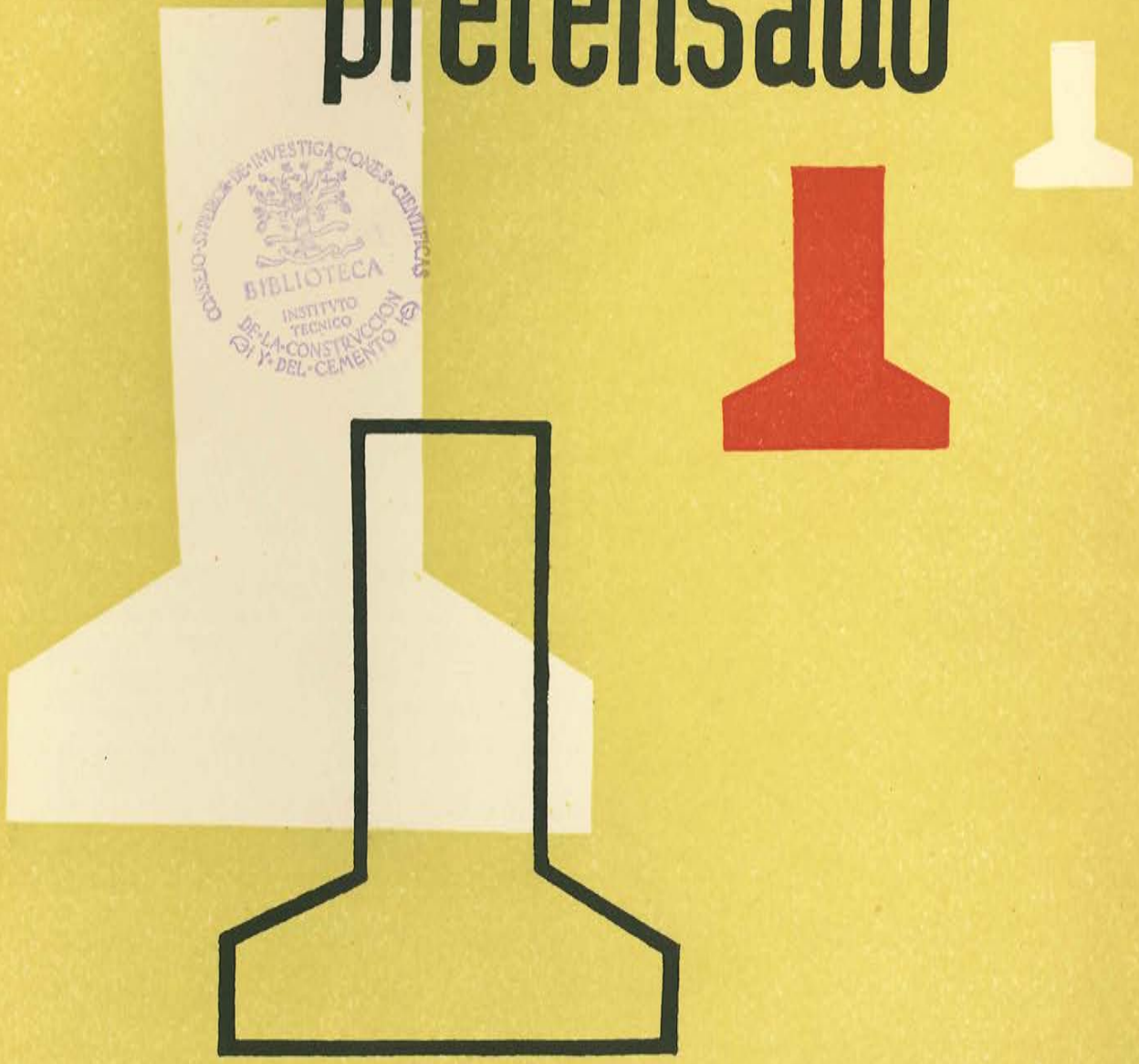
ULTIMAS NOTICIAS SOBRE

hormigón pretensado



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
BIBLIOTECA
INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

BOLETIN NUM. 47 DE LA ASOCIACION ESPAÑOLA DEL HORMIGON PRETENSADO
DEL INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

Patronato "Juan de la Cierva" de Investigación Técnica

BIBLIOTECA INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

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 47

Noviembre - Diciembre 1.958

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

ULTIMAS NOTICIAS SOBRE HORMIGON PRETENSADO

Nº 47

I N D I C E

		pág.
457-8-19	- Determinación en obra de las pérdidas por rozamiento en los cables de pretensado e interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos. Discusión. Varios	1
457-8-20	- Necesidad de armaduras en el alma de una viga pretensada.- Por: W.E. Dean	25
837-4-9	- Un pilote de hormigón, pretensado durante la hinca	29

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.

- Depósito Legal: M - 853 - 1958 -

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

457-8-19 DETERMINACION EN OBRA DE LAS PERDIDAS POR ROZAMIENTO EN LOS CABLES DE PRETENSADO E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS

Por: E.G. Trimble, B.Sc. (Eng.), A.M.I.C.E., A.M.I. Struct E. y colaboración de W.M. Johns, M.C., B.Sc. (Eng.), M.I.C.E. (PSC Equipment Ltd) y otros.

(Magazine of Concrete Research, Marzo 1957)

DISCUSION: VARIOS.

INFORME DE W.M. JOHNS

El experimento del Sr. Trimble es de interés desde diversos puntos de vista.

1.- Los trabajos sobre las características de los gatos confirma el supuesto corriente de que el rozamiento en el cono y gato alcanza de 10 a 20 kg/cm^2 en la lectura del manómetro de presión. Precisar más que esto no tiene virtualmente valor, a causa de la naturaleza de las operaciones realizadas para tomar los datos en obra.

2.- Los resultados obtenidos respecto al rozamiento de cables confirman los que da Guyon en el capítulo IV de su Hormigón Pretensado (págs. 95-100). El cambio del ángulo de los cables desde un extremo al otro alcanza de 90-100° y afectará a todo tipo de cable pretensado. No duda Mr. Trimble que el uso del tipo de cable que él elige no requiere precauciones especiales para el constructor.

3.- La cuestión de "recuperar lo perdido" al comienzo de la operación de tesado juega una gran parte, particularmente en vista del doble cambio de dirección de curvatura en cada cable. Esto será muy claro cuando se aprecia que la parte floja en la zona central só

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

lo puede ser tesada después de romper el rozamiento estático alrededor de la parte exterior del cable en la referida zona de la curva; esto es muy diferente cuando se trata de ganar la pérdida en un cable de sólo una curva simple, cuando la pérdida se gana progresivamente del centro hacia afuera hasta los gatos. El autor del informe, no obstante, aventura sugerir que la distorsión del cable juega una parte mucho menor que Mr. Trimble sugiere en la discrepancia entre las deformaciones medidas y calculadas.

El método simple que normalmente recomendamos para asegurar que la pérdida es enteramente recuperada en cables con curva simple, no podría, el autor del informe admite, ser usado con ninguna certeza en el trabajo de Mr. Trimble (con triple curvatura). No obstante, estoy de acuerdo que, en tal caso, la guía que da el manómetro de presión sería de más valor que la lectura de la deformación.

