mide, con suficiente aproximación, mediante un dinamómetro y, fácilmente, puede hacerse, en cualquier momento, un retesado correctivo. El anclaje ofrece un cierto margen de seguridad - con relación a la carga de rotura de la armadura.

Dyckerhoff y Widmann describen los anclajes a tuerca, sistema "Dywidag", para barras de 26 mm. Estas barras están provistas,

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

en sus extremos, de sendos fileteados laminados en frío. La disminución de sección originada por el fileteado queda así compensada por el aumento de resistencia que experimenta el acero, a consecuencia del laminado en frío. Para el anclaje se utiliza una tuerca, de tipo especial, que se apoya sobre una placa. Los esfuerzos de pretensado se reparten sobre el hormigón, mediante la placa de anclaje, cuya forma, con dos planos de distribución, asegura un reparto uniforme del esfuerzo. Esta transmisión del esfuerzo hace posible el empleo de placas de anclaje de dimensiones mínimas, lo que supone una gran ventaja, teniendo en cuenta la falta de espacio con que, en general, se tropieza en la zona del anclaje. Debe hacerse notar que el peso de este anclaje no excede del 50% del de un anclaje normal con tuerca y placa de apoyo cuadrada.

La tuerca especial de anclaje distribuye el esfuerzo, por igual, sobre todas las roscas. Esto la distingue de la tuerca ordinaria en la cual el esfuerzo actúa, solamente, sobre la primera rosca; las roscas sucesivas no intervienen en la transmisión del esfuerzo, más que después de haber saltado la anterior.

La colocación de esta tuerca especial, asegura el centrado de la barra con relación a su funda; la placa de anclaje va provista de un orificio para la inyección.

Una importante ventaja de este sistema la constituye el pequeño deslizamiento que experimenta en el momento del pretensado (0,2 milímetros).

[illegible] describe los sistemas de anclaje utilizados en Gran - Bretaña. Con el anclaje "Freyssinet", sólo puede producirse la rotu-

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

ra en caso de un aumento del rozamiento; por otra parte, el anclaje ofrece siempre la misma resistencia que el hilo. El anclaje Lee-McCall es capaz de soportar una carga igual al 98% de la resistencia a rotura de la barra.

Las placas de apoyo del sistema Magnel-Blaton ejercen una compresión, sobre el hormigón, que no excede de los 250 $Kg/cm^2$.

Los anclajes Gifford-Udall- CCL ejercen, igualmente, una compresión de 250 $Kg/cm^2$, cuando los alambres se tesan al 80% de su carga de rotura.

Se menciona la posibilidad de emplear el pretensado vertical en las secciones extremas, con el fin de eliminar las tensiones de tracción que en ella pueden originarse. Generalmente, para el estudio de la distribución de tensiones, se sigue el método de Guyon. Se destaca la ventaja que supone el que los anclajes queden incorporados al hormigón.

Se señala la concordancia entre las tensiones medidas y las calculadas, y se comprueba la distribución de tensiones en dos y en tres direcciones.

Las pérdidas ocasionadas por el rozamiento en los anclajes, se elevan al 2% en el sistema Magnel-Blaton, y al 5% en el método Freyssinet. La pérdida media de tensión originada por deslizamiento es análoga en los dos sistemas e igual, aproximadamente, a la que corresponde a un deslizamiento de 3 mm. En el procedimiento Lee-McCall no se produce deslizamiento en el anclaje.

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

Se señalan algunos casos de anclajes defectuosos debidos a deslizamientos o cargas bruscas. Las secciones extremas de hormigón de las piezas deben ofrecer una resistencia suficiente, y el anclaje ha de ser capaz de soportar, bajo carga estática, el 90% de la carga de rotura de la armadura, como mínimo.

Las cargas dinámicas, en general, no tienen influencia sobre las armaduras adheridas, pero los anclajes sin adherencia deben ser capaces de resistir, por sí mismos, efectos dinámicos y vibratorios de suficiente amplitud. Los anclajes deben comportarse, normalmente, a la temperatura ordinaria.

