

ULTIMAS NOTICIAS SOBRE

# hormigón pretensado



BOLETIN NUM. 46 DE LA ASOCIACION ESPAÑOLA DEL HORMIGON PRETENSADO  
DEL INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

60

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 46

Septiembre-October 1958

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

I N D I C E

=====

	pág.
457-8-17 - Comportamiento, bajo tensión, de las armaduras para hormigón pretensado.- Por: R. de Strycker. ...	1
457-8-18 - Determinación "in situ" de las pérdidas por rozamiento en los cables de pretensado o interpretación de los datos registrados en los ensayos.- Por: E.G. Trimble. ....	19
837-6-2 - Mortero inyectado para el hormigón pretensado.- Por: K. Walz. ....	27

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 -

457-8-17 COMPORTAMIENTO, BAJO TENSION, DE LAS ARMADURAS PARA HORMIGON  
PRETENSADO

Por: Robert de Strycker, Director del Instituto de Metalurgia  
de la Universidad de Lovaina.

Desde el origen de la técnica del hormigón pretensado, las armaduras destinadas al pretensado se han formado con alambre de acero duro. Hoy todavía la gran mayoría de las obras y de los elementos pretensados llevan alambre en las armaduras. Las tensiones alcanzadas efectivamente en los alambres varían entre un mínimo del orden de 60 kilogramos por milímetros cuadrados y un máximo del orden de 130 kilogramos por milímetros cuadrados. Los valores extremos son más bien excepcionales y las tensiones en el momento de poner las armaduras son frecuentemente del orden de 100 kg/mm<sup>2</sup>.

A excepción de algunas pequeñas piezas en las construcciones metálicas, principalmente muelles, jamás los materiales metálicos habían sido, hasta hoy, utilizados a tensión comparable.

Se sabe que, para los aceros duros, y especialmente para los aceros forjados o aquellos que han sufrido tratamientos térmicos dándoles una estructura muy fina, la curva de tracción no alcanza el primer máximo, es decir, el que sirve normalmente a la determinación convencional del límite elástico en los aceros recocidos. Después de un ensayo de tracción normal, si se llevan las dilataciones en ordenadas y las cargas totales en abscisas, la curva obtenida sube de una manera continua y el descenso de la carga antes de romperse es poco importante, puesto que la estricción de los aceros no es muy considerable.

Se sabe que, para los materiales que no alcanzan el pri

mer máximo, el límite de elasticidad convencional se define, generalmente, por la carga máxima que, a lo largo de un ensayo normal, no provoca una deformación superior a una fracción dada de la longitud primitiva.

El valor más frecuente de esta fracción es de 0,2%.

Esta definición ha sido adoptada por varios países, y en Bélgica es generalmente designada bajo el vocablo "límite de elasticidad AFNOR". Otros numerosos límites han sido propuestos y adoptados a título de ensayo, tales son los que corresponden a 0,1 % y 0,01%. A decir verdad, cuanto más se disminuye el valor de la fracción tanto más difícil es la determinación del límite.

Estas determinaciones se hacen generalmente por la medida del alargamiento total en función de la carga. Se obtiene un diagrama alargamiento-carga total por transportación directa o por puntos. Admitiendo la ley de Hooke como verdadera para las tensiones que no son demasiado elevadas, se traza una paralela a la primera parte de la curva, parte que debe ser recta, desplazando esta paralela hacia la derecha una distancia correspondiente a la definición elegida del límite elástico convencional. En efecto, los alargamientos se miden sobre los largueros que son, por ejemplo, del orden de 200 mm y en estas condiciones un alargamiento permanente de 0,01 % corresponde a un alargamiento de 0,02 mm. Los comparadores utilizados siendo generalmente de centésima de milímetro, la medida no es imposible pero bastante delicada.

Esta determinación de los límites de elasticidad convencional se contradice con algunas objeciones, por ser bien difícil de normalizar los tiempos de permanencia de las diversas cargas, y la experiencia nos enseña que, más allá de una cierta carga, siempre inferior al límite de elasticidad convencional, los materiales que no

interesan sufren alargamientos plásticos y no alcanzan de golpe su valor definitivo. De ello resulta que la curva alargamiento-carga es diferente según que el ensayo sea ejecutado rápida o lentamente.

Se llama generalmente fluencia a la deformación plástica bastante lenta que se produce para las cargas inferiores al límite de elasticidad convencional. El fenómeno de fluencia ha sido reconocido hace bastante tiempo, pero se había parado su estudio sobre todo en las condiciones muy diferentes de aquellas que interesan a los técnicos del hormigón armado. A lo largo de los años de 1926 a 1940, se ha estudiado casi exclusivamente la fluencia de aceros a las temperaturas de trabajo en las calderas y los conductores de vapor de centrales a alta presión y de gran calentamiento.

Algunos estudios ya realizados se han referido a la fluencia, dentro de temperaturas ordinarias, de los metales blandos, tales como el plomo, el estaño y sus aleaciones.

El problema de la fluencia de los aceros, y especialmente de los aceros duros a las temperaturas ordinarias, no se planteaba apenas, desde el punto de vista técnico, antes de la construcción de obras en hormigón pretensado.

Bajo las tensiones que han sido mencionadas más arriba, los alambres forjados, exclusivamente utilizados en los primeros años de aplicación de la técnica del pretensado, fluyen bastante notablemente. Habiéndose apercibido de ello se tuvo en cuenta en el cálculo.

A decir verdad, esto que pasa en las armaduras no es la fluencia en el sentido habitual del término, pues la fluencia es la deformación lenta bajo carga constante.

En una primera aproximación se puede admitir que, en el hormigón pretensado, la longitud de las armaduras permanece constante. Esta longitud puede ser considerada como la suma de otras tres: la

primera y con mucho la más importante, es la longitud primitiva sin tensión de la parte que está comprendida entre los dispositivos de anclaje, la segunda está formada por el alargamiento elástico correspondiente a la tensión de tesado, y la tercera, que es normalmente más débil que la segunda, es el alargamiento plástico producido a lo largo de la puesta en tensión, es decir, durante la elevación de aquélla y antes de la fijación de las armaduras en los amarres.

Si admitimos, siempre en primera aproximación, que a lo largo del tiempo la distancia entre los anclajes permanece constante, se deduce de ello que la suma del alargamiento plástico debe permanecer igualmente invariable. Nosotros sabemos desde luego que bajo las tensiones utilizadas la materia se alarga plásticamente y que este alargamiento crece con el tiempo. Debe seguirse de ello una reducción correspondiente del alargamiento elástico, lo que significa, - puesto que en primera aproximación el módulo de elasticidad no cambia apenas en servicio, una reducción de la tensión en el alambre.

Hay pues fluencia en un cierto sentido puesto que existe deformación plástica, pero esta deformación plástica se manifiesta por una reducción de tensión. Por ello, se prefiere describir este fenómeno bajo el nombre de relajación.

La relajación de las armaduras provoca una reducción del pretensado e interesa en primer lugar a los especialistas del hormigón pretensado.

No me pertenece el discutir aquí las variaciones en el tiempo de la distancia que separa los anclajes. Estas variaciones - son debidas principalmente a la retracción del hormigón, a la fluencia de esta materia y a las variaciones de volumen por modificación notable de la temperatura y del grado higrométrico. Finalmente, es preciso señalar todavía las repercusiones de la relajación - en las deformaciones elásticas del hormigón. Si estoy bien in-

formado, la resultante de estas diversas causas es siempre en el sentido de una aproximación de los anclajes y, por consiguiente, al efecto de relajación del acero se añade aquel de la deformación del hormigón.

Más exactamente, el acortamiento de la obra debido a la evolución del hormigón provoca una caída de tensión del pretensado y de las tensiones en el alambre. Ahora bien, la relajación de los alambres es una función creciente de la tensión inicial y, en primera aproximación, de la tensión en todo momento. Como consecuencia podemos decir que la relajación debida a la deformación plástica del acero será normalmente más débil en las obras de hormigón pretensado que en los dispositivos donde se mantiene la longitud constante.