4.- Corrientemente hay variaciones de tensión en diferentes partes del cable inmediatamente después de tesado. Que la tensión en el extremo puede ser menor que la tensión en cualquier parte del cable al mismo tiempo es, sin duda, cierto; sin embargo, en un buen número de ocasiones se ha comprobado que esta variación dura poco, y confío que, si el Sr. Trimble comprobase las tensiones en diversos puntos, por ejemplo, a las 48 horas de haber tesado encontraría variaciones notablemente más pequeñas, posiblemente incluso no existentes. El autor del informe, no obstante, cree que la predicción de variaciones de tensión tiene solamente un valor temporal.

REFERENCIA

1. Guyon, Y. Prestressed Concrete, 1ª edición, Londres.
Contractors Record and Municipal Engineering, 1953, págs. 84-94.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

INFORME DEL PROFESOR R.G. ROBERTSON (UNIVERSIDAD DE CAPE TOWN)

El autor de este informe se mostró satisfecho al recibir el texto de este trabajo confirmando sus propias investigaciones respecto al rozamiento en cables pretensados, ya que un trabajo se había mandado al Editor antes de recibir el trabajo de Mr. Trimble.

Mr. Trimble ha hecho una valiosa contribución con su descubrimiento de la discrepancia entre lo esperado y las deformaciones medidas utilizando cables Freyssinet, y mis propios experimentos de laboratorio confirman esto con alguna extensión. El autor del informe ha sugerido la recolección de datos desde hace varios años en Cape Town sin lograr muchas respuestas de las firmas que se dedican a la construcción.

Parece, sin embargo, haber alguna discrepancia en las deformaciones calculadas por Mr. Trimble en la columna 15 del Cuadro 2. Con el primer cable, E4, aparece que, debido al empuje del gato, de 48 t y pérdida por rozamiento del 38%, el empuje central fué de 30 t y la tensión media de 47 t, siendo el área de la sección de 4,58 cm^2, y la tensión media de 8.437 kg/cm^2. En la columna 14 se da el valor de E_s que es de 43×10^6 kg/cm^2 y, partiendo de la tensión media, la deformación calculada (deducido un empuje inicial de 4.536 kg), habría sido de $\frac{96}{106} \times 59,6$ mm = 53 mm y no 41 mm como da. Con la cifra de Mr. Trimble, la tensión media del cable era solamente de 32 t; esto no podría ser correcto si la pérdida por rozamiento fuera del 38%. Para un cable tesado desde un extremo, el alargamiento calculado debe ser 41 mm; pero esto no debe confundirse con el alargamiento medido con los gatos en ambos extremos.

La discrepancia entre el alargamiento medido (37 mm) y el calculado (posiblemente 53 mm) fué, en todo caso, suficiente para su

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

gerir que se estaban empleando espaciadores de cables que eran inefi caces. Espaciadores eficientes, tales como las arandelas perforadas, reducen el rozamiento a la mitad, lo que debe justificar su uso (Ver cuadro I, página 24).

El Sr. Trimble probablemente usó, como alma, un hilo en espiral, y los ensayos de Guyon indicaron que este tipo de espaciado aumenta el rozamiento. El Sr. Trimble no menciona los coeficientes de rozamiento usados en la comprobación del alargamiento. Parece que debe ser por lo menos 0,45, que se puede reducir a la mitad por el uso de espaciadores apropiados.

Al tratarse de la enseñanza, deben elegirse con gran cuidado las palabras, razón por la cual, la frase de Mr. Trimble que "la pérdida por rozamiento es independiente de la tensión del cable" debe modificarse, pues esto no tiene evidentemente un significado cierto.

Los ensayos en el laboratorio del autor del informe han confirmado las conclusiones de Mr. Trimble.

Muchos experimentos se han llevado a cabo usando un conducto tubular de 11 m de longitud, suficientemente robustos para resistir la compresión, que se midió en intervalos de 3 m empleando para ello manómetros de presión en la parte exterior del tubo, mientras los cables de su interior se usaban con gatos colocados en un extremo.

El tubo utilizado era de 19 mm de diámetro interior y, entre otros ensayos, se hizo una comparación entre el rozamiento con seis hilos de 5 mm de diámetro por un lado, y con cuatro de 5 mm de diámetro, tesados a través de agujeros practicados en las arandelas, usando curvas de radios variables decrecientes de hasta 4,60 metros. Con los 6 hilos convenientemente espaciados el coeficiente μ de roza

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

miento fué de 0,55, y el rozamiento accidental, K, fué del 0,2% en los trozos rectos del tubo y más pequeño en uno curvo, dando el resultado estadístico de K = 0. Con los cuatro hilos con espaciadores a intervalos de 0,30 m, μ era 0,22, y K fué cero, tanto en el tubo recto (estadísticamente) como para curvas de diversos radios.

Cuatro tubos de 3 m de longitud, acoplados entre sí con tuerca y rosca, provistos de manómetros de presión, curvados al radio requerido y preparados para formar una curva continua o una curva sinuosa de cuatro segmentos fueron utilizados en los ensayos.

Las medidas del alargamiento fueron omitidas, hasta que la atención fué puesta en esta omisión; y así, sólo las curvas con radios de 15,27 m, y menos, podían ser comprobadas respecto al alargamiento. La comparación de curvas continuas y sinuosas sólo se hizo en curvas de radios de 15 m de radio y mayores.

Los hilos utilizados tenían 12,21 m de longitud entre los anclajes, de donde sobresalían 61 cm del gato. En los empalmes se añadieron trozos de 0,60 m en total, espaciados a 3 m, en los que se colocaron los manómetros para la toma de presiones.

El área de la sección del material del tubo fué 2,58 centímetros cuadrados, y la del alambre, de 0,2 cm^2. El valor del módulo de elasticidad E_s fué de 1.968.600 kg/cm^2. Los alargamientos medidos en el gato están expuestos en la fig. 1, donde las abscisas representan los alargamientos y las ordenadas los empujes en el extremo gato P_o.

El coeficiente de rozamiento $\gamma = \mu/R + K$ se halló estadísticamente partiendo de las tensiones en cinco puntos situados a lo largo del tubo, para 6 valores diferentes de P_o. Los movimientos del gato, medidos y calculados, y las relaciones entre los mismos se dan en el Cuadro I. Los alargamientos calculados se obtuvieron

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

con la fórmula siguiente:

$$0{,}12 \left[2 + (1-\varepsilon^{-38\gamma}) / \gamma + A_s (1-\varepsilon^{-36\gamma}) / 0{,}4\gamma \right] / 29A_s$$

Los alargamientos medidos fueron los mismos que los calculados cuando se usaron espaciadores apropiados, y en la curva continua incluso cuando no se usaron espaciadores. En las curvas sinuosas y sin espaciadores los alargamientos fueron de un 9 a 17% mayores que los calculados y, según los cálculos, estos están de acuerdo con las deducciones de Mr. Trimble. Dió Mr. Trimble detalles del espaciador que él usó, si lo usó, y del estado del mismo después de examinado en el ensayo de rotura o desplazamiento.

INFORME DE J.N. LOWE, M.A., A.M.I.C.E. (THE PRE-STRESSED CONCRETE CO. LTD)

Existe un peligro en no prestar suficiente atención a los efectos del rozamiento. Cuando un miembro se pretensa, el principal objetivo es aplicar una tensión que, cuando se combine con la debida a la carga, resultará una tensión aceptable en todo el miembro.

