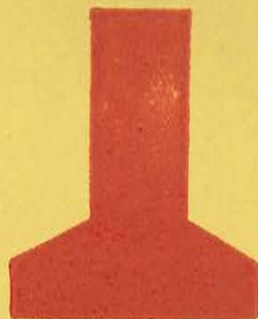
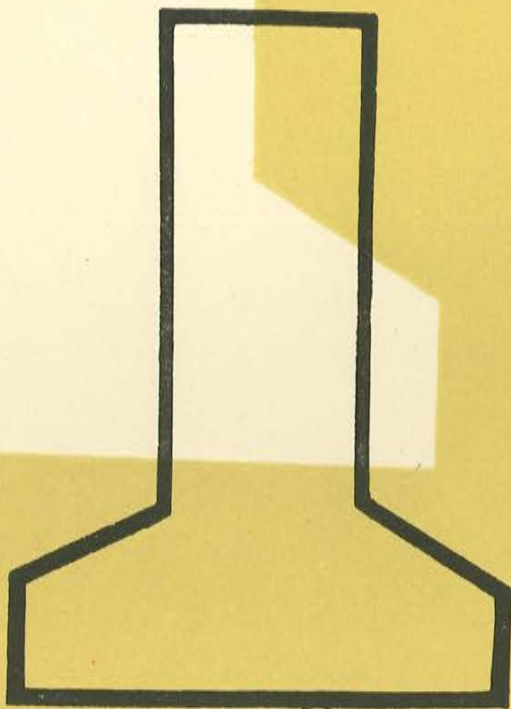


ULTIMAS NOTICIAS SOBRE

hormigón pretensado



BOLETIN NUM. 43 DE LA ASOCIACION ESPAÑOLA DEL HORMIGON PRETENSADO
DEL INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

b

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 43



Marzo-Abril 1958

-- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO --

I N D I C E
=====

	pág.
457-O-19 El pretensado y los cementos expansivos.- Por H. Los sier	1
837-O-5 Supresión del rozamiento en los cables de pretensado de trazado curvo.- Anónimo	26

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

457-0-19 EL PRETENSADO Y LOS CEMENTOS EXPANSIVOS

Henry Lossier

Memoria nº B 03 del Congreso Internacional sobre Hormigón Pretensado

La idea de la modernización del funcionamiento normal de las estructuras debido a la presencia de esfuerzos iniciales artificiales es relativamente antigua.

Algunos constructores de puentes de madera la aplicaron ya bajo forma de cuñas forzadas que provocan, en ciertos elementos, esfuerzos de sentido opuesto al que corresponde a la fatiga normal engendrada por las cargas permanentes o accidentales.

A principios del siglo, varios ingenieros, entre los cuales se cuentan Considere y Rabut, previeron ya la posibilidad de reforzar las estructuras metálicas y el hormigón armado por medio de dispositivos antagónicos puestos en acción utilizando gatos o tensores.

Pero estos procedimientos, que posteriormente fueron mejorados considerablemente, tanto en Francia como en otros países, no obraban más que en una sola dirección, es decir, que las tensiones artificiales creadas eran de un simple efecto.

Hacia la misma época, el Profesor Auguste Foppl estudiaba los estados estáticos múltiples, dobles y triples, y creaba su principio de esfuerzos comparación.

Después, una serie de experiencias de laboratorio, emprendidas, principalmente, por Foppl sobre el cristal, por Mesnager sobre los productos cerámicos y por Emperger sobre la fundición de hierro, demostraron que estos materiales eminentemente frágiles, sometidos a una acción triple de esfuerzos convergentes, podían sufrir presiones

deformaciones netamente superiores a aquellas relativas a su estado elástico simple.

La ductibilidad que sustituía a la fragilidad normal de estos materiales constituía una ventaja de las más estimadas desde el punto de vista de sus aplicaciones a las estructuras, ya que hacía posible los fenómenos de adaptación, de particular importancia en las estructuras reticuladas e hiperestáticas.

Esto motivó que, desde 1924, el autor emprendiese una serie de investigaciones para llegar a obtener una compresión doble en primer lugar, y después la triple convergente, siguiendo el procedimiento que Emperger había patentado en 1923 para la realización de tuberías de hormigón pretensado sometidas a altas presiones.

Este procedimiento consistía en disponer, alrededor de un elemento de hormigón que había experimentado su endurecimiento normal, zunchos metálicos que se les sometía a tracción siguiendo un proceso artificial, consiguiendo, de tal forma, un pretensado diametral, es decir, en una sola dirección.

El procedimiento de Emperger, fácilmente aplicable para obtener un simple esfuerzo de compresión, y que fué objeto de numerosas realizaciones de formas perfeccionadas, no se prestaba con tanta facilidad al caso de doble compresión, resultando excesivamente complejo, según el juicio del autor, tratándose de una acción triple.

Esto motivó que el autor previese la posibilidad de lograr un pretensado integral, o, lo que es igual, en todas las direcciones, utilizando la energía expansiva de ciertos cementos especiales, materiales estos que se encargaron de suministrar las fábricas de cemento de Poliet et Chausson.

De todo esto apareció la noción del pretensado automático o autopretensado, cuya utilización práctica se beneficia de una in

contestable simplicidad de su realización en obras.

En efecto: basta con oponer una resistencia cualquiera a la expansión (barras exteriores o embebidas, el terreno, etc.) en la dirección elegida y, después, en ciertos casos, humedecer el hormigón durante algunos días.

Comparándolo con los procedimientos mecánicos, a los que se unen los nombres de Freyssinet, Chalos y Magnel, esta simplicidad es tal, que el autopretensado sustituiría ventajosamente a los procedimientos mecánicos en la mayoría de los casos, si la intensidad de su acción fuera del mismo orden, lo que quizás logren en el futuro las investigaciones en este sentido emprendidas.

Pero, en el estado actual de los cementos expansivos, esta condición no ha sido todavía satisfecha, por lo que nos hemos de contentar con pretensados netamente más modestos.

Así, pues, utilizaremos el autopretensado expansivo, ya simplemente en los casos en que su energía es suficiente en todas las direcciones de interés, o ya asociado al pretensado mecánico si los esfuerzos de mayor intensidad son necesarios en uno u otro sentido, de manera que se pueda lograr la triple compresión convergente con las notables propiedades que aporta bajo el doble punto de vista resistente y de la ductibilidad de los hormigones.

Antes de meternos con el apartado de las aplicaciones de los cementos expansivos, bueno será recordar brevemente sus propiedades principales:

Composición de los cementos expansivos

En principio, estos cementos se obtienen mezclando tres productos conocidos y estables por sí mismos:

- 1º - Un cemento Portland artificial, que constituye la base.

- 2º - Un cemento sulfo-aluminoso, que juega el papel de factor expansivo y,
- 3º - Un producto estabilizador, cuya entrada en acción, voluntariamente retardada, paraliza la expansión absorbiendo el reactivo principal: el sulfato de calcio. Este compuesto estabilizador está constituido, generalmente, por escorias de horno alto.