Los especialistas del hormigón me afirman que, en el estado actual de nuestros conocimientos, no es posible predecir con una aproximación aceptable para dirigir un programa de ensayo, cuales son las variaciones de la longitud del hormigón en el tiempo. También, a lo largo de todos los ensayos de relajación a los cuales me he referido, he adoptado longitudes constantes.

Algunos constructores utilizan barras de acero, y no alambres, para pretensar. Para llegar a tensiones aceptables, es decir, que no sean demasiado bajas y a pesos y volúmenes de armaduras que no sean muy elevadas, es indispensable recurrir a aceros especiales tratados térmicamente. Sólo se emplean estos aceros para las tensiones que no dan fluencia apreciable, y, por consiguiente, relajación sensible, por lo que no se hallan demasiado distantes de aquellos que provocan deformaciones inaceptables. Por consiguiente, se ha propuesto, además de armaduras de este género, limitar las tensiones a valores inferiores llamados de límite de fluencia, es decir, la tensión más alta para la cual no se constata deformación plástica o para la cual aquélla tiene, después de un tiempo bastante largo, un valor muy pequeño, convencionalmente



te definido. Es, a primera vista, seductor simplificar el problema de la estabilidad del pretensado en el tiempo haciendo desaparecer uno de los factores de relajación, o sea, utilizando armaduras por debajo de su límite de fluencia. Es preciso señalar, no obstante, que hasta aquí el hormigón es una causa de relajación y que, en estas condiciones, es necesario siempre prever que la tensión límite de las armaduras es diferente de la tensión de tesado. Para muchas aplicaciones las barras son excluidas especialmente para los pequeños elementos: cañerías, postes, traviesas; y, en cambio, para muchos otros elementos de pequeño diámetro presentan ciertas ventajas. En fin, hasta hoy, las barras de acero especial tratado sólo son fabricadas en longitudes bastante limitadas y los problemas de transporte y manipulación hacen probablemente impracticables la fabricación de barras de más de 12 metros de longitud. Esto explica que en la mayoría de las obras donde el pretensado es particularmente interesante, sería necesario realizar las armaduras por medio de varias barras unidas unas con otras, por ejemplo, por manguitos; lo que plantea problemas bastante delicados, especialmente para la ejecución del fileteado.

En mi opinión los alambres serán, en un futuro próximo, las armaduras normalmente utilizadas para el hormigón pretensado.

En las primeras obras de hormigón pretensado, se han empleado alambres de acero duro, de un diámetro que no excede los 5 mm, y que contiene alrededor de 0,7 % de carbono y de 0,3 a 0,6 % de manganeso.

Estos alambres sufren generalmente el tratamiento de recocido, es decir, un paso por el campo austenítico, seguido de inmersión en un baño de plomo cuya temperatura es próxima a 500°C. Un tratamiento tal, da al material una estructura que los metalógrafos califican de troostítico, formada de láminas alternadas de hierro casi puro, o ferrita, y de carburo de hierro que se llama cementita. Estas lami-

nillas son muy finas; las laminillas de cementita tienen menos de  $\frac{1}{10.000}$  de milímetro de espesor.

El alambre tratado en una especie de recocido es sometido entonces a varios trefilados sucesivos hasta llevarlo al diámetro definitivo. Partiendo de un alambre laminado de 7 a 8 mm de diámetro, se obtiene así un alambre de 5 mm de diámetro que tiene una carga de ruptura del orden de  $140 \text{ kg/mm}^2$  y un límite elástico AFNOR del orden de  $110 \text{ kg/mm}^2$ . La tensión de tesado para estos alambres es alrededor de  $95 \text{ kg/mm}^2$ . Cuando los diversos tratamientos térmicos y mecánicos han sido ejecutados correctamente, estos alambres no han dado jamás lugar a descontento, pero se admite que la relajación propia de las armaduras puede alcanzar alrededor del 10 % de la tensión de origen.

Era necesario, no obstante, verificar que las propiedades del alambre son convenientes, y desde 1940 algunos que lo utilizan habían formulado las exigencias que conciernen a la fluencia de estos alambres, es decir, su alargamiento bajo carga constante igual a la tensión de origen.

Una fábrica belga realizando la fabricación de alambre para hormigón pretensado ha pedido, en 1943, al Instituto dirigido por el autor, si podía hacer ensayos de este género. Rápidamente pareció que por medio del elongómetro óptico de Martens estas medidas eran perfectamente realizables, y, desde entonces, los ensayos relativos a las armaduras para pretensado han sido proseguidos prácticamente sin interrupción en los laboratorios del Instituto de Metalurgia de la Universidad de Lovaina. Las primeras medidas llamaron la atención del Ministerio de Obras Públicas, algunos ensayos fueron hechos por la Dirección de Fuentes en 1944 y es, desde entonces, de cuando datan los primeros ensayos de relajación, es decir, de medidas de la variación de la tensión, siendo la longitud constante. Entretanto otros diversos laboratorios belgas, precisamente el de MAGNEL de la Universidad de Ger

CAMPUS de la Universidad de Lieja y el laboratorio de Orex de Bruselas, y varios laboratorios extranjeros, tales como el laboratorio federal de Zurich y el laboratorio central de la Construcción en París han comenzado trabajos sobre la misma materia.

Ha parecido rápidamente que existían divergencias, a veces bastante notables entre las medidas efectuadas sobre un mínimo lote de alambre, por dos laboratorios diferentes, o, incluso, en un solo laboratorio. Los métodos empleados por los diversos experimentadores para las medidas de fluencia eran bastante diferentes, especialmente en lo que concierne al tipo de elongómetros y la longitud de medida, o sea, la longitud sobre la cual se hacen las medidas. Algunos métodos bastante seductores fueron propuestos para los ensayos de relajación.

Ha parecido necesario proceder a un estudio sistemático de las diversas cuestiones planteadas. Sin ser extremadamente extenso, el programa mínimo parecía salir, no obstante, del cuadro de ensayos a efectuar por un Organismo existente o una Empresa sola, y es por lo que un Comité para el Estudio de la Fluencia de los Metales a Temperaturas Ordinarias, ha sido constituido en 1948, bajo la forma de una asociación sin fin lucrativo, con el concurso de la siderúrgica, de la industria de fabricaciones metálicas y, principalmente, de trefilerías, y de las grandes empresas de obras públicas. Sin participar en ello oficialmente, el Ministerio de Obras Públicas colabora con el Comité, y aquél procura los subsidios de I.R.S.I.A. La mayor parte de los trabajos ejecutados son los del Laboratorio de Ingenieros Civiles de la Universidad de Lieja, bajo la dirección del Sr. Rector Campus, de una parte, y el Instituto de Metalurgia de la Universidad de Lovaina, de otra.

Se sabe, sin embargo, que algunos ensayos y medidas fueron confiados a otros laboratorios industriales o universitarios. La actividad de la Estación de Lieja llevó esencialmente las medidas sobre barra

así como de alambres de grueso diámetro, mientras que la Estación de Lovaina estudia exclusivamente los alambres.

A continuación nos limitaremos prácticamente a la descripción de los trabajos efectuados hasta aquí, en Lovaina y a su discusión.

Con el concurso del I.R.S.I.A., el Comité ha hecho adquisición de seis máquinas de ensayo, especialmente estudiadas para permitir el estudio de alambres.

Estas seis máquinas son del tipo de palanca doble dando una multiplicación global de 30 veces. La figura 1 nos muestra el esquema del principio de estos aparatos.

Todas las articulaciones son del tipo de cuchilla de acero templado. La capacidad teórica es de 3 toneladas, pero funcionan perfectamente bajo cargas de 5 toneladas. La elección de esta capacidad permite, de una parte, el estudio de casi todos los alambres actualmente en el mercado, bajo todas las tensiones importantes y, de otra parte, una sensibilidad particularmente grande en campo de las cargas más interesantes.

Es, en efecto, bien conocido que una máquina capaz con 20 toneladas, por ejemplo, no tiene muy buena sensibilidad bajo una carga inferior a 2 toneladas, lo que no ha significado de ninguna manera que ella no sea utilizable bajo cargas más débiles, pero las resistencias pasivas inevitables son entonces perceptibles.