El estado de pretensado se determina por la fuerza aplicada al cable, el perfil del mismo y la posición de éste en relación al miembro. El interés en estos tres factores se concentra en el momento anterior de inyectar en la vaina del cable.

Mr. Trimble acentúa y mantiene el trabajo de Cooley, en lo que trata particularmente de los efectos del perfil del cable sobre la tensión del mismo durante el tesado. Algunos de los resultados causan disturbios. El 30% admitido por el acuerdo con Cooley es comparable con una pérdida media al 25,5 al 40%. Los empalmes del cable no es buena práctica, y no se tiene noticia del alargamiento di

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

ferencial de los alambres de un mismo cable.

El principal interés del autor del informe es que Mr. Trimble no abre, en su conclusión, una argumentación para otras investigaciones acerca de lo que sucede y puede suceder después de haber tesado los cables y antes de inyectar las vainas. En la propia experiencia del autor del informe, el efecto final del rozamiento es menor o puede ser menor que el asumido por Cooley. Por ejemplo, ensayos realizados con cargas de trabajo corrientes en vigas prefabricadas con una junta en el medio, y con el cable dentro de su vaina en espera de la inyección, no han presentado pruebas de fisuración precoz, ya que los cables ejercían su función. Existen un gran número de pruebas similares, pero con vainas inyectadas.

Hace cinco años que el autor del informe mandó tesar una viga, casi idéntica a la que describe Mr. Trimble, por medio de gatos planos que estaban colocados en dos juntas, cada uno de ellos, en un punto donde las fuerzas de pretensado se distribuían uniformemente sobre la sección. Las medidas tomadas indicaron un rozamiento despreciable.

Si, entonces, la opinión de Mr. Trimble en apoyo de Cooley es mantenida por otros, parece desprenderse que nuestros proyectos serían más caros y quizás injustificables, ya que:

1.- El acero debe elegirse teniendo en cuenta el mayor coeficiente de rozamiento y, por consiguiente, se necesitará más acero.

2.- El hormigón debe elegirse entre los de menor coeficiente de rozamiento y, por tanto, el hormigón empleado aumentará.

No obstante, el autor del informe se permite hacer las siguientes sugerencias:

1.- Tratándose de proyectar, indican los valores de Cooley que existen altas pérdidas por rozamiento y que es preciso volver a

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

retocar los espesores de cables o incluso que éstos tendones de perfiles más sencillos, consisten en mayor número de cables de menor sección. El coste de la operación de tesado sería reducido, y el ingeniero conocería el tipo de pretensado dentro de límites más estrechos.

2.- Además, aceptando los valores de Cooley, examinemos el método de empleo de los gatos para tesar los cables. En las vigas del autor del informe, por ejemplo, los gatos se colocaron en ambos extremos o, de lo contrario, se usaron gatos planos en puntos intermedios. Esto reduce las pérdidas por rozamiento y ahorra acero y hormigón. El sistema de pretensado se conoce dentro de límites más estrechos.

3.- Recuérdese que el pretensado atribuído según la forma de la sección y la tensión en el cable en su sección debe ser más fácil de calcular si se trata de una tensión constante en el cable, pero debe ser perfectamente aceptable si esta tensión varía.

4.- Deben considerarse las sobretensiones locales del cable, particularmente en los extremos.

También es importante se observen estas dos reglas durante el tesado:

1.- Mover cada cable en su vaina en toda su longitud, asegurándose que la fuerza requerida no excede de un valor determinado de acuerdo con la sección y el revestimiento de la vaina.

2.- Asegurarse que las lecturas no están tomadas desde una falsa línea de fe, y evitar todo procedimiento de tesado que pueda confundir al personal de la obra.

Por ejemplo, utilícese el manómetro para la cuarta parte de la carga y comprobar el alargamiento. Repetir esta operación

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

para la mitad de la carga. Compruébese el manómetro y líneas de fe de alargamientos volviendo nuevamente al cero, tárese y fíjese el cero.

Pero mientras que estas medidas suministran datos para el conocimiento presente del fenómeno y se desenvuelven dentro de las cifras de Cooley, se necesitan más detalles, de forma que los coeficientes de rozamiento y métodos para vencer las dificultades al proyectar y en obra se pueden generalmente aceptar como justificables y más económicos.

Necesitamos conocer como se comporta un cable después de haber sido tesado. Cooley sugirió todo esto en su primer informe.

Se necesitan ensayos sobre ensayos con cables de una, dos o tres curvaturas que aún no han sido inyectados para mostrar el efecto de:

1.- Acuñado de los cables.

2.- Pequeños movimientos del cable relativo al hormigón.

3.- Vibración aplicada.

4.- Deformaciones a largo término.

También son necesarios ensayos de vigas con cables que han y no han sido inyectados sus vainas para estudiar en ellos su comportamiento bajo la acción de la carga de trabajo con variación de las pérdidas asumidas por rozamiento.

La ingeniería es una ciencia de irregularidades; y en este campo particular del rozamiento, los límites son muy amplios para conducir la investigación hacia un solo límite.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

INFORME DE M. HENRI A.P. MORRIS (SOCIETE TECNIQUE POUR L'UTILISATION DE LA PRECONTRAINTE

Mr. Trimble merece nuestra admiración por su excelente experimento para determinar el rozamiento total a lo largo de la longitud de los cables. Los detalles han sido bien pensados, algunos muy interesantes, y los resultados obtenidos de gran utilidad.

El trabajo de Cooley y sus resultados han sido confirmados por los de Montagnon y otros, y se admite que la pérdida total puede predecirse con gran precisión usando sus métodos. Mr. Trimble da pruebas de ello, pero cree el autor del informe que quizás no se ha explicado claramente en el artículo. Se da un valor calculado del 32,7% para la pérdida por rozamiento en la línea central, pero esto se basa naturalmente en el supuesto de que exista una relación exponencial.

Cuando el porcentaje total de pérdida por rozamiento se representa tomando las tensiones máximas por abscisas aparece una gran dispersión rápidamente, quedando los resultados comprendidos entre 44 y 64%. De cualquier manera, esto no debe alarmarnos tanto como aparece a primera vista. Asume la misma variación de ± 10% de la media en una estructura existente. Si se recuerda que algunos cables pueden estar ligeramente sobre-tesados y otros insuficientemente, con tal que se pueda lograr un valor razonable del medio correspondiente a las pérdidas por rozamiento, entonces la fuerza total de pretensado se hallará muy próximamente al valor deseado.

Teniendo presente todo esto, así como la incertidumbre que rodea a todos los supuestos necesarios para la redacción de proyectos de ejecución y la dificultad de obtener valores exactos para las otras pérdidas, tales como la deformación lenta y relajación, no

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

se podría admitir se adoptase una fórmula simplificada para la obtención del valor medio de la pérdida por rozamiento. Semejante fórmula, cuya expresión se indica a continuación, se emplea corrientemente en Francia actualmente, y da resultados que se cree son aceptables dentro de un pequeño tanto por ciento.

La pérdida de una tensión inicial expresada en % es:

$$0{,}4\ (\alpha + nl)\ \%,$$

donde α es el cambio total de dirección del cable, en grados;
l, es la longitud del cable, en metros y,
n, una constante representando el denominado "bamboleo" o efecto de alabeo.