La dosificación juiciosa de los tres constituyentes, es decir, la base, el factor expansivo y el estabilizador, permite regularizar la expansión a la vez, tanto en intensidad como en duración y con una precisión notable en semejante materia.

Por otra parte, como veremos más adelante al tratar de las aplicaciones prácticas, se dispone de un medio de regularización directa en la ejecución, que resulta simple y eficaz.

Intencionadamente, el autor ha dejado a un lado las cuestiones especiales de los detalles de fabricación de estos cementos, ya que son exclusivas del dominio de los fabricantes y de los químicos.

Propiedades de los cementos expansivos

La característica principal de estos aglomerantes es su propiedad de adquirir un entumecimiento estable en un medio constante, hinchamiento que se puede regular, prácticamente, en intensidad y en duración.

La intensidad de la expansión puede llegar, en la pasta pura, hasta 50 mm por metro, es decir, la vigésima parte de la longitud inicial.

Su duración se puede controlar entre un mínimo de veinticuatro horas y un máximo de aproximadamente treinta días.

Prácticamente, y para simplificar la fabricación, se han preparado dos calidades principales, que son las siguientes:

a) - Cemento débilmente expansivo, denominado "sin retracción", es decir, cuya expansión de 3 a 4 mm por metro en pasta pura, es sensiblemente igual a la retracción con el tiempo, que así se ve compensada.

b) - Cemento expansivo propiamente dicho, cuya expansión en pasta pura es, en general, del orden de 10 a 25 mm por metro.

La duración de la expansión, o el tiempo durante el cual se desarrolla progresivamente en un medio húmedo antes de estabilizarse en un medio constante, se regula, en general, entre diez y quince días en las probetas de pasta pura conservadas sumergidas en el agua.

Una rapidez mayor para hincharse tendría el inconveniente de poner en acción la energía expansiva antes que el cemento logre una resistencia suficiente.

Una hinchazón demasiado lenta constituiría, por otra parte, una sujeción en la ejecución, porque, durante su desarrollo, las masas de hormigón deben mantenerse en un estado de humedad suficiente para provocar las reacciones expansivas.

En lo que respecta al proceso de la expansión, éste se ha presentado en las figs. 1 y 2.

La fig. 1 se refiere a la conservación dentro del agua. Los alargamientos se han representado por las ordenadas, y el tiempo mediante ~~abscisas~~ abscisas logarítmicas. Las curvas de expansión se han representado con trazo lleno para un cemento expansivo, mediante trazo mixto para otro sin retracción y punteada para un cemento Portland ordinario conservado al aire.

Se ha comprobado que los cementos sin retracción y expansivos que se han considerado, conservados en el agua, experimentan en

tumecimientos respectivos de 3 a 11 mm por metro, estabilizándose en unos diez días aproximadamente, observación que se ha extendido a cinco años. A título de comparación se ha representado la curva relativa a un cemento Portland, conservado al aire y que ha sufrido una retracción de 2,5 mm durante el mismo período.

La fig. 2 muestra que, si las probetas, después de permanecer ocho días bajo el agua, se las conserva después en el aire seco, entonces sufren una retracción normal que ha de deducirse de su expansión. Debido a esto, el entumecimiento del cemento denominado "sin retracción" se anula prácticamente, ya que los dos fenómenos se han compensado, mientras que el expansivo estabiliza su alargamiento entre 8 a 9 mm por metro.

La intensidad de la expansión en los hormigones disminuye, naturalmente, de acuerdo con la dosificación en cemento expansivo.

Si se designa como la unidad a la expansión en pasta pura, normalmente, se obtienen las expansiones del orden siguiente:

0,90	para el hormigón de 1.000 kg de cemento por metro cúbico.							
0,70	"	"	"	300 kg	"	"	"	"
0,45	"	"	"	600 kg	"	"	"	"
0,20	"	"	"	400 kg	"	"	"	"
0,10	"	"	"	250 kg	"	"	"	"

Estas proporciones varían, además, según la calidad de los cementos y áridos.

La fig. 3 muestra la forma de la curva que representa estas relaciones.

Cuando el hormigón experimenta su expansión bajo un efecto coactivo se producen deformaciones plásticas que reducen la intensidad del fenómeno, como lo podremos ver más adelante.

La fig. 4, en la que las resistencias a compresión en los morteros normales vienen representadas por las ordenadas y los tiempos por medio de abscisas logarítmicas, pone de manifiesto que los cementos expansivos experimentan, respecto a los de tipo Portland, una cierta disminución en el curso del entumecimiento, después de lo cual su resistencia iguala, y posteriormente rebasa definitivamente, a la del cemento de base.

En lo que respecta a la impermeabilización de los cementos expansivos ésta es, a dosificación igual, netamente superior a la de los otros cementos, lo que constituye una ventaja importante, aun tratándose de construcciones ordinarias, principalmente en lo referente a la protección de las armaduras y la resistencia a los agentes atmosféricos.

Sin embargo, en las aplicaciones deben observarse dos precauciones:

a) - En primer lugar, los cementos expansivos son más sensibles a las acciones atmosféricas que los artificiales. Por este motivo se suministran, normalmente, en sacos que llevan una capa de papel alquitranado, y en barriles, si se trata de transportes a ultramar.

b) - En segundo lugar, llevando una dosis fuerte de SO_3 , resultan igualmente más sensibles a la presencia accidental de los sulfatos.

Por tanto, la arena y áridos, en general, que han de utilizarse en la preparación de morteros y hormigones no deben contener sulfatos.

Los cementos expansivos actuales no se han clasificado todavía como resistentes a la acción de las de mar o sulfatadas.

Una fuerte elevación de temperatura al principio de la expansión, ya sea por el vapor o por haber calentado el agua, tiende a

reducir la intensidad del fenómeno mejorando a la vez las resistencias iniciales.

La acción del frío es relativamente menos sensible.

Las aplicaciones principales de los cementos expansivos

Dejaremos aparte la importante cuestión de la utilización de los cementos expansivos en la reparación de obras siniestradas durante la guerra, tema que ya trató el autor en la revista Genie Civil correspondiente al 15 de Octubre y 1 de Noviembre de 1945.

Nos vamos a ocupar de las aplicaciones siguientes:

- a) - Cimentación por recalce.
- b) - Cimentación con pilotes y macizos
- c) - Cierre en la clave en bóvedas de mampostería, hormigón y hormigón pretensado.
- d) - Juntas para presas.
- e) - Revestimientos de galerías subterráneas.
- f) - Revestimientos de pistas y calzadas.
- g) - Autopretensado de elementos de hormigón armado.
- h) - Autopretensado integral.
- i) - Pretensado integral mixto.

a) - Cimientos por recalce

Primer ejemplo:

Se trata del recalce de un muro perteneciente a un edificio histórico: el Palais Rihour de Lille, cuyos cimientos mostraban signos de debilitación. El sistema elegido consistió en el pilote "Moga" de la casa Franki.