La distancia que separa las muelas es regulable y puede alcanzar 1,50 m; sin embargo, como explicamos más adelante, la distancia normalmente utilizada es de 400 mm. La elección de esta longitud resulta del deseo de evitar que las diversas palancas se separen demasiado de la horizontal a lo largo de un ensayo de fluencia. Puesto que el coeficiente de amplificación es de 30, todas las deformaciones de

Las probetas provocan un desplazamiento del punto de aplicación de la carga, que es de 30 veces más grande. En efecto, en el curso de las medidas habituales, las deformaciones más grandes son inferiores a 1 mm. Por consiguiente, la rotación de la palanca principal no pasa apenas de un grado. Las máquinas han sido ajustadas convenientemente con objeto de lograr que la reproducción de las tensiones aplicadas mejore, en precisión, a la de los anillos de tarado. A título de indicación, una carga de una tonelada, pongo por ejemplo, añadiendo progresivamente pesos, no se desvía de una carga de una tonelada a la cual se llega retirando pesos de una fracción de kilo.

A pesar de todos los esfuerzos no ha sido posible hasta hoy detectar si esta desviación es propia de la máquina o si es debida al dinamómetro de medida. Las garantías de los fabricantes de estos aparatos no comportan, en efecto, más que una precisión inferior a las desviaciones constatadas, y ellos señalan que las medidas no pueden ser hechas valederamente sino en carga creciente. Nos hemos esforzado en emplear barras sin fluencia probablemente como base de un dispositivo dinamométrico llevando un elongámetro del tipo Martens. La sensibilidad de semejante dispositivo es mucho más grande que la de los anillos dinamométricos, pero ella hace aparecer una histéresis o retardo en el equilibrio, tanto a la subida como a la bajada. La importancia de esta histéresis es del orden de 2 ‰ de la deformación elástica para una probeta que no fluye probablemente. La mayor parte de este retraso es debido a un efecto termoelástico. Nada nos permite, hasta hoy, decir si el resto es lo que se llama un efecto elástico retardado, interesando principalmente la barra tendida o de una deformación retardada en la máquina.

En este último caso se trata probablemente de deformaciones débiles, lentas y casi reversibles de las articulaciones.

De todas maneras creemos poder afirmar que las cargas sobre

las probetas son mejor conocidas en las máquinas del tipo de pesos que en los otros tipos.

Los ensayos sobre alambres cuya longitud es del orden de 100 veces el diámetro no dan lugar a flexiones notables, incluso si las cabezas de anclaje no están perfectamente centradas o paralelas. Los anclajes han sido, sin embargo, dispuestos para reducir estas flexiones al mínimo. Su construcción se ha realizado de manera que se combine la ligereza y la rigidez, lo que ha sido obtenido proveyéndolas de un zunchado.

Una de las máquinas ha sido provista de un dispositivo de relajación, igualmente esquematizado en la figura 1. Consiste en un depósito conteniendo un aceite estable (no volátil y no oxidable) y de viscosidad apropiada. El depósito está provisto en su parte inferior de una válvula en punta que puede ser elevada por un electroimán, la cual es dirigida por el operador que observa el elongámetro óptico en el espejo por medio de un relé.

La intervención es requerida bastante frecuentemente al principio de los ensayos; pero espero poder poner a punto un dispositivo automático, el cual se podrá utilizar después del primer cuarto de hora.

Mediante la aplicación de un electroimán corriente en medio de resortes antagónicos, el funcionamiento de la válvula no provoca vibraciones excesivas.

Las máquinas han sido provistas de un amortiguador, con objeto de atenuar las vibraciones. Estos amortiguadores están llenos de petróleo lampante.

El programa de investigaciones del Comité lleva en principio un estudio crítico del método de medida. Un primer punto que debía fijarse es la elección de la longitud de medida, es decir, de la parte de

la probeta en la cual se medirá el alargamiento en el tiempo (ensayo de fluencia) o que se mantendrá la longitud constante (ensayo de relajación). La experiencia anterior del autor condujo a adoptar una longitud de medida de 200 milímetros.

Como esta longitud era la más débil de todas aquellas que habian sido propuestas, y otros experimentadores trabajaban sobre longitudes generalmente inmediatas a 2 m y algunas habian pasado la veintena de metros, ha parecido necesario examinar atentamente este punto.

Como las longitudes que pasan 2 m parecen poco prácticas, bastaba pues establecer que no había ventajas o que había en ello eventualmente inconvenientes en pasar de una longitud de medida del orden del metro. A este fin, una serie de alambres de acero fabricados hacia 1945, de una parte, y hacia 1948, de otra, han sido examinados utilizando las longitudes de probetas sometidas a medidas de 200 milímetros. Estas longitudes o trozos se espaciaron a 500 milímetros. Las medidas se hacían en relajación y utilizando un elongómetro del tipo Martens.

Los resultados han sido sometidos al análisis estadístico. Ellos han mostrado que en el conjunto las variaciones de las propiedades de los alambres sobre las distancias del orden de metro eran débiles. En estas condiciones, no hay interés en adoptar una longitud de medida de 1 ó 2 m mejor que 200 mm con vista a obtener una media más aproximada de la probeta.

En mi conocimiento ningún elongómetro del tipo Martens ha sido jamás fabricado de una longitud superior a 200 milímetros. En vista de los trabajos del Comité, un elongómetro de este tipo, de 500 mm ha sido construido y ha servido para hacer toda una serie de medidas sobre un manojo de alambres que había sido estudiado cuidadosamente por medio de elongómetros de 20 milímetros.

El análisis estadístico de los resultados ha demostrado que la reproducción de medidas era menos exacta con un elongómetro de 500 mm que con un aparato de 200 milímetros.

Esta desviación ha sido atribuida a que el aparato de 500 mm es necesariamente mucho más pesado. Como consecuencia de estos ensayos ha sido adoptada definitivamente la longitud de 200 milímetros.

Desde entonces, nuevas experiencias nos inducen a afirmarnos menos en esta opinión. El autor no está convencido de que no haya medio de obtener una reproducción tan buena con una longitud de 500 mm que con una longitud más corta. El autor no cree, no obstante, que haya que lamentar la decisión tomada, pues un elongómetro de 500 mm es difícil siempre de montar y, además, una longitud de medida relativamente débil tiene la ventaja de hacer una carga más rápida y delimitar el tiempo durante la cual una medida directa de la fluencia o de la relajación es imposible.

En fin, los elongómetros cortos permiten, eventualmente descubrir las heterogeneidades en pequeña escala, heterogeneidades cuya existencia ha sido reconocida posteriormente en algunos alambres.

El programa precedente ha provisto dos subproductos interesantes: la constatación de un efecto de mandíbulas y aquélla del envejecimiento espontáneo.

La comparación de las relajaciones medidas con las longitudes de base, respectivamente, de 500 y de 200 milímetros, muestra que, para la primera, la relajación es siempre más débil que para la segunda. Dos orígenes de esta desviación pueden ser esperados un efecto de extremidades y un envejecimiento espontáneo, teniendo en cuenta que los ensayos en trozos de 500 milímetros se han ejecutado y



rias semanas después que los ensayos en una extensión de 200 milímetros.

Dejando una mayor distancia entre las mandíbulas y la longitud de medida que la que había sido adoptada para las primeras series de experiencias, se ha podido establecer que hay un efecto de extremidades o de mandíbulas, es decir, que las partes del alambre distantes de las mandíbulas, por ejemplo, de 5 diámetros de alambre, se relajan más rápidamente que las que están distantes, por ejemplo, de 25 diámetros. El estudio detallado del fenómeno habría llevado bastante tiempo, y hemos adoptado una distancia de 100 mm, al menos, entre las mandíbulas y la zona de medida. La interpretación de este fenómeno es bastante difícil, a menos de admitir que una sección normal de la probeta pierde su plano a lo largo de un ensayo normal de relajación hasta una cierta distancia de las mandíbulas, es decir, que las capas exteriores se alargan ligeramente más que las capas profundas.

La cosa es perfectamente posible, pero no nos parece oportuno actualmente el ponerlo en evidencia. En efecto, estos desplazamientos, si existen, son del orden de algunas micras, como máximo, y no existe, en el conocimiento del autor, método de referencia que no afecte directamente el fenómeno.

De otra parte, hemos demostrado igualmente que la relajación del paquete de alambres que sirve de patrón es más débil cuando aumenta el tiempo que ha pasado entre la fabricación del alambre y comienzo del ensayo.