El valor usual para n se aproxima a la unidad, que corresponde a cables cuidadosamente colocados y de curvatura moderada (por ejemplo, con un cambio angular que no exceda de 30-40°). Un valor apropiado para cables que tengan cambios de ángulos bastante grandes, su valor sería de alrededor de 1,7 a 2,0. Esto depende, naturalmente, de la calidad de la mano de obra para colocar y fijar los cables, y del radio de curvatura. Cuanto más cerradas sean las curvas, mayor será su valor.

Alguna de estas pérdidas adicionales se debe posiblemente a un rozamiento entre cables debido a la rotura parcial de la hélice central que forma el alma. Por tanto tendremos:

$$0{,}4\ (107{,}5 + 2{,}0 \times 14{,}6) = 55\%,$$

valor que se ajusta muy bien a la realidad.

La experiencia adquirida en la construcción de depósitos en Francia y otros países sirve para confirmar la opinión de Mr. Trimble, de que la ruina de la hélice central puede y debe suceder en los cables de gran curvatura. Un simple cálculo para una ruina total del cable, formando una circunferencia completa, indica un posible

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

alargamiento adicional de cerca de 4 cm. Las cifras de este orden han sido encontradas en la práctica, y en tales casos las tensiones aplicadas se miden directamente o por medio de manómetros. Hay otro hecho, que debe considerarse cuando esto ocurre, es el de suponer que los cables están desigualmente tesados. Para cables de longitud corriente esto no tiene importancia, ya que la tensión total aplicada será la misma, y no es probable que los cordones individuales se hallen sobretensados; pero, en el caso de cables cortos, existe la posibilidad de sobretesar los cordones individuales y, por tanto, se deben evitar las grandes curvaturas en los cables cortos.

Las observaciones generales de Mr. Trimble sobre el efecto del cono macho en un anclaje son muy correctos, pero debería añadirse que la tensión mínima puede aparecer donde las pérdidas por rozamiento son bajas, es decir, en cables rectos y horizontales, como indican en las figuras II y III.

INFORME DE R.W. HOBBS (OVE ARUP & PARTNERS)

La sugerencia de que las medidas del alargamiento no constituyen una guía segura de la fuerza de pretensado en los cables de gran curvatura es obviamente cierto, pero las medidas del alargamiento es el método normalmente usado en la práctica para la mayoría de los cables; sin embargo, en cables curvados, la cantidad de una posible deformación puede calcularse geométricamente, y, si se trata de una proporción significativa del alargamiento total, entonces el método de Mr. Trimble de calibrar los gatos resultaría útil.

La otra sugestión que concierne la distribución longitudinal de fuerzas es interesante, y parece depende de la inclinación elegida para la línea 3 de la fig. 4 del texto. Esta línea puede tener un número de inclinaciones, siempre que satisfagan la condición de que el

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

área entre ella y la línea 2 represente el deslizamiento del anclaje. Dice el autor del informe que le gustaría saber si hay alguna evidencia experimental para la posición particular de la línea 3 presentada en la fig. 4. En particular, se han hecho algunas medidas del alargamiento en diferentes partes del cable. Estas podrían tomarse, probablemente, dejando aberturas o ventanas en un cable que se halle cerca de la superficie del hormigón.

INFORME DE E.H. COOLEY, M.A. (CANTAB.), A.M.I.C.E., A.M.I. Struct.E. (F.A. MACDONALD & PARTNERS)

Es naturalmente grato saber que las pérdidas por rozamiento calculadas por Trimble para un número de cables Freyssinet de alta curvatura están de acuerdo, estrechamente, con las deducidas de los valores dados en el informe.

Aparte de las verificaciones del trabajo, presentado anteriormente por el autor de este informe, el informe de Trimble es extremadamente interesante en lo que respecta a la luz que aporta sobre el grado de variación de la pérdida por rozamiento que se debe esperar en cables similares. El máximo porcentaje dado para las pérdidas por rozamiento es de 25,5 y 40,0 que corresponde a un promedio de 32,7, lo cual nos dice que las variaciones máximas son el 22% a uno y otro lado del valor medio. Este valor está de acuerdo estrechamente con el 20% sugerido por el autor de este informe (1ª edición de Octubre de 1953, pág. 22).

La gran discrepancia comparativa entre los valores calculados y medidos del alargamiento del cable es una perturbación molesta, y es difícil creer que ello es debido enteramente a una distorsión del cable durante el tesado, como se ha sugerido. El autor del informe ha observado que en los cables de curvatura inversa existe -

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

una tendencia a alargarse algo más acentuada que en otros cables similares de curvatura simple; pero de este efecto no ha dicho nada. No se dan valores en el informe respecto al aumento del alargamiento con referencia a la fuerza ejercida en el cable por el gato en el caso de un cable particular, y el autor del informe desearía saber si se tienen datos sobre este tema. Es posible que, con cables tan altamente curvados, el esfuerzo inicial del cable, 4.536 kg, para el que se debían medir los alargamientos del cable, fuese insuficiente para recuperar toda la parte del cable que se hallaba aflojada, particularmente en la zona central de los cables. Esto se deduciría si no existiese una relación lineal entre el alargamiento del cable y el empuje del gato.

No está claro en el Cuadro II cómo se determinaron los valores dados para los alargamientos calculados suponiendo que no se determinó la pérdida por rozamiento en los cables F14, G4, J16 y J6. En estos cables, especialmente el último, el aumento de tensión en el cable no era el mismo en cada gato, cosa que no podía existir en un cable sin pérdida por rozamiento.

El autor de este artículo tomó nota de la recomendación hecha para que no se confíe en las medidas del alargamiento para determinar la tensión de un cable Freyssinet de gran curvatura. Como es muy raro que un gato esté propiamente calibrado empleando un método tan comprensivo como el que se describe en el artículo seguido antes de utilizar el gato en la obra, el autor de este informe se conformaría con que el autor del informe discutido dijera si los manómetros de los gatos fueron comprobados en todo momento. En la fig. 3 se puede apreciar que, cuando los dos gatos actúan simultáneamente, la tensión en el cable tiene un valor que se puede medir, mientras que la lectura de la presión en el manómetro es todavía cero. Admitiendo que la pérdida por rozamiento a través del anclaje puede exceder 2.268 kg

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

de esfuerzo en el cable, parecería como si los manómetros empleados por Trimble tuviesen un error para el cero, posiblemente del orden de 28 kg/cm^2.

EL AUTOR CONTESTA A LOS INFORMES PRESENTADOS

Al Sr. Johns.

No se ve muy claramente como el Sr. Johns interpreta las características del gato para poder así confirmar que existe una pérdida de rozamiento en el gato y como que corresponde a una lectura de 90 a 136 kg/cm^2 en el manómetro.

En el gato B, las características antes señaladas presentan una lectura claramente exenta de error en el manómetro. Para esta y otras razones, el autor cree que cuando se utiliza un gato para medir la fuerza es necesario calibrar el gato o, preferiblemente, el conjunto, incluyendo gato y manómetro.

Estoy de acuerdo que no se tomaron precauciones especiales durante la construcción, pero sí se tomaron durante el tesado, para calibrar los gatos apropiadamente para las fuerzas que debían medirse. Esta precaución parece ser necesaria al utilizar cables sujetos a posible rotura y si se requiere una indicación segura del estado de pretensado.