Recordaremos que este tipo de pilote está constituido por un conjunto de elementos de hormigón armado, moldeados previamente y montados en obra. Estos pilotes se han incado con ayuda de gatos. La parte delicada consiste, cuando la profundidad de la hinca ha sido alcanzada en la puesta en carga del pilote bajo el muro asegurando un contacto perfecto con éste. En general, esta operación se logra utilizando un elemento especial en forma de U, es decir, un gato, y después un calado bajo la viga.

El empleo del cemento expansivo ha permitido simplificar considerablemente esta operación.

Sobre la cabeza del último elemento de cada pilote (figura 5) se ha dispuesto un molde metálico desmontable, M, provisto de un embudo, E, para la introducción del hormigón y de un vibrador V.

Puesto que anteriormente se colocó una armadura dentro del molde, se llenó y vibró este molde hasta que la lechada del hormigón refluía entre el molde y la viga. Después de fraguar y desencofrar, se humedeció la parte hormigonada durante algunos días para obtener el empuje inicial bajo el muro, que es del orden de unas veinte toneladas por pilote.

Este procedimiento, comparado con el primero, ha permitido obtener una solidaridad mejor de la cabeza y del cuerpo del pilote, y lograr una economía de unos 20 kg de armadura muy preparada por elemento.

Las figuras 6, 7 y 8 representan las diversas fases de la operación.

Los agujeros que se hacen visibles en la figura 8 se han destinado para permitir al agua de humectación su penetración en la masa del hormigón expansivo. La expansión normal no se produce, en efecto, más que algunas horas después del final del fraguado del cemento,

y cuando se le empieza a humedecer.

Si durante la expansión cesa bruscamente esta humectación, la expansión se paraliza definitivamente después de veinticuatro o cuarenta y ocho horas, al haber rebasado del 10 al 40%, según la dosificación, el alargamiento en el momento de la parada.

El cese de la humectación constituye un modo de regulación de la expansión en obra que es tan simple como eficaz.

Segundo ejemplo:

La fig. 9 representa un dispositivo de recalce en cimientos de un muro del Ministerio de Colonias en París.

Sobre cada pocillo relleno de hormigón ordinario se preparó una cabeza de un metro de altura, con hormigón de cemento expansivo. Los agujeros para la humectación, A, B y C, de 30 mm de diámetro, espaciados a 20 cm, se obtuvieron con barras de acero que se retiraban al empezar el fraguado. Estos agujeros se comunicaban con una bolsada de agua sostenida con una bovedilla de yeso.

El esfuerzo de expansión aseguró la puesta en carga del hormigón que llenaba los pocillos situados bajo el muro, sin necesitar la ayuda de gatos.

b) - Cimentación con pilares y macizos

La expansión del hormigón, al aumentar las dimensiones de los elementos en todas las direcciones, ejerce una acción favorable a todos los respectos:

- 1) - Mejora la presión y, por consiguiente, la resistencia relativa al rozamiento con el terreno.
- 2) - Aumenta, además, la propia compacidad de este último.

Estas acciones son tanto más intensas cuanto mayores son las dimensiones transversales de los elementos.

Por este motivo, las estudiaremos con mayor amplitud en el bulbo de la base de los pilotes (fig. 10).

El autor ha estudiado, con Allard y Lemaire, y con el mismo objeto, un tipo de pocillos expansivos como el que se ha representado en la fig. 11.

Se empieza por preparar una excavación de asiento de un diámetro relativamente grande, de 1 a 2 metros.

En esta excavación se forma un cuerpo hueco anular, de pequeño espesor, y de hormigón expansivo, para lo cual se utiliza un encofrado de juntas de labios abiertos y tabla perforada, con objeto de permitir la humectación natural o artificial del hormigón, según se trate de un terreno húmedo o seco.

Según las necesidades, la parte central se rellena con grava u hormigón pobre y después se termina el pocillo con una solera destinada a recibir las cargas.

La fig. 12 nos da una idea de la ejecución de uno de estos cimientos utilizando un aparato Benoto.

Este tipo de pocillo sólo exige un pequeño volumen de cemento expansivo.

c) - Cierre de bóvedas de mampostería, hormigón y hormigón armado

El conocido procedimiento clásico de descimbrado de una bóveda ayudándose con gatos, consiste en maniobrar en la clave con una fuerza igual o ligeramente superior al empuje horizontal de la bóveda en el momento de la operación.

Esta operación se subdivide en las cuatro fases principales siguientes:

- 1) - Puesta en carga de los gatos.
- 2) - Rellenar de hormigón el espacio entre éstos.
- 3) - Quitar los gatos después de haber endurecido el hormigón.
- 4) - Rellenar el hueco que dejan los gatos al quitarlos.

Utilizando el cemento expansivo estas cuatro fases de la operación se reducen a una sola.

Para ello basta con preparar, en la ranura prevista en la clave, y después de endurecer el cuerpo de la bóveda, una dovela de hormigón de cemento expansivo, que en este caso hace función de gato, constituyendo parte de la masa de la propia estructura. Esta dovela permite compensar, principalmente:

- 1) - Los acortamientos elásticos del hormigón debidos a la carga permanente.
- 2) - Todos o parte de los acortamientos engendrados por retracción y deformaciones plásticas del hormigón en el tiempo.
- 3) - Y llegado el caso, todas o parte de las deformaciones debidas a los empujes accidentales.

La fig. 13 muestra el principio de esta acción en un puente en arco construido por los servicios de Ponts et Chaussées del departamento de Eure-et-Loir en Francia.

En las obras más importantes han de preverse varias dovelas de hormigón de cemento expansivo, con objeto de repartir esta acción sobre toda la longitud en la ranura dejada en la clave.

En los arcos de sección hueca, en forma de cajón, se utilizan dovelas llenas para aumentar su acción.

Si bien el autor ha efectuado un gran número de estos trabajos, se limita a citar el caso típico de la reconstrucción de las bóvedas del puente de Laroche.

Esta obra soporta cinco vías normales de la S.N.C.F., correspondientes a la línea de ferrocarril de París a Dijon.

Este puente fué profundamente tocado por los bombardeos de 1944, por lo que se exigió la total reconstrucción de sus cinco arcos de 20,22 m de luz, cuyo espesor variaba de 1,22 m en la clave a 1,80 m en arranques.

Estos arcos no se podían hormigonar en una sola vez y simultáneamente, por razones materiales y del programa de ejecución. Su construcción debía hacerse por roscas, con el fin de reducir a la vez la carga que debía soportar la cimbra y el empuje momentáneo a que se someterían las pilas o soportes intermedios.

El espesor relativamente uniforme adoptado para la primera rosca fué de 0,50 m; y el de la segunda, de 0,72 m en la clave a 1,30 m en arranques.