La diferencia no es muy importante; pero nos proponemos examinar pronto, de una manera sistemática, si este envejecimiento espontáneo no es más importante a lo largo de los primeros días o primeras semanas del trefilado. Se percibe inmediatamente todo el interés de esta cuestión, pues se podría, si es interesante, poner los

bres en reserva durante algunas semanas antes de servirse de ellos inmediatamente.

Los ensayos efectuados hasta hoy han puesto igualmente en evidencia el hecho, que la dispersión de los resultados obtenidos de fluencia es notablemente más grande que los de resultados de relajación. Esto es una constatación que es reconfortante para los que se interesan por el hormigón pretensado. En lo que concierne a los valores de dispersión, un manojo de alambre de fabricación normal de 5 mm de diámetro y de una carga de ruptura de  $140 \text{ kg/mm}^2$ , da desviaciones de relajación, en 23 horas, en torno a la media del orden del 10%. Estas desviaciones tienden a ser más fuertes para tiempos más cortos de 23 horas y más débiles para tiempos más largos, lo que es igualmente bastante molesto para los especialistas del hormigón.

Es incontestable que un manojo de alambres tratados y trefilados presenta una heterogeneidad de propiedades sobre su longitud. Esta heterogeneidad tiene diversas causas: las variaciones de composición y las variaciones de tratamiento. Parece bien, sin embargo, que hay causas locales que no nos son bien conocidas y que son el origen de ciertas anomalías en el comportamiento bajo cargas elevadas. No obstante, especialmente en relajación, el material se corrige de alguna manera a sí mismo. Después de varios ensayos podemos sacar la conclusión provisional que, salvo en los materiales muy heterogéneos, si una probeta se relaja un poco más de prisa durante las primeras horas, - ella se relajará un poco menos de prisa durante las horas siguientes, de suerte que, a la larga, las desviaciones de relajación tienden a disminuir en valor relativo. Las desviaciones pueden crecer en valor absoluto porque las probetas bastante distantes la una de la otra son efectivamente bastante diferentes, pero la parte de la diferencia - debida a los factores totalmente locales parece disminuir con el tiempo. El autor ha podido hacer constataciones del mismo orden deg

pués de otros trabajos ejecutados por el Instituto para clientes privados y sobre alambres de fabricación exactamente diferentes.

A lo largo de estos últimos meses, la Estación del Comité de Lovaina ha examinado una gran variedad de alambres de diversos orígenes y de diámetros diferentes. El mayor número de medidas han sido hechas sobre fluencia, ya que una sola máquina de la batería está actualmente equipada para hacer ensayos sobre relajación. Estas medidas han mostrado que, incluso para los hilos de fabricación reciente, la dispersión de los resultados puede ser algunas veces todavía considerable y, aproximadamente después de 72 horas por ejemplo, las probetas vecinas han dado fluencias que están en una relación de 2 a 3, tendiendo esta relación a desviarse más de la unidad con el tiempo. Incluso en relajación algunas probetas no tienen la tendencia a la uniformidad con el tiempo. Se trata, sin embargo, de excepciones.

Los teóricos que están relacionados con el estudio de la fluencia durante el período donde aquélla se aminora con el tiempo, que es el caso que interesa a las armaduras de pretensado, han establecido diversas fórmulas mostrando que la fluencia total debe ser una función logarítmica del tiempo. Estas funciones son del tipo:

$$\text{Fluencia total} = A (\log. \text{ del tiempo})^a$$

Los valores atribuidos a  $a$  van de  $\frac{1}{3}$  a  $\frac{2}{3}$ . Para los alambres normales hemos constatado que el valor de  $a$  es igual a 1 o muy generalmente inferior a este valor. Cuando los alambres son anormales, decir, para los alambres muy heterogéneos o cuya fluencia es más importante que aquellas otras bajo 60 % de la carga de ruptura, el valor  $a$  no es constante. Ella se mantiene alrededor de la unidad durante las primeras horas, pero haciéndose en seguida mayor.

En lo que concierne a las relajaciones, las fórmulas s:

ples no pueden ser aplicadas. Hasta el presente no disponemos de un número suficiente de medidas para poder proponer las fórmulas tipos. No parece excluido que el tipo de fórmula debe ser diferente según que se trate de alambres simplemente tratados y trefilados o de hilos que hayan sufrido un tratamiento térmico después del trefilado. Se encuentran sobre el mercado alambres sometidos a un envejecimiento acelerado después del trefilado, es decir, calentados durante un tiempo, que se mide generalmente en minutos, en un intervalo de temperaturas comprendido entre 200 y 400° C. Los alambres así envejecidos son susceptibles de ser utilizados bajo tensiones notablemente superiores a las que convienen a los alambres simplemente tratados o trefilados. Sin embargo, las deformaciones por torsión que pueden soportar antes de romperse son más débiles.

Las especies examinadas hasta aquí son también notablemente más heterogéneas que los alambres normales. La prudencia se impone en cuanto a la elección de la tensión inicial.

Hay también alambres laminados o trefilados de secciones muy variadas, sometidos a temple después de su puesta en forma definitiva. Algunos de estos alambres son de sección circular, otros de sección rectangular, romboidal con esquinas redondeadas, otros de sección relativamente plana o provista de nervios procedentes del laminado, y otros, en fin, se han retorcido. Las formas especiales son destinadas a permitir un anclaje sin intervención de mordazas, de conos u otros dispositivos usuales. Estos alambres tratados tienen en general propiedades de relación más favorables que las de los hilos simplemente trefilados. Su heterogeneidad es, con frecuencia, importante y se han señalado casos de ruptura sin deformación apreciable o, incluso, antes de poner en tensión.

De una forma general, se constata que cuanto más elevada es:

la tensión específica inicial necesaria para producir una relajación dada en un tiempo dado, más débiles, por ello, la disminución de la relajación. Es pues imposible decir hoy las reglas valederas para to dos los alambres.

Si un alambre normal (5 mm, carga de ruptura alrededor de  $140 \text{ kg/mm}^2$ , límite elástico AFNOR en torno a  $110 \text{ kg/mm}^2$ ) puede ser uti lizado bajo una tensión inicial de  $35 \text{ kg/mm}^2$ , contando que una rela- jación en 23 horas es del orden de 3,5 % sería inadmisibles adoptar pa- ra un hilo de alta resistencia (por ejemplo 5 mm, carga de ruptura  $170 \text{ kg/mm}^2$ , límite elástico AFNOR  $155 \text{ kg/mm}^2$ ), una tensión inicial de  $125 \text{ kg/mm}^2$ , bajo pretexto que en 23 horas su relajación no alcanza, no obstante, más que al 2,5 %. En el estado actual de nuestros conocimien- tos, nada nos permite afirmar que en 10 años, por ejemplo, la relaja- ción de este último alambre no será más grande que la del primero.

Sería muy peligroso todavía basarse únicamente en el lími- te elástico AFNOR o sobre otra característica determinada para ensayo de corta duración.

Parece, por otra parte, inútil limitar al 60 % de la car- ga de ruptura la tensión inicial admisible. En el estado actual de la cuestión, no creo posible proponer una regla definitiva. Considera el autor que, para los materiales nuevos, serán indispensables los ensa- yos de 15 días al menos y retener los resultados de estos ensayos, to mando particularmente el valor de la relajación a lo largo de la se- gunda semana.

De aquí a algunos años, se podrá sin duda sacar medidas he- chas de leyes que permitan predecir el comportamiento a larga duraciór (a escala de años) según el comportamiento a corta duración (a escal- de días).

457-8-18 DETERMINACION "IN SITU" DE LAS PERDIDAS POR ROZAMIENTO EN LOS CABLES DE FREYSSINET E INTERPRETACION DE LOS DATOS REGISTRADOS EN LOS ENSAYOS

Por: E. G. Trimble, B. Sc. (Eng.), A.M.I.C.E., A.M.I. Strut. E  
(SCOTT & WILSON, KIRKPATRICK & PARTNERS)

RESUMEN

Este informe describe pruebas llevadas a cabo en obra para la determinación de las pérdidas por rozamiento en las vainas de los cables Freyssinet utilizados en los tubos de conducción Kopex de acero. Los resultados confirman ampliamente algunas de las cifras publicadas previamente por Cooley. Los ensayos se basaron en las medidas de fuerzas, demostrándose que las medidas de alargamientos no pueden ser siempre exactas y que el efecto de rozamiento puede dar en la parte central una tensión más alta que en los anclajes.