El autor está de acuerdo con el Sr. Johns de que, aun - si una gran parte de la discrepancia entre los alargamientos medidos y calculados fuera atribuible a la maniobra de recuperar la pérdida de tesado, sería necesario todavía medir la tensión en el cable. También está de acuerdo el autor de que recuperar la pérdida de tesado local es más difícil con triple que con simple curvatura. Algunos cables de trazado con una sola curvatura utilizados en el mismo sitio,

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

dieron los siguientes resultados:

Promedio de alargamiento	3,11 cm
Alargamiento calculado	2,34 cm
Diferencia	0,77 cm
Diferencia prevista para una rotura total (Ver el informe de Mr. - Morris)	0,66 cm

El efecto de aflojamiento de cables de curvatura simple es probablemente pequeño, y los valores sugieren existía una rotura parcial.

El Sr. Johns no da evidencia concreta en apoyo de la - teoría de que la variación de tensión a lo largo del cable es de poca duración. El autor cree que las condiciones de un cable inmediatamente después de haber sido anclado son análogas a las de un bloque en una condición límite de rozamiento colocado sobre una superficie que presenta su concavidad hacia arriba (fig. IV). Aunque el rozamiento es limitado, cualquier ligero movimiento del bloque o del cable resultaría en una reducción de la fuerza que causa el movimiento, y la condición de ambos es, por lo tanto, estable. Debe admitirse que se producirá algún movimiento del debido a la vibración del cable y, como consecuencia, una redistribución de fuerzas, en cuyo fenómeno pueden alternarse flexión, temperatura, rotura y relajación; pero teniendo en cuenta la estabilidad inherente de la posición del cable después de anclado, este movimiento necesitaría seguramente - algunos meses para desarrollarse y su magnitud sería probablemente limitada.

Si los cables anclados se inyectasen a los pocos días - de haber sido tesados, el movimiento se pararía antes de que cualquier redistribución significante de fuerzas tuviera lugar.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

CONTESTACION AL PROFESOR ROBERTSON

El autor agradece al Profesor Robertson por haber indicado un error en el Cuadro II. Los cables se tensaron desde ambos extremos, y el alargamiento debido al rozamiento es igual al alargamiento sin tener en cuenta el rozamiento multiplicado por una función logarítmica que es igual aproximadamente a $(1-\frac{1}{2}\, p/100)$. Como sugiere el Profesor Robertson, esta corrección no modifica el argumento presentado en el informe.

Como sugiere el Profesor Robertson se utilizaron espaciadores formados con alambre en forma de hélice; pero, como los cables formaban parte de una estructura permanente, no fué posible examinarlos después de tesados. En una predeterminación perdida los factores sacados del informe de Cooley fueron: $\mu = 0{,}25$ y $K = 10^{-3}$, que dieron resultados razonables de acuerdo con las pérdidas observadas. El hecho de que el valor para μ es más bajo que el que da el Profesor Robertson, puede obedecer a un finísimo revestimiento de plomo del interior de la vaina que actuaba como un lubricante. También puede obedecer a que los cables hayan sido movidos en sus vainas antes de tesar dejándolos en condiciones óptimas.

El resultado del Profesor Robertson, dado en el Cuadro I, no es estrictamente comparable con el del autor, puesto que el Profesor Robertson no utilizó cables con alma como los del autor. Puede ser interesante comparar la relación de los alargamientos medidos con los calculados. En los ensayos del Profesor Robertson con cables sinuosos sin espaciadores, la relación está comprendida entre 1,09 y 1,17 y el promedio es 1,12; en los ensayos del autor utilizando cables sinuosos con espaciadores de alambre la relación es de 1,04 a 1,34, y el promedio es 1,20; pero no hay correlación observable entre relación y el porcentaje de pérdida por rozamiento. El mayor va-

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

lor del promedio tiene más importancia cuando existe una rotura parcial del espaciador o alma provocada durante el tesado.

CONTESTACION A MR. LOWE

El autor está de acuerdo con muchos comentarios del Sr. Lowe, pero quisiera hacer las siguientes observaciones.

1.- El Sr. Lowe sugiere que éxiste cierta evidencia al apoyar la teoría de que la variación del esfuerzo a lo largo del cable disminuye con el tiempo, incluso en los cables que han sido inyectados. Otra interpretación de los comentarios del Sr. Lowe consiste en que la redistribución de fuerzas tiene lugar tan rápidamente después del tesado que la tensión del cable puede ser uniforme a lo largo de su longitud al tiempo de inyectar las vainas. Sin datos numéricos respecto a los cables a que el Sr. Lowe se refiere, es difícil para el autor comentarlo; pero el hecho de que en la viga ensayada la rotura no produzca la fisuración rápidamente, no confirma por sí mismo que el esfuerzo del cable se redistribuyó después del tesado. La fig. 4 del informe del autor sugiere que si el esfuerzo del cable llega a ser uniforme a través de su longitud, este esfuerzo alcanzaría cerca de los 33.566 kg. Puesto que el esfuerzo previsto sin admitir redistribución es también de 33.566 kilogramos, la parte central sería muy parecida, y por tanto, no aportaría evidencia alguna en cualquier sentido.

Además, aunque el Sr. Cooley sugirió en su informe que los cables se ajustan ellos mismos después del tesado, él me infor-

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

mó que las observaciones hechas durante los 8 meses después de tesar no aportarán evidencia conclusiva a este respecto.

El Sr. Cooley participa de la opinión del autor que el ajuste de los cables por sí mismo, si tal ocurre, limitaría a los cables aun no inyectadas sus vainas. Su larga serie de observaciones se hicieron sobre cables especialmente dejados sin inyectar las vainas.

2.- El autor está de acuerdo que los gatos planos pueden usarse algunas veces para reducir el rozamiento; pero esto hubiera sido difícil en este caso porque la estructura pretensada era monolítica dentro del entramado de un edificio de once plantas, al que aún se han de añadir tres plantas más en fecha posterior.

3.- Aunque el autor está de acuerdo que las pérdidas por rozamiento implican una sección mayor, no es cierto que el uso de uno o más cables produciría algún ahorro en el coste.

4.- Respecto a los ensayos adicionales que el Sr. Lowe sugiere, los valores dados en la contestación del autor al Sr. Hobbs proporcionan evidencia con respecto al efecto de acuñar los cables.

Yo creo que la vibración longitudinal de los cables antes del anclaje se ha logrado con éxito, obteniendo mayores alargamientos y, por tanto, reducir el rozamiento; pero con gatos que utilizan cuñas de fijación, este procedimiento es por lo menos peligroso en potencia.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

CONTESTACION A M. MORRIS

El exceso de 4 cm en el alargamiento que cita M. Morri para la suma total a 360° equivale a casi 1,65 cm a los 150° de lo cables probados, que se puede comparar con una diferencia media en tre el alargamiento calculado y el real en obra de 1,08 centímetro

Los valores observados serían, pues, válidos con una r tura parcial del espaciador de cables durante las operaciones de t sado.

CONTESTACION A M. HOBBS

El autor no tenía conocimiento directo de la línea de pendiente de la fig. 4, pero sabe que existe una evidencia inciden tal. Los ensayos siguientes se llevaron a cabo utilizando un cable sin conos machos:

a) La determinación del rozamiento se realizó como con los otros cables. La variación del eje centr fué del 31,2%.

b) Ambos gatos se llevaron a la presión que produjo un esfuerzo de 47.780 kilogramos.

c) Los gatos aumentaron la presión hasta llegar a u alargamiento adicional de 0,95 cm en cada extrem Los esfuerzos requeridos fueron de 58.970 kg y d 59.423 kg, respectivamente.

d) Las tensiones del gato fueron aflojadas gradualme te hasta que los alargamientos de cada extremo vo vieron a su valor original, es decir, al alargamiento de 0,95 cm en cada extremo después de tesar.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Los esfuerzos en los gatos fueron, en este momento, de 33.113 kilogramos y de 31.000 kg, respectivamente. La diferencia fundamental entre este ensayo y una operación normal de tesado consiste en que los esfuerzos se midieron después de llegar a las pérdidas de tensión después de haber tesado.