Para evitar la hinca de pilotes en un terreno que había estado sometido a bombardeos, las cimbras se prepararon con raíles o perfiles de doble te que se apoyaban únicamente en las pilas, trabajando como arcos de pequeño momento resistente. Cada rosca debía ejecutarse por trozos de unos 2 m de longitud, hormigonados siguiendo un orden previamente establecido, con objeto de limitar las deformaciones y los esfuerzos momentáneos de flexión de los elementos metálicos.

Los trozos de rosca, especie de dovelas, correspondientes a la primera rosca, tienen una pequeña diferencia de espesor para poder formar redientes destinados a constituir trabazón entre las dos roscas o capas al someterlas posteriormente a las cargas accidentales y los efectos de la retracción. Esta solidarización se aumentó por medio de ba-

rras salientes de dirección normal al plano del extradós de la primera rosca de hormigón.

Por razones de la explotación y facilidad de construcción, cada arco se volteó en dos partes: una de unos 10 m de anchura y la otra de, aproximadamente, 14 metros.

Como la fabricación normal de cemento expansivo se había interrumpido al empezar la ejecución, la primera parte del arco se descimbró utilizando gatos hidráulicos y siguiendo un procedimiento que se describirá después.

Para la segunda parte del arco, de unos 14 metros de anchura, las bóvedas se cerraron con dovelas de clave, de cemento expansivo, de acuerdo con un programa establecido en común acuerdo con los servicios técnicos de la S.N.C.F., que comprende cuatro operaciones sucesivas (fig. 14):

Primera operación

Se empezó hormigonando la anchura de 14 m de cada arco, tramo tras tramo, dejando una ranura en la clave, de 1,20 m de luz, para la colocación del cierre con hormigón expansivo. En la proximidad de la cara de contacto del hueco dejado en la clave para el cierre posterior, se dejaron barras salientes para lograr una buena trabazón.

Segunda operación

Una vez ya terminada la primera operación en los cinco tramos, se hormigonaron las dovelas de cierre con hormigón expansivo, humedeciéndolas convenientemente después, con lo que se logró un alargamiento total de 2,5 mm, equivalente a un acortamiento de la fibra media de 0,13 mm por metro.

Tercera operación

Ejecución de la segunda capa o rosca de cada uno de los cinco tramos, dejando un hueco o ranura en la clave, de 0,85 m de luz, para la colocación de la segunda dovela de cemento expansivo.

Cuarta operación

Terminadas las segundas capas en los distintos tramos, se hormigonan las dovelas de cierre en la clave, de hormigón expansivo, para lograr un alargamiento total del orden de 0,35 del precedente, es decir, unos 0,7 milímetros.

Este programa tenía por objeto compensar el efecto de las retracciones en la clave. En los riñones se habían formado juntas de construcción y retracción, por prestarse mejor a los efectos de la retracción.

Observaremos que, con un número suficiente de dovelas de hormigón expansivo, de forma apropiada, y repartidas en toda la anchura del arco, se puede lograr una compensación total de las contracciones elásticas y plásticas, así como de la retracción debida al fragado del hormigón.

Hormigonado de las dovelas inferiores

Después de algunos ensayos preliminares, efectuados parcialmente con ayuda del aparato de Faury, se decidió el empleo de un hormigón dosificado con 600 kg de cemento expansivo para la construcción de estas dovelas. Este hormigón dió una resistencia de 260 kg/cm² a los siete días y 380 a los veintiocho.

Se sabe que para alcanzar una buena expansión es conveniente:

- 1) - Un amasado tan seco como sea posible, dentro de un grado de docilidad que permita la manipulación del hormigón.
- 2) - Humedecer el hormigón expansivo desde el final del fraguado, para cuya operación se cuenta con los agujeros que dejan unas barras de 25 a 30 mm de diámetro, que se han colocado en el hormigón fresco y que se retiran antes de que éste endurezca. El agua distribuida en la superficie penetra en el hormigón por estos agujeros.

El agua superficial se mantiene por medio de unos muretes de hormigón o yeso que forman una balsa.

La expansión se puede regular muy sencillamente.

Si durante el desarrollo expansivo se suprime la humectación, el hinchamiento deja de aumentar con la misma rapidez, estabilizándose durante algunos días después de un aumento, que es función de la composición, del espesor del hormigón y del grado de humedad del aire ambiente. Para protegerse de la lluvia se recubren las dovelas con un toldo que desborda ampliamente sus lados.

En el caso que nos ocupa, la humectación se paró a partir del momento en que los aparatos Manet-Rabut acusaron una expansión de 1,50 mm, o, lo que es lo mismo, 0,60 del resultado final.

Las figuras 15, 16 y 17 muestran el hueco previsto para colocar las dovelas, las barras que, se han dejado para la formación de los agujeros de la humectación y la capa de agua que alimenta este último tratamiento, respectivamente.

También se pueden ver en las figuras los aparatos de Manet-Rabut, colocados en el eje del arco, así como los aparatos, llamados de la obra, a ambos lados de éstos. Los aparatos se han protegido con pequeños tejadillos.

Ejecución de las dovelas superiores

Como la expansión que se ha de conseguir es menor que la correspondiente a la de las dovelas inferiores, se introdujeron las modificaciones siguientes:

- 1º) - La longitud de las dovelas es solo de 0,85 metros.
- 2º) - Como las expansiones iniciales de las primeras dovelas fueron mayores a lo que se había provisto, la dosificación se redujo a 425 kg/m^3 .

El hormigón preparado con esta dosificación, ensayado con probetas cúbicas de $20 \times 20 \text{ cm}$, dió las resistencias de 435 kg/cm^2 a los siete días y 529 kg/cm^2 a los veintiocho.

- 3º) - Supresión de la humectación, porque el entumecimiento se provocaba simplemente por la acción del agua de amasado que no había sido absorbida en el fraguado.

Sin embargo, se practicaron los agujeros antes señalados con objeto de prever la eventualidad de tener que proceder a la humectación, cosa que, en este caso particular, no fué necesario.

La figura 20 muestra la obra después de haber sido terminada por sus constructores (Etablissements Fourré et Rhodes).

La figura 21 representa las curvas de expansión de las dovelas correspondientes a cada uno de los arcos. El tiempo se ha indicado en abscisas y las expansiones en ordenadas. El gráfico indica además, para cada elemento, la temperatura ambiente, las fechas de hormigonado, del comienzo de la humectación y del secado. En cada curva de expansión se ha indicado la fecha del secado por un círculo, y las fechas del comienzo y final del hormigonado normal de la segunda rosca.

Se puede apreciar que la ejecución de las segundas roscas no parece haber ejercido una influencia notable sobre el proceso de la expansión de las dovelas de las primeras roscas.

Por el contrario, la acción del entumecimiento de las segundas dovelas se hace netamente visible en las curvas de expansión de las primeras roscas.