INTRODUCCION

El autor se ocupó de la tensión de los cables Freyssinet - (de 12 alambres de 0,276 pulgadas de diámetro) curvados considerablemente en elevación y suavemente en el plano. Como puede apreciarse en la figura 1, la curvatura en elevación es algo mayor que la usual y, ello, anticipa que la pérdida por rozamiento será alta. Fué decidido, no obstante, usar un tubo de conducción Kopex de acero como vainas del cable; sin embargo, la pérdida por rozamiento en el centro de la luz, estimada a base de las cifras de Cooley, aumentó aproximadamente el 32%. En vista de esta desacostumbrada alta cifra, se decidió llevar a cabo ensayos en obra para determinar la magnitud actual de la pérdida por rozamiento.

CALIBRACION DE LOS GATOS

Un dispositivo de calibración fué construido, el de la figu-

ra 2, donde se ve que una vena de cable de 2 pulgadas de diámetro fué instalada sobre rodamientos debajo de los bloques principales, con objeto de eliminar el rozamiento en los gatos y anclajes. El anillo de ensayo fué calibrado con una precisión de  $1/25.000$  por el Laboratorio Nacional de Física antes de ser utilizado en obra. El método de calibración de los gatos se llevó a cabo como a continuación se indica:

- a) Ambos gatos fueron puestos a una presión correspondiente al esfuerzo de un cable entre 10.000 y 22.000 libras.
- b) El gato A fué puesto a presión hasta que el manómetro del gato B se movió. En este momento se verificó la lectura que marcaba el manómetro de la esfera del anillo.

En este estado, el gato A fué abierto y el gato B cerrado, con lo que el cable se hallaba entonces en un estado de rozamiento.

- c) Sin más aumento de presión en el gato A, el gato B fué aumentado hasta que el manómetro del gato A se movió y, entonces, se realizaron las lecturas de todos los manómetros.

El cable se encontraba entonces de nuevo en condición de rozamiento por deslizamiento, con sólo mantener el gato B abierto y el A cerrado.

- d) Las operaciones b) y c), por ejemplo, alternando los gatos en cada extremo, fueron repetidas hasta que se alcanzó el esfuerzo del cable a más de 110.000 libras.
- e) Se han hecho dos gráficos característicos de la fuerza leída en el manómetro: uno para el gato abierto y otro para el gato cerrado. En él se registran las calibraciones típicas y las características son presentadas en la tabla 1 y figura 3.

Los calibres "standard" fueron obtenidos por medio de un co

no en la posición de cada anclaje, y fueron repetidos para varios conos diferentes seleccionados para dar variaciones extremas en longitud y diámetro, observándose que las variaciones por pérdida de rozamiento fueron solamente del 1%. Los valores promedios fueron usados en la determinación del rozamiento en obra. Los calibres fueron realizados sin conos en posición, con objeto de dar características de uso en los ensayos especiales para determinar el efecto de pérdida por rozamiento al variar la tensión del cable. Este ensayo se describirá un poco más adelante.

#### DETERMINACION DEL ROZAMIENTO EN OBRA

El procedimiento de medida del rozamiento, tensión y anclaje de un cable se llevó a cabo de la siguiente forma:

- 1) El gato fué puesto en ambos extremos del cable y bombeado a la presión correspondiente al esfuerzo de un cable, aproximadamente 10.000 libras, siendo determinada la presión apropiada por la abertura característica.
- 2) Los alambres del cable fueron marcados para mediciones de alargamientos; el incremento de fuerzas en ambos gatos, entre 15.000 y 30.000 libras. Esta fuerza fué variada de cable a cable y, por tanto, las cifras de rozamiento estarían basadas en diferentes órdenes de tensiones en los cables.
- 3) Fué entonces el gato A llevado en presión hasta que el manómetro del gato B se movió, realizándose las lecturas en ambos manómetros. Con referencia a la característica abertura del gato A y al característico cierre del gato B, fué posible determinar la tensión del cable dentro de cada anclaje ( $T_A$  y  $T_B$ ).
- 4) Las presiones del gato fueron igualadas para obtener una distribución aproximadamente simétrica de la tensión alrededor de la



Línea central del cable antes del anclaje.

- 5) Las presiones del gato fueron incrementadas simultáneamente hasta que la tensión del cable, como determinaban las dos "aberturas" características de los gatos, fué aproximadamente de 106.000 libras en ambos extremos.

Este esfuerzo del cable fué derivado de los proyectos usuales de tensión de 90.000 libras dividiendo por 0,85, es decir, teniendo en cuenta la tolerancia del 15% de pérdidas.

- 6) El cable se tesó en un extremo, dándole un alargamiento adicional de 3/8 de pulgada para compensar un posible aflojamiento del mismo valor en el anclaje. El cono se colocó en su lugar del modo usual utilizado para anclar el cable.
- 7) El procedimiento de anclaje descrito en 6) fué repetido en el otro extremo del cable.

De las lecturas tomadas en el 3) se pudo determinar el cambio total de tensión a lo largo del cable, y, como el trazado del cable es simétrico y la variación de tensión, como demuestra Cooley, es aproximadamente exponencial, la tensión en la zona central viene dada por:

$$T_{CL} = \sqrt{T_A T_B} ;$$

y el porcentaje de pérdidas en la zona central viene expresado por:

$$p = \left( 1 - \frac{T_{CL}}{T_{\text{máx}}} \right) \times 100, \text{ donde } T_{\text{máx}} = T_A \text{ ó } T_B,$$

según se tome una u otra tensión. (Los valores obtenidos pueden verse en tabla 2).

El alargamiento del cable fué medido cuando la tensión de éste en cada anclaje era aproximadamente 106.000 libras y antes de que

ninguna relajación hubiera tenido lugar como resultado del aflojamiento en anclaje. En este estado, y habiendo sido ya determinada la pérdida por rozamiento en la zona central, ya fué posible hacer una segura estimación de la variación de la tensión del cable a través de su longitud. Veintidós curvas de tensión han sido preparadas para los alambres de los cables de pretensado, obteniéndose de estos valores uno, tomado como bueno, para el módulo secante de elasticidad. Hubo suficientes datos para estimar el alargamiento anticipado, cuyos valores se encuentran en la tabla 2. Como se puede apreciar, los alargamientos obtenidos son considerablemente mayores que los valores estimados y, en algunos casos, exceden al alargamiento admitido despreciando el rozamiento. Es opinión del autor que esta considerable discrepancia - en las medidas del alargamiento es debida a distorsión del cable durante el tesado, y sugiere que, para los cables Freyssinet de considerable curvatura, las medidas del alargamiento no proporcionan un método seguro de estimación de la tensión del cable.

La tabla 2 presenta la medida de pérdida por fricción en cada cable, señalando que el orden de valores es de 25,5 al 40% y con un promedio de 32,7%. Esta cifra se asemeja mucho a la estimación de pérdida de 32% basada en los trabajos de Cooley.

EFECTO DE LA PERDIDA DE TENSION POR ROZAMIENTO AL VARIAR LA TENSION - DEL CABLE.

Fué elegido un cable para examinar el efecto de la pérdida por rozamiento al variar la tensión del cable. Se colocó un gato en cada extremo del cable, pero no se pusieron conos en los anclajes.

Ambos gatos estaban a la presión correspondiente a esfuerzos del cable de unas 30.000 libras, elevando la presión en el gato A hasta que el manómetro del gato B inició un cambio de presión. Por referencia a las características del gato sin conos, la pérdida por ro-

zamiento fué determinada en la zona central. Entonces el gato A fué puesto a mayor presión, leyendo ambos manómetros de nuevo para obtener un nuevo valor de la pérdida por rozamiento. Este proceso se repitió hasta que cuatro valores distintos de rozamiento fueron obtenidos, cuando las presiones del gato fueron alcanzadas y cuando el proceso repetido con el cable había sido puesto en la otra dirección. Los resultados están indicados en la tabla 3, en la cual se observa que la variación de pérdida por rozamiento está dentro de los límites de precisión del ensayo precedente. La pérdida por rozamiento, es, no obstante, independiente, virtualmente, de la tensión del cable, y es razonable deducir que el porcentaje de pérdida presentado en la tabla 2 proporciona una segura guía para las pérdidas que tienen las tensiones de anclaje de los cables.