El proceso del tesado se representa en la fig. V, en la que las pendientes corresponden a la pérdida por rozamiento del 31,2% con respecto a la parte central, valor observado para este cable.

Las áreas triangulares de la fig. V representan 0,97 cm y 0,8 cm, que se pueden comparar a 0,95 cm; y, considerando la exactitud del procedimiento del ensayo proporciona una razonable confirmación de los supuestos que se han hecho en la fig. 4, al obtener las líneas 3 y 5 de las líneas 2 y 4. La comparación entre los esfuerzos de anclaje correspondientes a la fig. 4, de 31.710 y 33.576 kg, y los valores medidos de 31.111 y 33.113 kg, resulta satisfactoria.

El autor supone que Mr. Cooley, en su ensayo dejó "aberturas" en el hormigón para poder tomar las medidas de tensión en los cables. En todas investigaciones, sin embargo, se ha tropezado con la dificultad del retorcido de los cables al aplicar la tensión; además, no debe olvidarse que el coste adicional debido a interferencias en el trabajo normal de construcción puede ser de consideración y, por tanto, se decidió obtener tanta información como fuera posible en los extremos de los cables solamente. Se intentó medir la tensión del cable durante la calibración del gato usando un elongámetro colocado en el cable expuesto entre los bloques (ver fig. 2); pero aun en este corto cable recto, el retorcimiento durante el tesado motivó que las medidas resultasen inciertas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

La técnica del laboratorio del Profesor Robertson parece que logra vencer las dificultades y, sin duda, logrará dar algo de luz a la cuestión de las variaciones de tensión a lo largo del cable y su duración.

CONTESTACION A MR. COOLEY

Mr. Cooley puede apreciar las correcciones de discrepancias entre los alargamientos medidos y calculados con relativa seguridad. Desafortunadamente, no se han guardado datos del aumento del alargamiento con el esfuerzo del cable. El autor cree que esto hubiera podido dar algún conocimiento sobre la recuperación de la pérdida por afloje que podría esperarse antes de que la distorsión del trozo de cable tuviese lugar.

Los alargamientos, suponiendo que no exista pérdida por rozamiento, se basan en la diferencia entre el esfuerzo medio final y el esfuerzo medio inicial. Se debe admitir que este procedimiento es más bien artificial si las fuerzas iniciales son desiguales; pero, no obstante, proporciona un buen medio de comparación.

Los manómetros de presión fueron calibrados inmediatamente antes del ajuste de los del gato y sus piezas y, como deduce Mr. Cooley, se comprobó que no había error alguno substancial.

RESUMEN

1.- Mr. Johns y Mr. Lowe sugieren que el esfuerzo del cable puede redistribuirse rápidamente después de anclar los cables. El autor ha dado razones por las cuales parece que esto es improbable, y entiende que el trabajo de Mr. Cooley sobre estas cuestiones confirma largamente el

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

punto de vista del autor. Si se tuvieran más datos experimentales, su estudio sería de gran utilidad.

2.- Se está de acuerdo en que las medidas del alargamiento no proporcionan una indicación segura del esfuerzo del cable cuando éste está sometido a algún posible relajamiento.

3.- Aunque se admite generalmente que los cables con alma helicoidal están sujetos a distorsiones o rotura, la discrepancia entre los alargamientos calculados y medidos se atribuye, según Mr. Johns, por lo menos parcialmente, a la recuperación de cable en las zonas flojas. Los ensayos con cables cortos simplemente curvados, donde este tipo de recuperación sería pequeña, sugiere, sin embargo, que la degradación resulta ser, probablemente, de mayor importancia.

4.- M. Morris confirma que la pérdida de tensión después de tesar puede resultar que se opere con menor intensidad en los anclajes que en cualuier otro lugar del cable. Se ha obtenido una confirmación ulterior en el ensayo especial que se describe en la contestación del autor a Mr. Hobbs.

5.- Finalmente, aunque el autor considera no existen insuficientes pruebas para determinar la tensión del cable con exactitud, es de la opinión que es necesario mayor exactitud. Por ejemplo, si dos terceras partes de los cables tienen pequeña curvatura, y solamente un tercio está altamente curvado, el procedimiento usual de tesado relacionando la tensión con el alargamiento daría suficiente aproximación. El momento resistente no se halla afectado en ningún caso, aunque se introduzcan variaciones apreciables de tensiones.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

CUADRO I

Curva Radio metros	Sinuosa 4,572	Sinuosa 7,620	Sinuosa 15,240	Continua 15,240	Sinuosa 30,48	Continua 30,48	Recta x
Seis hilos sueltos							
γ	0,0350	0,0230	0,0082	0,0133	0,0050	0,0046	0,0017
Alargamiento medido/P_o	0,083	0,093	0,114	0,099	-	-	-
Alargamiento calculado/P_o	0,071	0,084	0,105	0,098	0,113	0,113	0,119
Razón de ambos	1,17	1,11	1,09	1,01	-	-	-
Cuatro hilos con separadores							
γ	0,0147	0,0093	0,0029	0,0040	0,0021	0,0018	0
Razón con Y de arriba	0,42	0,40	0,35	0,30	0,42	0,39	0
Alargamientos medidos/P_o	0,132	-	0,158	0,158	-	-	-
Alargamiento calculado/P_o	0,129	0,141	0,159	0,155	0,156	0,159	0,166
Razón de ambos	1,02	-	0,99	1,02	-	-	-
1 pie = 30,58 centímetros							

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

457-8-20 NECESIDAD DE ARMADURAS EN EL ALMA DE UNA VIGA PRETENSADA

Por: W. E. Dean, ingeniero.

(Engineering News Record)

Al realizar los ensayos de una viga de hormigón pretensado, que debía emplearse en la construcción de puentes urbanos para carreteras, se llegó a conclusiones de interés para este tipo de material.

La adherencia es amplia siempre entre la parte superior de la cabeza de una viga y la losa que sobre ella se hormigona en obra, sin necesidad de emplear llaves para resistir al esfuerzo cortante horizontal y longitudinal.

El ensayo de las vigas se realizó utilizando los materiales de un importante taller dedicado especialmente a la construcción de vigas prefabricadas para la realización de un proyecto de puente en Miami, actualmente en construcción por el State Road Department de Florida. Entre los elementos del puente hay una serie de tramos rectos de 13,70 m de luz, salvados con vigas de hormigón pretensado espaciadas a 2 m. La losa hormigonada sobre ellas, de 18 cm de espesor, se comporta como si el conjunto de la viguería estuviese compuesto por vigas de sección en forma de T para resistir los efectos de las cargas móviles.