Debe notarse que las dovelas expansivas se han hormigonado durante un tiempo de temperaturas relativamente suaves; sin embargo, las primeras roscas, y entre el 16 y 24 de Diciembre de 1946, se han hallado expuestas a un duro período de helada, durante el cual la temperatura descendió a -14°C .

Resumiendo, se puede decir que la aplicación del cemento expansivo, hasta hoy la más importante, ha permitido confirmar y precisar los puntos siguientes:

a) - El hormigón de cemento expansivo se ha comportado de conformidad con el papel que se le había asignado.

b) - Los ensayos de laboratorio efectuados con probetas de pequeñas dimensiones no se pueden interpolar con certeza para evaluar la importancia de la expansión que se produce, en los elementos relativamente grandes, ya sea antes de la humectación, ya después de haberse secado. Estos ensayos preliminares se deben realizar sobre elementos de dimensiones lo más próximas posibles a la realidad. Partiendo de los resultados obtenidos con las dovelas de las primeras roscas, la regulación de las expansiones a que se debe llegar con estas dos roscas, se obtuvo con una precisión muy satisfactoria.

c) - Las resistencias a compresión de los hormigones de cemento expansivo son del mismo orden de magnitud que las correspondientes al cemento artificial normal de buena calidad.

La reconstrucción de dichos arcos por el procedimiento de claves cerradas con hormigón de cemento expansivo, empezada en Mayo de 1946 y terminada en Abril de 1947, se efectuó bajo la alta dirección de los servicios de vías y obras de la Región Sud-Est, de la S.N.C.F.

d) - Juntas en las presas

Se pueden prever varios procedimientos de utilización:

- 1) - En las presas de tipo bóveda, la compensación total o parcial de la retracción del fraguado y de las deformaciones elásticas y plásticas al poner en carga la estructura por medio de un juego de dovelas de forma apropiada se puede realizar siguiendo un programa de acción previamente determinado.

Deben diferenciarse las partes superiores de las inferiores, ya que estas últimas se benefician de la acción de empotramiento de la base, que permite poner en juego las reacciones de compensación de los efectos de coacción múltiple, que son más completas que en las partes altas.

- 2) - En las presas de gravedad la utilización consiste en la formación de juntas de expansión y de anclaje de las partes enterradas contra la roca.

La fig. 22 muestra un tipo de junta que se ha empleado en una presa de Africa del Norte. Esta junta tiene unos huecos, V, destinados a reducir el volumen de hormigón expansivo y permitir la humectación de la masa por el interior.

e) - Revestimiento de galerías subterráneas

Estos revestimientos requieren normalmente la utilización de una o varias dovelas para ejercer una compresión en ellos, bajo la

acción coactiva del terreno que se opone a la expansión (figs. 23 y 24)

Los hormigones expansivos pueden utilizarse también en la construcción de cisternas para diversa clase de líquidos, ya que la notable impermeabilización de los hormigones expansivos aporta un elemento suplementario a la seguridad desde este punto de vista.

f) - Revestimientos de calzadas y de pistas

La retracción provocada por el fraguado del hormigón, aún mayor que la resultante de las variaciones de temperatura, condujo a los constructores de firmes de hormigón a prever soluciones de continuidad o juntas, entre ciertas distancias, para evitar la fisuración del revestimiento por tracción.

Estas juntas, al igual que las correspondientes entre raíles en las vías del ferrocarril, presentan múltiples inconvenientes, por cierto bien conocidos, tanto por lo que se refiere al desgaste local de los revestimientos como por la fatiga de los vehículos y el confort de la circulación.

A la altura de la junta, principalmente la presión local unitaria sobre el suelo de apoyo de cimientos, y en el momento de pasar un eje aislado, puede alcanzar en ciertos casos hasta el cuádruple de la presión que experimenta en una parte corriente, lo que explica claramente las perturbaciones a que dan lugar estas juntas (fig. 25).

Los pasadores o barras de acero destinados a la transmisión de esfuerzos del uno al otro labio de la junta, no desempeñan prácticamente otro papel que el de una articulación con frecuencia precaria. En este caso, la presión sobre el suelo aún alcanza aproximadamente el doble de la presión ejercida en una parte corriente sin junta.

En vista de todo esto, intentando no tener que recurrir a dispositivos especiales, nos ha parecido interesante investigar si

la supresión total de las juntas, o por lo menos introducir una reducción notable de su número total, era posible.

Recordaremos que ciertas compañías de ferrocarriles, principalmente en Alemania y América, donde se utilizan tramos de vía de 1.200 m de longitud sin juntas, han obtenido ya resultados interesantes en este aspecto en las vías férreas.

En efecto, bajo la acción del calor los carriles experimentan una compresión, y pueden resistir normalmente si su tendencia al pandeo se halla suficientemente coaccionada por el peso de la vía en el sentido vertical y por el empuje contra el balasto en el sentido horizontal.

En los revestimientos de hormigón de gran extensión el problema se reduce al estudio del pandeo, pero en el sentido vertical solamente, suponiendo un prisma descansando sobre una base estable, cargado por su peso propio, que constituye la acción compensadora que se opone a la sobreelevación del revestimiento.

Además, es necesario tener en cuenta la acción del sol y gradiente de la temperatura interna resultante.

El Ministerio de Obras Públicas concedió una primera subvención al autor para la realización de investigaciones a este fin encaminadas.

La fig. 26 representa el aparato que se utilizó en la primera serie de ensayos que se efectuaron en los laboratorios de Vértas, utilizando reglas de madera sometidas a esfuerzos de compresión en sus extremidades. En esta figura la regla no se ha sometido a sobrecarga alguna.

La figura 27 muestra la regla cargada con placas metálicas destinadas a representar el peso propio de un revestimiento.

La figura 28 se refiere a la segunda serie de ensayos rea-

lizados sobre losas de hormigón no armado, de 4 cm de espesor y de 10 metros de longitud. Un gato, visible a la izquierda, comprimía las losas en el sentido longitudinal bajo el efecto de las cargas de compensación, variables, obtenidas con sacos.

En la figura 29 se puede apreciar la zona de ruptura por pandeo.

En estos ensayos se utilizaron una especie de alfombrascas lentadoras, colocadas sobre las losas, con objeto de provocar una diferencia de temperatura entre el intradós y trasdós de la losa.

La tercera serie de ensayos de orden práctico, se realizó en una fábrica de los Etablissements Poliet et Chausson. Estos ensayos han consistido en la ejecución de revestimientos de espesor normal, sin juntas, siguiendo un cierto número de disposiciones representadas en la fig. 30.

El tipo 1 se refiere a un revestimiento de hormigón de cemento sin retracción, es decir, débilmente expansivo.

El tipo 2 es un ensayo utilizando elementos expansivos convenientemente espaciados y ejerciendo un empuje horizontal, P , sobre las partes sin retracción.