Fuó necesario omitir los conos durante este ensayo porque de cualquier manera habría sido estirado dentro del anclaje, pues el tesado del cable desde el otro extremo continuaba. Esto habría dado lugar a un considerable error en la valoración del rozamiento del cable.

#### EL EFECTO DEL AFLOJAMIENTO

Como se ha indicado previamente, el método de tesado -- combinado con la determinación del rozamiento da una razonable seguridad en la curva de variación de la tensión para ser resumido en un cuadro, cuando la tensión en cada anclaje es, aproximadamente, -- 106.000 libras. Esta curva está señalada como línea 1 en la figura 4 para un cable que tenga una pérdida por rozamiento de 32,7% en la zona central; por ejemplo: el promedio del valor de las pérdidas por rozamiento obtenido. El método de anclaje consiste en colocar un gato en un extremo del cable hasta conseguir un alargamiento adicional de  $3/8$  de pulgada que permita un aflojamiento posterior al an-

dar, asumiendo, otra vez, una variación exponencial de tensión como se indica en la línea 2. El área entre las líneas 1 y 2 representa el alargamiento adicional de  $3/8$  de pulgada, cuando el ajuste se hace utilizando las escalas del diagrama, módulo de elasticidad y el área de la sección del cable. En esta situación, el cono es vuelto a su primitivo lugar y el aflojamiento es de  $3/8$  de pulgada como máximo, en caso de producirse. Llevando en la mente la dirección del movimiento del cable cuando el deslizamiento tiene lugar, una sucesión de líneas de tensión (a) pueden ser dibujadas, y la tensión límite viene dada por la línea 3, donde el área entre las líneas 2 y 3 representan de nuevo  $3/8$  de pulgada cuando los ajustes previos han sido hechos. El otro extremo se ha anclado de la misma forma con su tensión representada en las líneas 4 y 5. Las áreas entre las líneas 1 y 4 y entre las 4 y 5 representan de nuevo, respectivamente,  $3/8$  de pulgada de alargamiento y de deslizamiento. La variación de la tensión del cable esta representada en este cuadro por la línea gruesa 3-2-4-5.

La tensión del cable se reducirá suavemente, cada vez más, como resultado del deslizamiento del cable y relajación del acero, siendo razonable suponer que el punto de máxima tensión del cable estará sujeto a mayor acortamiento. Eligiendo arbitrariamente el 20% de acortamiento en el punto de máxima tensión y el 10% en los puntos de mínima tensión, resulta la distribución de la tensión en el cable como se representa en la línea de trazos 6. Como en la mayoría de los casos prácticos, la estructura de la que habla el autor fué pretensada por más de un cable; y no obstante, fué posible alternar los preparativos del tesado del cable para que el efecto fuese simétrico en torno al eje central de la estructura. La distribución efectiva del cable puede ser representada por la media de la línea 6, como ya se ha hecho en la figura por medio de la línea gruesa 7.

Algunas confirmaciones de los supuestos hechos para dibujar la línea 7 pueden obtenerse comparando las tensiones teóricas de anclaje a 133.300 y 138.000 libras en la figura 4 con la media de los valores recopilados y presentados en la tabla 2, correspondiente a 130.000 y 134.000 libras. El autor admite que un número de supuestos permanecen sin confirmar, pero sugiere que ninguno de ellos está muy lejos de la verdad. Parece poco dudoso, sin embargo, que la forma general de la línea 7 es correcta, y, en particular, en un cable corto que tenga una gran pérdida por rozamiento, la tensión efectiva del cable en la zona central puede excederlo en los anclajes.

### CONCLUSIONES

El autor deduce las siguientes:

- 1) Las pérdidas por rozamiento determinadas por el método de medidas de fuerza descritas en este informe están de acuerdo completamente con las predicciones básicas de los trabajos de Cooley.
- 2) Las medidas del alargamiento en cables altamente curvados no pueden ser seguras como indicadores de la tensión de cables; esto es, probablemente, debido a la distorsión del cable durante el tesado.
- 3) El aflojamiento del anclaje puede conducir a la tensión efectiva en la zona central del cable tesado desde los dos extremos, donde es mayor que en los anclajes. En el proyecto, si el rozamiento del cable se espera que sea mayor, un cuidadoso examen del efecto del aflojamiento del anclaje deberá, no obstante, ser hecho antes de predecir la variación de la tensión a lo largo de la longitud del cable.

837-6-2 MORTERO INYECTADO PARA EL HORMIGÓN PRETENSADO

Por: Kurt Walz.

Los elementos de hormigón postensado se construyen dejando en su interior unas vainas de chapa o algún otro material (figura 1). Cuando el hormigón ha endurecido lo suficiente, se tesan las armaduras que van dentro de dichas vainas, comprimiendo el hormigón. Terminada esta operación, se inyecta mortero de cemento para que rellene perfectamente los huecos que quedan alrededor de la armadura.

Las distancias existentes entre las armaduras y las paredes de la vaina, así como entre los distintos cables que forman la armadura, son muy pequeñas: del orden de 1 ó 2 mm. Además, las condiciones son muy distintas de unas piezas a otras. La longitud a rellenar puede variar desde unos pocos metros hasta la de un gran puente; el tiempo de inyección puede durar desde unos minutos hasta algunas horas.

Con esto se comprenden las dificultades que se pueden presentar durante esta operación, sobre todo si se piensa que el mortero inyectado es un elemento importante en la resistencia de la pieza de hormigón.

El mortero inyectado, una vez endurecido, ha de formar un enlace perfecto entre el acero de las armaduras y el hormigón de la pieza, así como proteger a aquéllas contra la corrosión, rellenando completamente todos los huecos.

Como consecuencia de todo esto, se le exigen al mortero diversas cualidades, algunas de las cuales se contradicen y que, en ocasiones, son difíciles de obtener.

En primer lugar debe tener fluidez durante todo el tiempo que dure la inyección, incluso con los pequeños valores de la relación agua/cemento que se exigen.

Después de la inyección no deben desprenderse pequeñas gotas de agua del mortero, ya que esto ocasiona la formación de huecos rellenos de agua.

El mortero ha de tener una resistencia suficiente para soportar las tensiones debidas a la tracción de las armaduras.

Por último, es preciso que sea resistente a las heladas, es decir, que pasados pocos días presente ya un grado tal de hidratación que no experimente aumento sensible de volumen en períodos de temperaturas inferiores a 0°C.

Al principio no se concedió importancia a este mortero inyectado en las vainas de las armaduras de las piezas de hormigón pretensado; sin embargo, hoy se le exigen unas propiedades perfectamente determinadas.

Están a punto de publicarse unas nuevas normas sobre fabricación, pruebas, dosificación, mezcla e inyección del mortero, y también incluirán las medidas de protección que es preciso adoptar cuando la inyección se realice a bajas temperaturas.

Antes de comenzar la obra se prueban la retracción, la precipitación de agua y la resistencia a compresión y a la helada del mortero con la fluidez que se haya considerado necesaria.

Esta se determina mediante el ensayo de inmersión realizado con el aparato representado en la figura 2, y se expresa por el tiempo de inmersión.

Con los aparatos de la figura 3 se obtiene la retracción del mortero. Para ello se pone el mortero en tres latas de 99 mm de diámetro y de unos 120 mm de altura, hasta unos 20 mm del borde, las cuales se cierran con unas tapaderas con junta de goma. Después se po

nen entre 18° y 21°C durante 3 horas, evitando toda vibración. Transcurrido este tiempo se hacen las mediciones correspondientes.

Las probetas cilíndricas que se obtienen de estas latas, una vez que han pasado 7 ó 28 días se someten a compresión. Se exigen resistencias mínimas de 200 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y de 300 Kg/cm<sup>2</sup> a los veintiocho.