Rossetti indica que los anclajes a que se refieren los ensayos que anteriormente ha mencionado (anclajes Morandi y Balduchi), han dado siempre resultados suficientemente satisfactorios.

STUVO destaca la diferencia entre los anclajes con tuerca y los anclajes mediante cuña. En estos últimos se presenta siempre el problema de las pérdidas de tensión por deslizamiento, que pueden llegar a alcanzar valores considerables. Se describen los ensayos realizados para determinar las pérdidas y la seguridad de los sistemas - "Freyssinet" y "Magnel-Blaton". Los valores obtenidos, en dichos ensayos, para los deslizamientos, son:

| | |
|---|---|
| Para los anclajes "Freyssinet" con cono macho de Portland ..... | 4-5 mm |
| Para las placas "sandwich" con cuñas nuevas.. | 6-8 mm |
| Para las placas "sandwich" utilizadas ya otra vez anteriormente ..... | 3-5 mm |

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

Debe advertirse que estas placas "sandwich" eran de origen holandés. En los ensayos efectuados con placas belgas los deslizamientos medidos fueron menores.

Se insiste sobre la importancia de que las propiedades de los materiales utilizados sean las adecuadas y de que el acabado de las diferentes piezas del anclaje sea lo más perfecto posible. Se estudia, de un modo especial, la deformación plástica de los conos "Freyssinet" y se hacen determinadas recomendaciones sobre los métodos de pretensado y anclaje.

Sea cual sea el sistema de anclaje utilizado, debe exigirse que el deslizamiento no exceda de su valor normal, cuando el anclaje se efectúe bajo una sobretensión en las armaduras igual al 25%. Deben prohibirse los cambios bruscos de dirección en los elementos de anclaje, o en sus proximidades. El margen de seguridad de los anclajes, respecto a la rotura, ha de ser, como mínimo, igual a dos.

El Ponente General, no desea hacer comentarios personales sobre esta parte de las comunicaciones presentadas. Unicamente le interesa señalar que la importancia del aumento de seguridad que proporciona a las estructuras la adherencia originada por la inyección es, en la actualidad, un hecho evidente, por todos reconocido, y al que debe prestarse cada vez mayor atención; en especial, por su influencia sobre la seguridad bajo las cargas dinámicas.

- - -

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

## REFERENCIAS

(1) RUSCH, H.- Spannbeton-Erläuterungen zu DIN 4227. Berlín, Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn. 1954. pp. 57.

(2) LEE, D.H.- High tensile alloy steel bars for prestressed concrete. Proceedings of the first United States conference on prestressed concrete, Massachusetts Institute of Technology. Agosto 1951. pp. 167-176. Discussion p. 177.

(3) MAGNEL, G.- Prestressed concrete. London, Concrete Publications Ltd. 1948. pp. VII, 215.

(4) LEONHARDT, F. and BAUR, W.- Brücken aus Spannbeton, wirtschaftlich und einfach. Beton und Stahlbetonbau. Vol. 45. Nº 8. Agosto 1950. pp. 182-188. Nº 9. Septiembre 1950. pp. 207-215.

(5) OSTENFELD, C. and JØNSON, W.- Forsøg med forspaendt beton. Copenhagen, Teknisk Forlag. 1951. pp. 90.

(6) GIEHRACH, U. and SATTELE, Ch.- Die versuche der Bundesbahn an Spannbetonträgern in Kornwestheim. Berlín, Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn. 1954. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Nº 115 pp. IV, 33.

(7) Tests of a prestressed concrete footbridge. Concrete and Constructional Engineering. Vol. 47, Nº 6. Junio 1952. pp. 185-188.

(8) LEONHARDT, F.- Spannbeton für die Praxis. 1st edition. Berlín, Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn. 1955. pp. XX, 472.

(9) WALZ, K.- Eigenschaften von Zementsuspensionen zum Auspressen. Beton und Stahlbetonbau. Vol. 49, Nº 9. Septiembre 1954. pp. 205 211.