El tipo 3 representa un ensayo con trozos de hormigón expansivo, separados por estribos, B , que, anclados en el terreno, constituyen bloques resistentes a los empujes de dirección horizontal.

La fig. 31 nos muestra un revestimiento del primer tipo en una de las fases de su humectación. Las losas se han rodeado de pequeños muretes de yeso o arcilla, formando una balsa de acumulación de agua, para mantener la acción de la humedad durante los días que esta operación requiere.

En la fig. 33 se ha representado un revestimiento ya ter-

minado. Estos ensayos han sido confiados a Soliditit Français.

Se espera poder emprender otros ensayos de esta clase a partir del momento que se haya podido observar el comportamiento de las primeras estructuras ensayadas durante un cierto período de tiempo, puesto que estos primeros intentos todavía se hallan en una fase de observación.

g) - Autopretensado de elementos de hormigón armado

Los cementos expansivos que se fabrican actualmente no permiten realizar autopretensados tan potentes como los que se pueden hacer con los procedimientos mecánicos, tal como se les aplica en los elementos pretesados o postesados.

La figura 34 representa los resultados obtenidos con prismas de hormigón, dosificado a razón de 550 kg de cemento expansivo por metro cúbico, armados con cables de acero duro.

Las curvas nos dan las tensiones en el acero y en el hormigón al principio y después de un año para cuantías de 0,23 a 0,93%.

h) - Autopretensado integral

Como ya se dijo, basta colocar las armaduras coactivas convenientemente dispuestas en cada dirección que se ha de autopretensar y, además, con la cuantía que corresponde a los esfuerzos moleculares, que se han de realizar.

Así, pues, tendremos 1, 2 ó 3 grupos de armaduras, según se trate de un sistema simple, doble o triplemente coaccionado.

Colocadas las armaduras se procede a hormigonar; se empieza a humedecerlo si es necesario y, finalmente, se logra el autopretensado de la operación.

La cuantía de armaduras, la dosificación del hormigón y

la duración del proceso de humectación deben determinarse previamente en el laboratorio con ayuda del aparato Faury.

i) - Autopretensado integral mixto

Quando el pretensado que ha de realizarse en una u otra de las direcciones sobrepasa a la capacidad que de los cementos expansivos actuales se puede obtener, se aplica un procedimiento mecánico en la dirección considerada y el autopretensado en las demás direcciones.

Tratándose de una tubería forzada, por ejemplo, el pretensado diametral debe ser más intenso que la acción longitudinal.

En una viga de gran sección llena o cajón, por el contrario el pretensado longitudinal toma preferencia al correspondiente transversal.

Con otras palabras, y siempre que la cosa sea posible, se utilizará:

a) - El procedimiento mecánico de sentido diametral si se trata de una tubería forzada, reservando el método del cemento expansivo para la dirección longitudinal (fig. 35).

b) - En el caso de una viga, se aplicará el pretensado en los planos perpendiculares en el sentido longitudinal y el autopretensado en los planos perpendiculares (fig. 36).

El autor ha analizado, a título de ejemplo, cuál podría ser el resultado de estas aplicaciones mixtas de los dos procedimientos en el caso del puente postesado con tensiones regulables, que se halla en construcción sobre el Sena, conocido con el nombre de puente de Villeve-Saint-Georges.

Se trata de una obra tipo cantiléver, cuyos tramos son de 41, 78,20 y 41 m de luz entre ejes de soportes. El tramo central, ca

tiléver, se cierra con una losa de 39,11 m de longitud teórica. Las secciones presentan la forma hueca de las vigas cajón, a las que se les ha dado una altura variable (figuras 37 y 38).

Si las tensiones de compresión llegan hasta 100 kg/cm^2 en algunas partes, las tensiones de tracción máxima engendradas por el esfuerzo cortante, teniendo en cuenta el pretensado longitudinal, no rebasan en ningún punto de la parte central independiente los 8 kg/cm^2 , y los $6,5 \text{ kg/cm}^2$ en los brazos cantiléver y sus estribos.

Por tanto, para hacerlas desaparecer completamente, basta utilizar un hormigón de cemento expansivo provisto de armaduras secundarias de coacción o de pequeña cuantía relativa.

El autor estudia en este mismo sentido varios tipos de estructuras de hormigón de cemento expansivo, con pequeñas cuantías y sometidas después a un esfuerzo longitudinal de compresión por medio de cables tesados con la ayuda de gatos, procediendo como en la obra de hormigón ordinario que actualmente se halla en ejecución.

Estas estructuras mixtas se ejecutarían completamente en obra siguiendo un método de hormigonado apropiado, o por trozos prefabricados y solidarizados por medio de la acción de cables.

En resumen, las notables asociaciones de los conceptos de Freyssinet, Chalos y Magnel, así como de otros con el autopretensado, parece permitirá sacar partido de las interesantes ventajas que la utilización del cemento expansivo ofrece desde el punto de vista técnico y económico.

J.J.U.

837-0-5 SUPRESION DEL ROZAMIENTO EN LOS CABLES DE PRETENSADO DE TRAZADO CURVO

"Concrete & Constructional Engineering"

Marzo, 1957.

En Alemania se están investigando métodos conducentes a reducir el rozamiento de los cables o barras que constituyen las armaduras de elementos de hormigón pretensado en el que éstas forman un trazado curvo, y rozan contra las paredes de las vainas o conductos. El profesor Fritz, de Karlsruhe, ha demostrado que la aplicación de un choque en la extremidad de una barra pretensada reduce considerablemente estos efectos.

Se ha podido averiguar que, en tales casos, apenas si existe fricción si en la extremidad de anclaje de la barra se ha colocado un muelle provisional, con objeto de hacer efectivo el impulso longitudinal debido al choque.

El impulso debe ser mayor al que pueden proporcionar los vibradores o un dispositivo similar. El método más satisfactorio de los que se han empleado, resultó ser el de golpear la extremidad de la barra con un martillo pesado.

Con la viga de la fig. 1, curvada con un radio de 25 m, se hicieron varios experimentos. El ángulo de curvatura fué de 41° en un desarrollo de 17,98 m y se dejó, en cada extremidad, un tramo recto, de 0,78 metros de longitud. Los primeros ensayos se realizaron con barras de 25 mm de diámetro, tesadas de acuerdo con el sistema Dyckerhoff & Widmann, llegando a la conclusión que, con el método ordinario de anclaje, es decir, en el que se utiliza una tuerca en la extremidad que se apoya contra una placa, un golpe con el martillo provoca poco efecto.

En la extremidad opuesta a la correspondiente al tesado, se

colocaron dos resortes de acero (fig. 2), con objeto de poder resistir, temporalmente, los esfuerzos de la barra. La tuerca del anclaje definitivo se dejó suelta, pero se montó un trinquete que permitía apretar la tuerca después de haber terminado el proceso de la reducción del rozamiento y, además, poderlo retirar en unión con los muelles. El trinquete se empleaba, alternativamente, en la misma extremidad de la barra ya que cuando se colocaba el gato (fig 4), el trinquete no era necesario.