Por la experiencia obtenida hasta ahora, se admite que el mortero de inyección es resistente a la holada si, cumpliendo las prescripciones de las pruebas anteriores, no presenta cambio de volumen - después de ser sometido una sola vez a la acción de la holada.

Esta prueba de holadicidad se hace con el aparato de la - figura 4.



457-8-17.—COMPORTAMIENTO, BAJO TENSION, DE LAS ARMADURAS  
PARA HORMIGON PRETENSADO

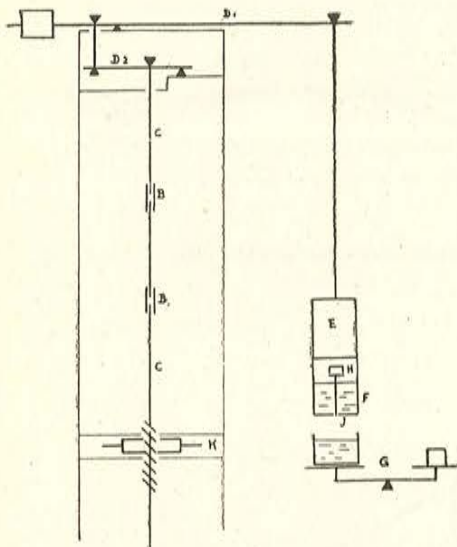


Fig. 1.—Esquema del principio de la máquina.



Fig. 2.—Iniciación del ensayo de fluencia.

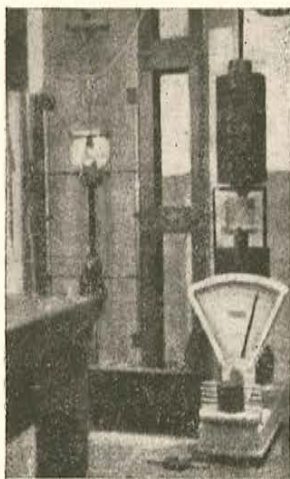


Fig. 3.—Dispositivo de relajación.



Fig. 4.—Batería de máquinas de la estación de Lovaina.

457-8-18.—DETERMINACION «IN SITU» DE LAS PERDIDAS POR ROZAMIENTO EN LOS CABLES DE PRETENSADO E INTERPRETACION DE LOS DATOS REGISTRADOS EN LOS ENSAYOS.

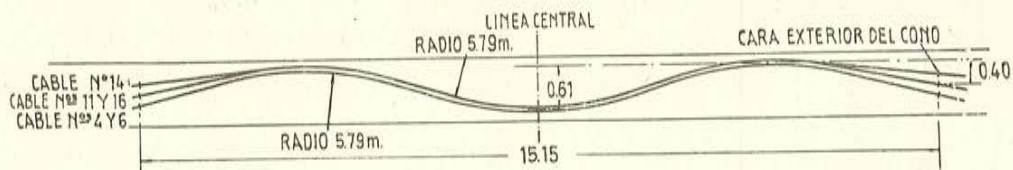


Fig. 1.—Elevación de los cables Todas las dimensiones son aproximadas.

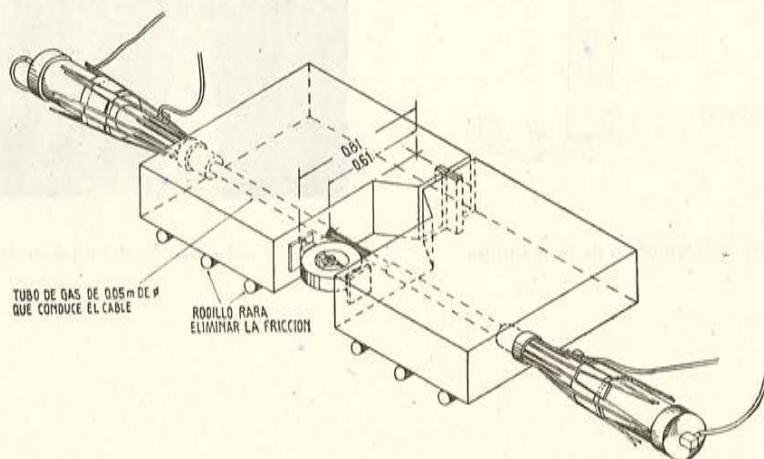


Fig. 2.—Aparejo de calibración.

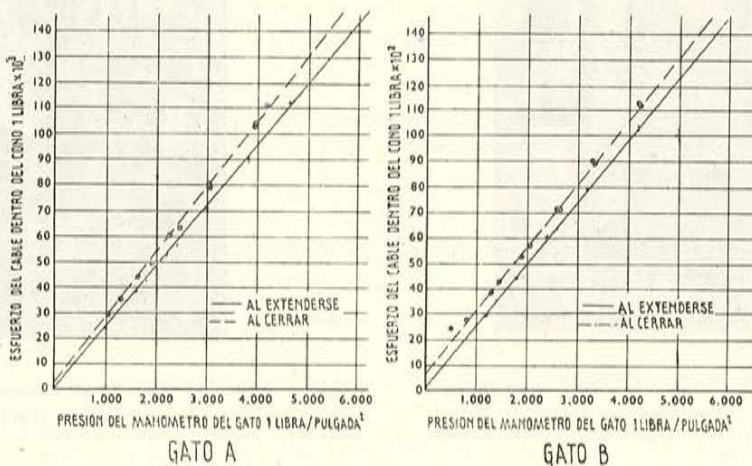


Fig. 3.—Características típicas del gato.

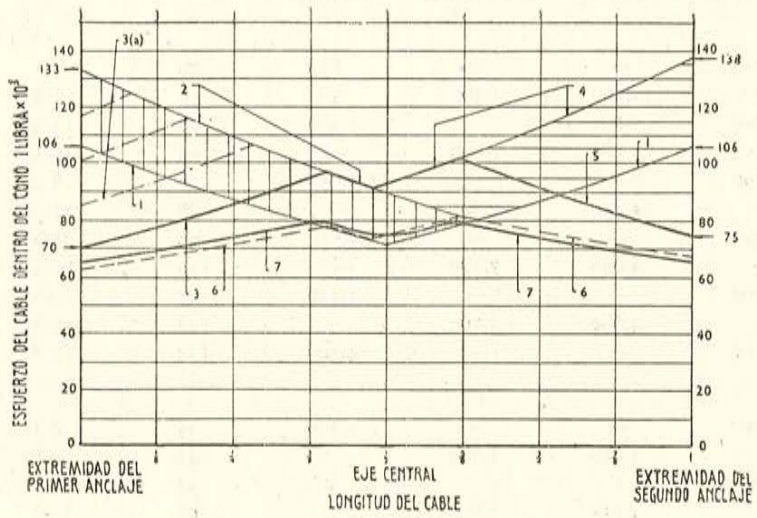


Fig. 4.—Curvas mostrando el efecto de deslizamiento.

TABLA I

*Resultados típicos de calibración*

	Lectura de los manómetros (1 libra/pulgada <sup>2</sup> )				Manómetro del anillo de prueba (1/10.000 pulg.)	Esfuerzo en el anillo de prueba (toneladas)	Esfuerzo en el cable dentro del cono (libras)
	Gato A		Gato B				
	Al extenderse	Al cerrar	Al extenderse	Al cerrar			
Ensayo 1	1,200	—	—	800	39	9-1	27,200
	—	1,300	1,400	—	50	11-8	35,200
	1,800	—	—	1,450	60	14-3	42,600
	—	1,900	2,000	—	69	16-5	49,300
	2,400	—	—	2,050	79	18-9	56,500
	—	2,450	2,600	—	88	21-2	63,400
	3,000	—	—	2,650	99	23-8	71,000
	—	3,050	3,200	—	110	26-5	79,200
	3,800	—	—	3,350	123	29-8	89,000
—	4,000	4,200	—	142	34-8	104,000	
—	4,700	—	4,200	153	37-8	113,000	
Ensayo 2	1,000	—	—	500	35	8-1	24,200
	—	1,050	1,200	—	42	9-8	29,200
	1,600	—	—	1,300	54	12-8	38,200
	—	1,650	1,800	—	62	14-8	44,100
	2,200	—	—	1,900	74	17-7	52,900
	—	2,250	2,400	—	84	20-2	60,400
	3,000	—	—	2,600	98	23-6	71,500
	—	3,050	3,200	—	110	26-5	79,100
	3,800	—	—	3,300	124	30-1	90,000
—	3,950	4,200	—	140	34-3	102,500	
—	4,650	—	4,250	152	37-4	111,800	