(10) RONISCH, A.- Die Einwirkung von frost auf den Einpressmörtel von Spanngliedern. Beton und Stahlbetonbau. Vol. 50. Nº 2. Febrero, 1955. pp. 64-71. Nº 3. Marzo, 1955. pp. 89-93.

(11) Vorlaüfige Anweisungen für das Auspressen von Spanngliedern mit Zement-mörtel (Gültig bis 31.3.1955). R.P.A.

- - -

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

# CURSILLO DE HORMIGON PRETENSADO

Durante los días 28 de Noviembre a 16 de Diciembre del pasado año 1955, y organizado por la Asociación Española del Hormigón Pretensado, se ha desarrollado un cursillo en el que han sido tratados diversos temas relacionados con esta nueva técnica.

Las conferencias, dos diarias, se pronunciaron en el salón de actos del Instituto Técnico de la Construcción, y a ellas han asistido unas ochenta personas, diariamente, entre las cuales se encontraban técnicos de todas las especialidades, lo que parece demostrar el gran interés suscitado por el mencionado curso.

A continuación, se reproduce el programa del curso, indicándose también el nombre de los conferenciantes.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Lunes 28 de Noviembre: | 1ª Conf. | Razón del pretensado | Sr. Páez |
| | 2ª " | Puentes ..... | Sr. Páez |
| Martes 29 de Noviembre: | 1ª " | Estructuras ..... | Sr. Páez |
| | 2ª " | La ejecución del pretensado ..... | Sr. Páez |
| Miércoles 30 de Noviembre: | 1ª " | Sistemas y métodos de pretensado ..... | Sr. Páez |
| | 2ª " | Sistemas y métodos de postesado ..... | Sr. Piñeiro |
| Jueves 1 de Diciembre: | 1ª " | Las piezas prefabricadas. Viguetas y traviesas.- La ejecución | Sr. Páez |
| | 2ª " | Las piezas prefabricadas. Las características ..... | Sr. Páez |

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

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Viernes 2 de Diciembre: | 1º | Conf. | Vibración del hormigón | Sr. Angulo |
| | 2ª | " | Discusión libre, dirigida por el ..... | Sr. Páez |
| Lunes 5 de Diciembre: | 1ª | " | Propiedades mecánicas del acero ..... | Sr. Páez |
| | 2ª | " | Propiedades mecánicas del hormigón ..... | Sr. Páez |
| Martes 6 de Diciembre: | 1ª | " | Piezas sometidas a esfuerzos de tracción .. | Sr. Páez |
| | 2ª | " | Piezas sometidas a esfuerzos de flexión (Teorías clásicas) ..... | Sr. Páez |
| Miércoles 7 de Diciembre: | 1ª | " | Ejemplos numéricos en teorías clásicas ..... | Sr. Páez |
| | 2ª | " | Instrucciones de Hormigón Pretensado. Prefabricación y empalme de elementos ..... | Sr. Páez |
| Viernes 9 de Diciembre: | 1ª | " | Esfuerzos cortantes y pretensados múltiples. | Sr. Páez |
| | 2ª | " | Discusión libre, dirigida por el Sr. Páez, y proyección de una película sobre fabricación de tuberías de hormigón pretensado ..... | |
| Martes 13 de Diciembre: | 1ª | " | Ensayo, en modelos reducidos, de cubiertas de hormigón pretensado .. | Sr. Benito |
| | 2ª | " | Estructuras hiperestáticas ..... | Sr. Páez |

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

| | | | |
|---|---|---|---|
| Jueves 15 de Diciembre: | 1ª Conf. | Dimensionamientos en rotura. Experimentación ..... | Sr. Páez |
| | 2ª " | Hormigón pretensado - sistema "Dywidag" ... | Sr. Ugalde |
| Viernes 16 de Diciembre: | 1ª " | Algunas realizaciones españolas ..... | Sr. Roglá |
| | 2ª " | Aspecto económico y resumen final ..... | Sr. Páez |

- - -

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




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