Con objeto de registrar las deformaciones se colocaron elongómetros modelo Huggenberger, convenientemente espaciados en toda la longitud (figuras 3 y 5). El esfuerzo de tesado por barra fué de 19,3 toneladas y las lecturas en los elongómetros se han representado por la línea a en la fig. 6. Un simple golpe de martillo en la extremidad fija del anclaje de la barra daba lugar a una redistribución de fuerzas, como se ha indicado en la línea b de la fig. 6. Ocho golpes más dieron la redistribución que aparece en la línea c de dicha figura. Esto corresponde con un esfuerzo de tesado de unas 15 toneladas en toda la longitud de la barra.

Esta forma de operar se repitió, pero después de cada golpe se ajustaba el gato para mantener la fuerza original de tesado. Después de cinco a nueve golpes no existía ya más reducción del esfuerzo desarrollado por el gato. La distribución del esfuerzo a lo largo de la barra, antes y después de haberla golpeado, se ha representado por las líneas a y b de la figura 7.

Aplicando el impulso en la extremidad en que se ejercía el esfuerzo de tesado, se obtuvieron resultados similares. La línea a de la fig. 8, muestra la distribución del esfuerzo inicial en la barra, mientras que la línea b representa la distribución después de haber golpeado la barra cuatro veces, y la línea c nos da la distribución del esfuerzo de tesado después de un ajuste subsiguiente a cada golpe.

En este caso, la fuerza original no se mantenía, puesto que

el gato había llegado al límite de su carrera.

Empleando cables de pequeño diámetro, se obtienen resultados similares, por lo que se llegó a la conclusión que, en el caso de cables o barras tesadas, de hasta unos 30 m de longitud y con curvaturas de hasta 50° , el efecto del rozamiento entre el acero y la vaina o conducto puede ser casi evitado siguiendo este procedimiento.

J.J.U.



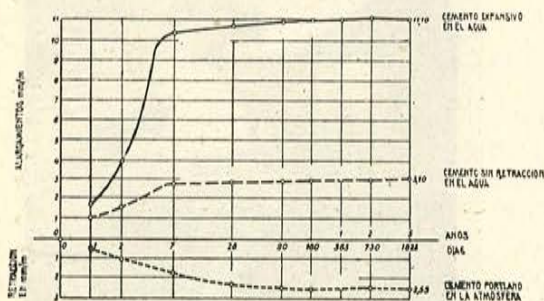


Fig. 1

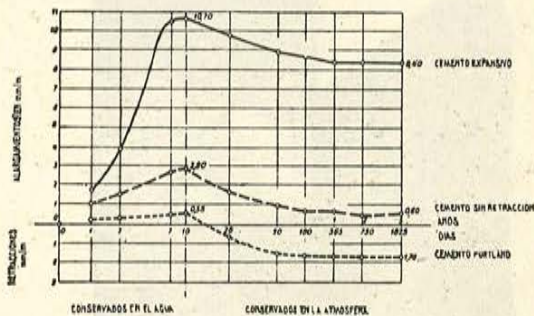


Fig. 2

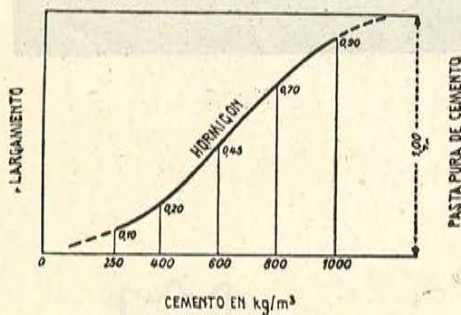


Fig. 3

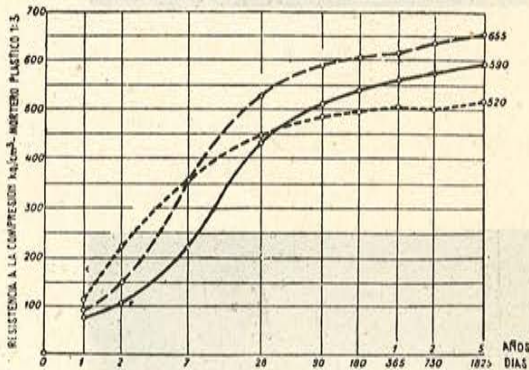


Fig. 4

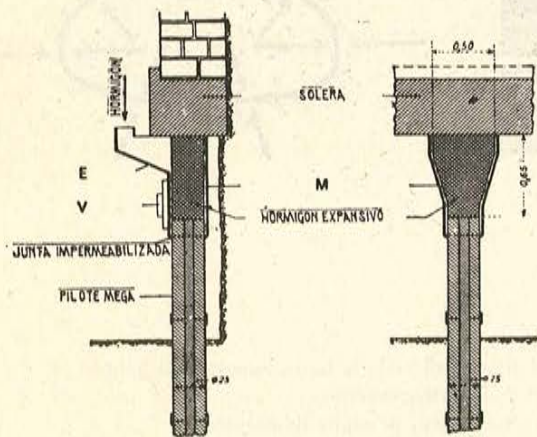


Fig. 5

Fig. 1.—Alargamientos y retracciones en función del tiempo y del modo de conservación.

Fig. 2.—Alargamientos y retracciones debidos a los diversos momentos conservando el hormigón diez días bajo el agua y después en la atmósfera.

Fig. 3.—Alargamiento relativo de un hormigón en función de la dosificación.

Fig. 4.—Resistencia en función del tiempo de un mortero normal preparado con diversos cementos.

Fig. 5.—Recalce en el palacio Rihour de Lille.



Fig. 6



Fig. 7

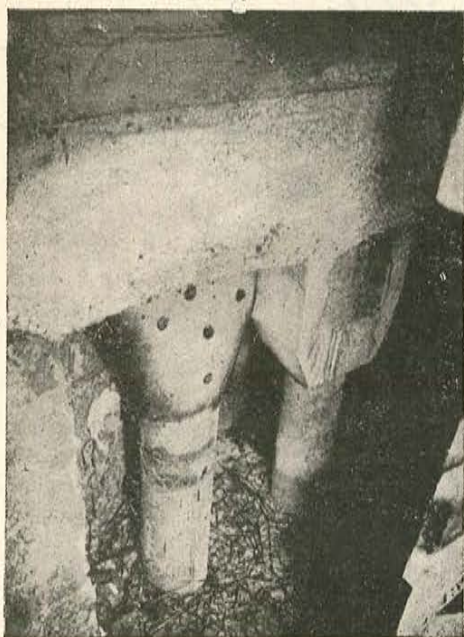


Fig. 8

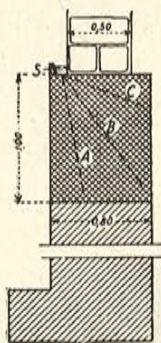


Fig. 9

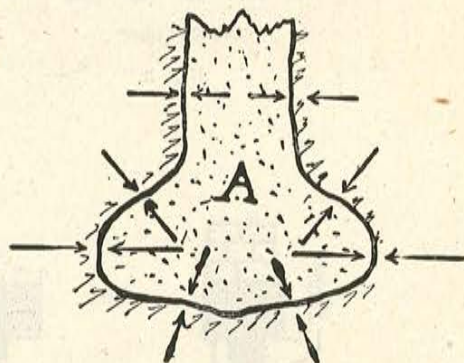


Fig. 10

Fig. 6.—Encofrando la parte superior del pilote.