TABLA II

Medidas típicas de tensión (todas las medidas de tensión, dentro del cono)

Núm. del cable	Longitud entre los manómetros (pies)	Determinación del rozamiento				$\% \text{ de pérdida de tensión en el eje central } p = \left( 1 - \frac{T_{CL}}{T_{máx}} \right) \times 100$	Tensión del cable al medir el alargamiento				Medidas de alargamiento entre tensiones (a) y (b) (pulg.)	Alargamiento calculado teniendo un porcentaje por pérdida por rozamiento (pulg.)	Tensión máxima del cable en los anclajes admitiendo un alojamiento de 3/8 pulgada			
		Presión del gato A (lib/pulg <sup>2</sup> )	Tensión en A = T <sub>A</sub> (lib)	Presión del gato B (lib/pulg <sup>2</sup> )	Tensión en B = T <sub>B</sub> (lib)		Tensión en el eje central = $\sqrt{T_A T_B}$ (libras)	Final (b) (libras)		Alargamiento calculado sin deducir pérdida por rozamiento (pulg.)			1.ª extremidad	2.ª extremidad		
								Gato A	Gato B							
E4	47-65	1,400	38,000	4,050	99,000	61,400	10,000	11,000	106,000	107,500	2-5	2-67	1-66	129,500	137,500	
E6	47-65	2,700	64,500	1,950	32,500	45,700	10,000	11,000	106,000	107,500	2-56	2-67	1-9	127,000	128,700	
E14	47-40	1,000	28,000	2,200	54,000	38,900	10,000	11,000	106,000	107,500	2-69	2-65	1-91	129,500	135,000	
F4	47-65	800	23,000	2,000	50,000	31,600	10,000	11,000	106,000	107,500	2-87.5	2-67	1-81	132,000	132,000	
F6	47-65	1,000	28,500	2,100	51,500	38,300	10,000	11,000	106,000	107,500	2-94	2-67	1-99	129,500	135,000	
F14	47-40	2,300	55,000	900	29,000	39,900	10,000	13,500	106,000	107,500	2-62.5	2-62	1-9	122,500	129,500	
G4	47-65	2,800	67,000	800	26,500	42,200	10,000	15,500	106,000	107,500	2-56	2-61	1-65	127,000	135,000	
G6	47-65	2,600	62,500	1,000	31,000	44,000	15,000	15,500	106,000	107,500	2-62.5	2-54	1-78	129,500	137,500	
G11	47-51	1,000	28,500	2,600	64,500	42,900	15,000	15,500	106,000	107,500	2-31	2-53	1-68	132,000	132,500	
J4	47-65	1,000	28,500	3,200	79,000	47,500	10,000	11,000	106,000	107,500	2-56	2-67	1-6	132,500	132,000	
J6	47-65	3,750	90,000	1,200	36,000	57,000	19,500	11,000	106,000	107,500	2-125	2-54	1-61	134,500	137,500	
J11	47-51	800	23,000	2,400	59,500	37,000	15,000	15,500	106,000	107,500	2-69	2-53	1-57	134,500	135,000	
J16	47-55	2,700	64,500	1,000	31,000	44,700	10,000	15,500	106,000	107,500	2-5	2-61	1-81	129,500	135,000	
															130,000	134,000

TABLA III

*Ensayo especial con cable único (medidas de tensión dentro del cono)*

	Tensión del cable (libras)		Pérdida de la tensión en el eje central en % debida al rozamiento
	Gato A	Gato B	
Ensayo 1	72,000	31,000	34-4
	86,500	36,000	35-5
	89,500	38,500	34-5
	97,500	41,000	35-2
Ensayo 2	28,000	64,500	34-1
	33,000	74,006	33-2
	40,500	92,500	33-8
	46,000	106,500	34-3

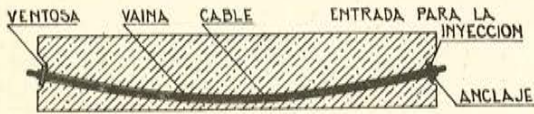


Fig. 1.—Esquema de la vaina con la armadura en una pieza de hormigón pretensado.

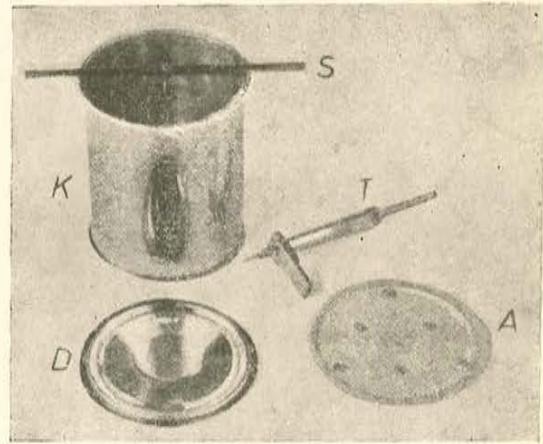


Fig. 3—Aparatos para obtener la retracción y la resistencia a compresión del hormigón.

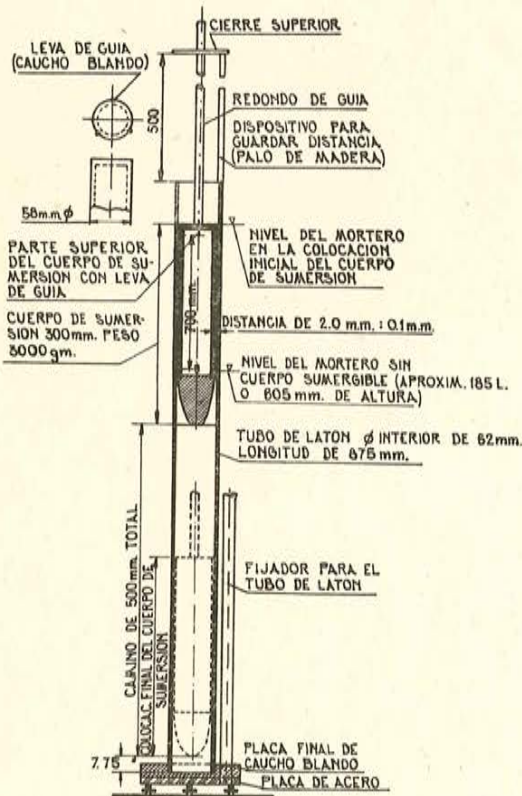


Fig. 2.—Aparato de inmersión para determinar la fluidez del mortero.

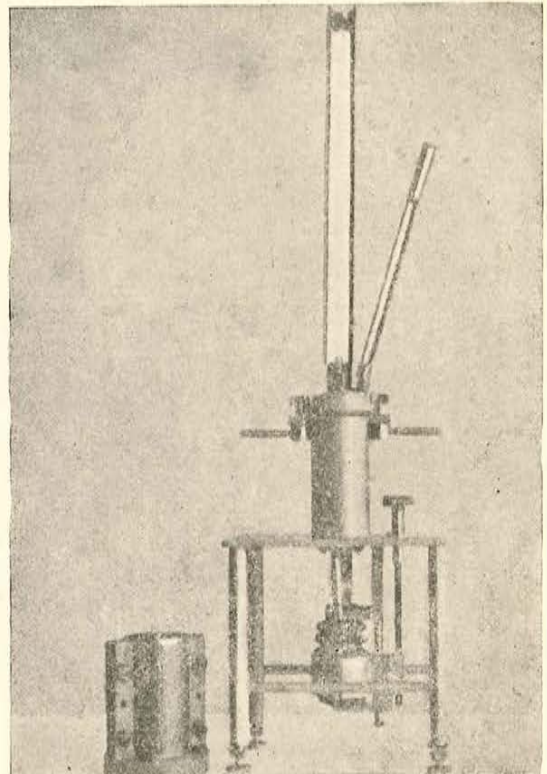


Fig. 4.—Determinación de la variación de volumen del mortero por efecto de la helada.