Para hacer frente al esfuerzo cortante entre las cabezas superiores de las vigas y la parte inferior de la losa, así como para armar el alma de las vigas, se ha utilizado un tipo de estribos que tiene la forma de una U invertida. La parte superior de la U invertida se proyecta al exterior de las vigas, mientras que las dos barras rectas que la forman se han embebido en la viga en casi todo su canto.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Debido a un error el constructor solo colocó estribos cortos convenientemente distribuídos en las alas de las vigas.

Antes de descubrir este error se habían construído ya 31 vigas de esta clase y sin armaduras en las almas. Los adjuntos esquemas representan las vigas con las U invertidas y las patas profundas aprovechadas para armar el alma, tal como se han concebido y suministrado.

Objeto de ensayo

Los cálculos realizados para el proyecto tenían margen suficiente para resistir hasta tres veces más de lo que exigían las normas H20-S16 para las cargas móviles.

Para justificar el empleo de estas vigas se requirió al constructor, a su propia cuenta y riesgo, que ensayara una de estas vigas colocándola bajo las condiciones similares al lugar y forma que en el puente debían quedar definitivamente sometidas a las sobrecargas. El criterio seguido en los ensayos consistió en que las vigas-probeta debían resistir tres veces más la sobrecarga que había servido para proyectarlas, más la carga correspondiente para prevenirse contra el efecto de impacto.

Con objeto de simular las condiciones de trabajo en el puente se hormigonó sobre la viga una losa de 18 cm de espesor y de 2 m de anchura, con lo que se consiguió una viga en forma de T. El ensayo se realizó siguiendo las directrices de R.H. Wright & Son, en Fort Lauderdale.

La viga resiste el esfuerzo cortante en su extremidad

Primero se le aplicó la carga correspondiente al esfuerzo cortante estudiado por múltiplos de la reacción debida a la sobrecarga e impacto. Al llegar a la carga triple, criterio adoptado para la aceptación del material, no se notó defecto alguno en la vi

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

ga aparte de una flecha ligera correspondiente a la carga.

Antes de abandonar el ensayo, la carga se elevó a cuatro veces más de la utilizada en el proyecto. Con esta carga extrema no apareció síntoma alguno de fisuración o defectos en el alma, ni tampoco en la unión entre la losa y la cabeza. Tampoco se pudo observar ningún deslizamiento de los cables utilizados para el pretensado.

Flexión de la viga

Terminados estos ensayos de esfuerzo cortante se llevaron las sobrecargas a la zona central de la viga para los ensayos de flexión. Con una carga tres veces mayor que la que sirvió de base en el proyecto, sólo aparecieron ligeras grietas en las alas de la cabeza inferior. Al quitar las cargas desaparecieron las grietas y había desaparecido casi completamente la flecha original.

El primer defecto de carácter permanente apareció al cargar la viga 3,8 veces más que la carga calculada. Al quitar esta carga las grietas se cerraron casi completamente en las alas inferiores, pero permanecieron abiertas en el alma. La flecha permanente que resultó después del ensayo era de 3 milímetros.

El alma no resiste el esfuerzo cortante

Antes de llegar a la rotura, la viga ensayada resistió una carga 4,6 veces mayor que la proyectada. En el período inmediatamente anterior a la rotura, la curva de la deformación por flexión se transformó en una recta debido a la fluencia de las armaduras. La rotura se presentó cuando una gran parte de la zona fisurada del alma de la viga se desintegró y rompió. Puesto que esta viga de prueba se comportó de acuerdo con las condiciones establecidas, se aceptó el pedido inicial de otras 30 vigas mas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

El Departamento de Carreteras del Estado de Florida ha ensayado varios elementos pretensados para puentes en estos últimos años. El tipo de rotura de la viga a que nos referimos resultó ser completamente diferente a los de las otras. Se logró llegar a la carga máxima de flexión como se ha puesto de manifiesto por la fluencia observada en las armaduras y el aplanamiento de la curva de deformación en la flexión. La rotura tuvo siempre su iniciación en el alma. Así, pues, antes de llegar a la carga máxima la viga cedió pero, si se hubiese armado el alma, la viga podía resistir a una sobrecarga mayor.

Estas observaciones deducidas del ensayo vienen en apoyo de la recomendación dada para el criterio que debe seguirse en la prefabricación de vigas de hormigón pretensado para puentes por el Bureau of Public Roads, en el sentido que deben armarse, aunque sea en la mínima proporción, las almas de las vigas de hormigón pretensado, a pesar de que en el cálculo resistente de las mismas no esté prevista armadura alguna.

Adherencia entre viga y losa

A excepción de las ligeras depresiones de la parte superior de la cabeza de la viga en las proximidades de los extremos, no se utilizaron llaves para aumentar la adherencia entre las alas y la losa hormigonada sobre ellas.

Los estribos que sobresalen al exterior en la cabeza de la viga sirven de atadura vertical entre los dos elementos, permitiendo que la tendencia al movimiento horizontal debida al esfuerzo cortante no pudiera desarrollarse.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

837-4-9 UN PILOTE DE HORMIGON PRETENSADO DURANTE LA HINCA

(Concrete and Constructional Engineering - Vol. 52. 1957)

El pilote esquematizado en la figura 1 ha sido patentado en Holanda por N. V. Spoorwegbouwbebrijf y otros. Se compone de varias piezas prefabricadas, dejando en su interior una barra que sobresale de la cabeza del pilote para retener y unir las distintas piezas quedando así el pilote dispuesto para ser tesado.

Pieza del pilote que sirve para el anclaje de la barra (1); anclaje (2); parte que sobresale de la barra (3); piezas huecas del pilote constituyendo el cuerpo del mismo (4); barra (5) que se une a la parte (6) que sobresale del anclaje; la barra puede estar formada de varias partes antes de unirse (7); en la parte superior del pilote va una pieza cilíndrica (8); la parte inferior de este cilindro (9) deja un hueco para un anillo (10) de ajuste, en (11) y (12) se colocan anillos de guarnición; para la hinca, la machina golpea sobre el anillo (13), el cual tiene un aro de empaquetadura (14); en (15) va el pistón que actúa sobre la barra de acero (5); el espacio (17) que existe entre la cabeza del pilote y el émbolo (16) del pistón, se llena de un flúido inyectado a presión a través del hueco (18); en (22) se ha dejado una ventosa para el aire; la cabeza de la barra se fija a la cabeza del pistón por medio de una tuerca (19) y un anillo cónico (20) formado por dos piezas; las barras de acero se tesan cuando el pistón se levanta debido a la presión del flúido en el espacio (17), presión que tiende a levantar el anillo (13); cuando el anillo (13) recibe un golpe del martillo se comprime el flúido del espacio (17), haciendo descender las partes (8) y (9) y, por consiguiente, al pilote; en este momento el pistón (15) se levanta y tira de la barra de acero. Cuando el pilote se ha hincado se -

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

quita la cabeza y las barras de acero, y se rellena con hormigón la parte hueca central del pilote.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

457-8-19.—DETERMINACION EN OBRA DE LAS PERDIDAS POR ROZAMIENTO EN LOS CABLES DE PRETENSADO E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS

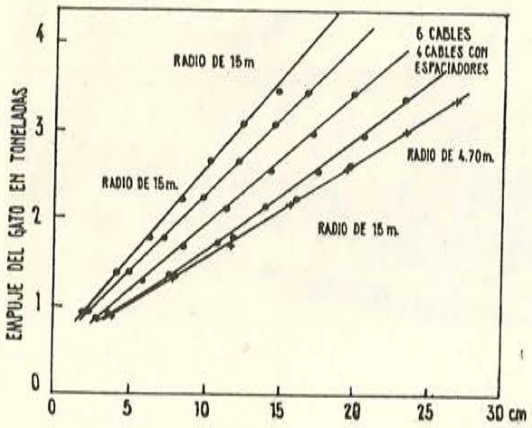


Fig. 1

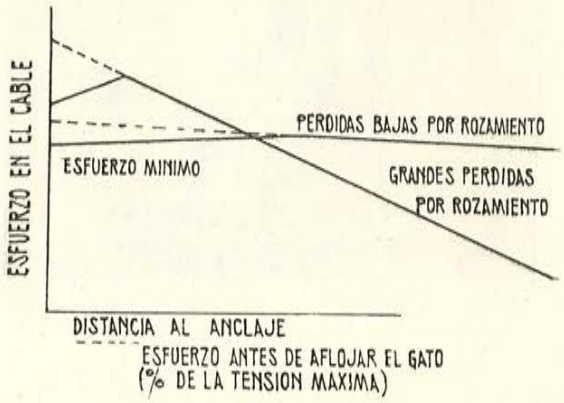


Fig. 2

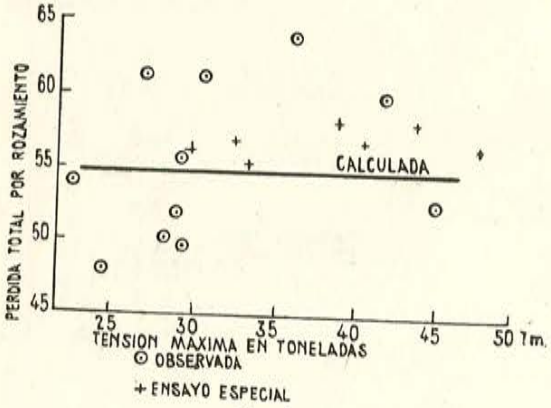


Fig. 3

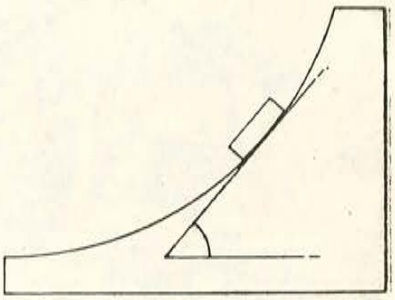


Fig. 4

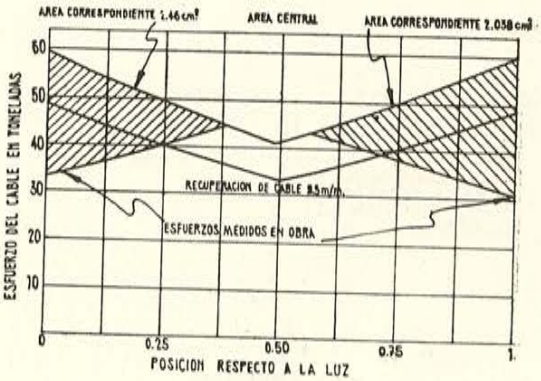


Fig. 5

Fig. 1.—Alargamientos medidos en cms.

Fig. 2.—Pérdidas de tensión debidas a la zona de anclaje.

Fig. 3. - Pérdidas totales por rozamiento.

Fig. 4.—Condición similar de rozamiento a la de un cable inmediatamente después de tensado.

Fig. 5.—Pérdidas de tensión en un cable sin conos machos.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

Fig. 1

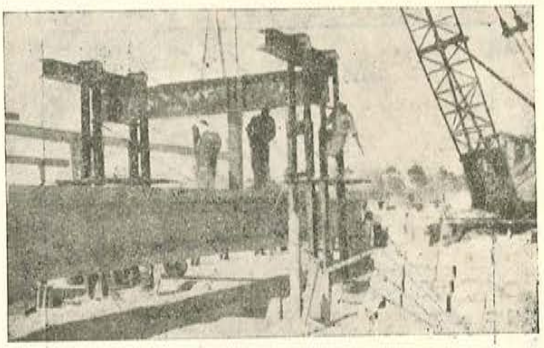


Fig. 2

Fig. 3

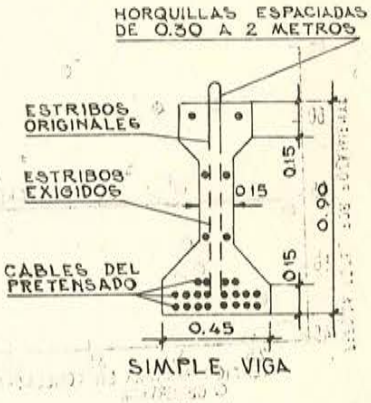


Fig. 4

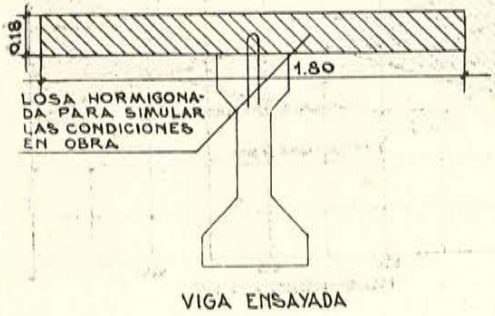


Fig. 5

Fig. 1.—Ensayos de esfuerzo cortante en l extremidades de la viga.

Fig. 2.—Ensayos de flexión.

Fig. 3.—La viga se llevó a la rotura total.

Fig. 4.—Sección de la viga normal.

Fig. 5.—Sección de la viga ensayada c la losa.

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

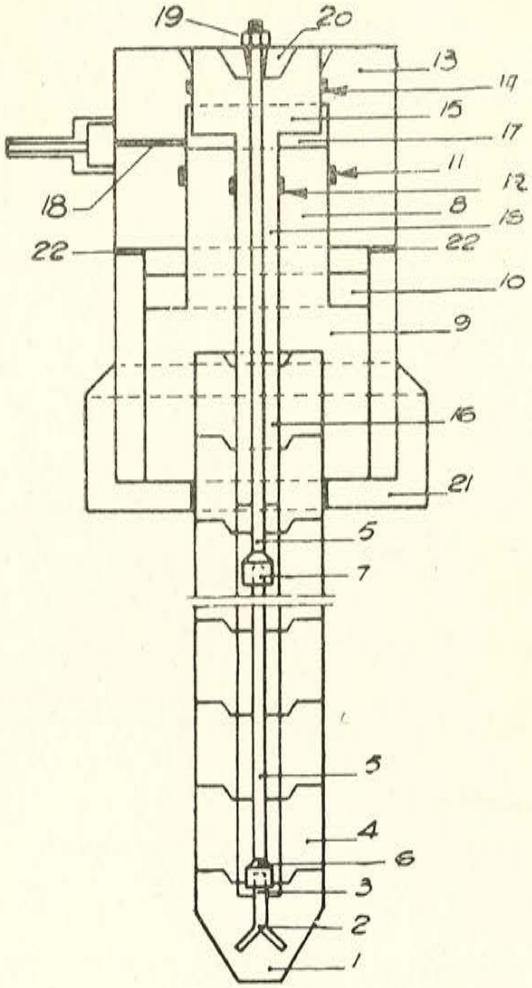


Fig. 1

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

INSTITUTO DE CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

Documento descargado de www.e-ache.com el 04/12/2025