Fig. 7.—Hormigonando.

Fig. 8.—Cabeza de pilote desencofrado.

Fig. 9.—Recalce del muro del Ministerio de Colonias de País.

Fig. 10.—Parte inferior de un pilote.

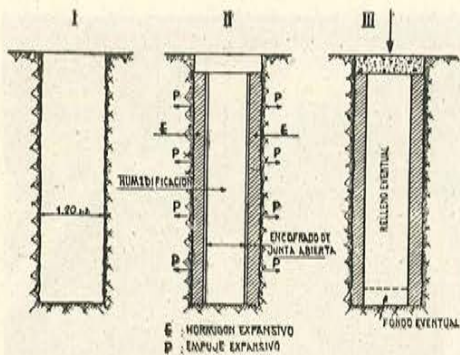
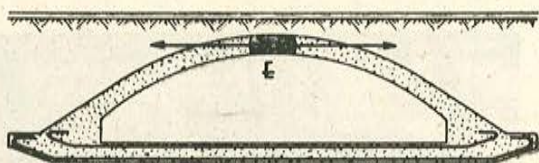


Fig. 11



SECCION 1-1

Fig. 13

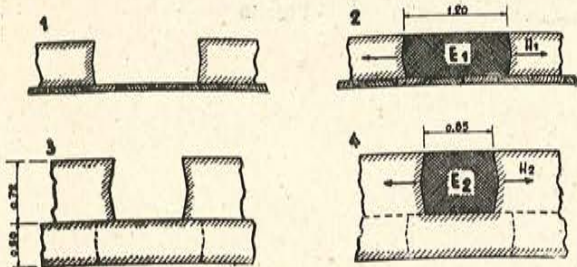
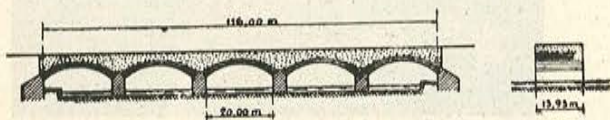


Fig. 14



Fig. 15

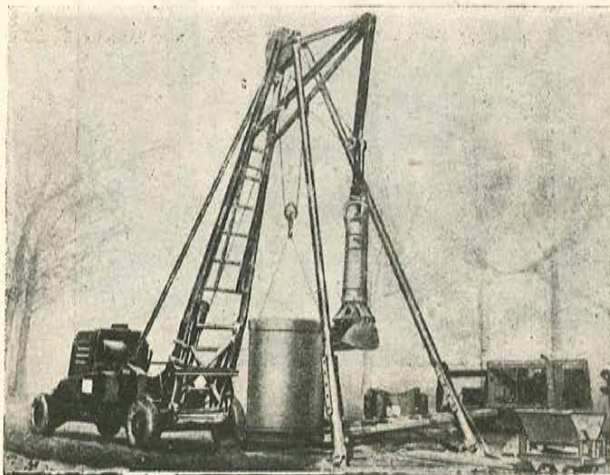


Fig. 12

Fig. 11.—Pocillo para cimientos utilizando el hormigón expansivo.

Fig. 12.—Máquina Benoto para la apertura de cimientos.

Fig. 13.—Acción expansiva en la dovela de cierre en la clave.

Fig. 14.—Las cuatro fases de la construcción de los arcos de un puente.

Fig. 15.—Hueco destinado a recibir dovelas de cierre, de cemento expansivo, en el puente Laroche-Migennes.

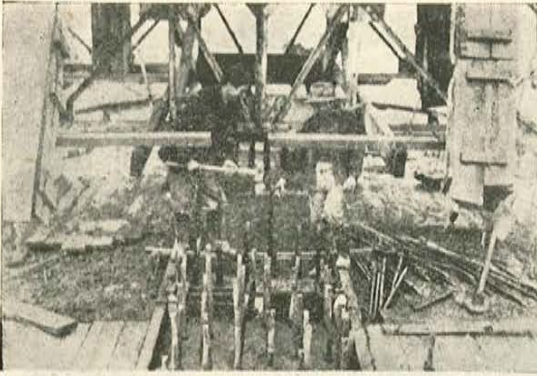


Fig. 16

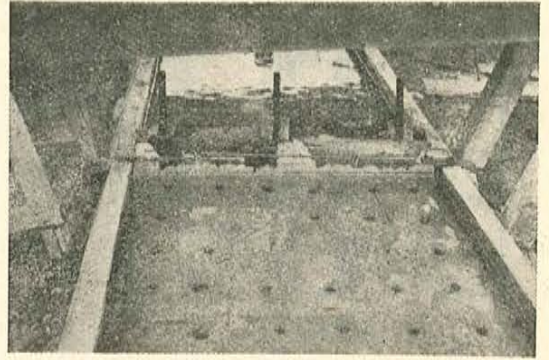


Fig. 17

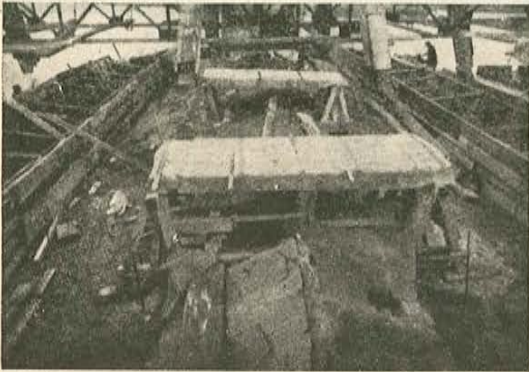


Fig. 18

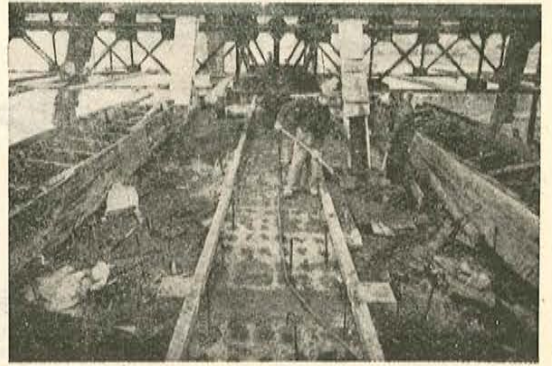


Fig. 19

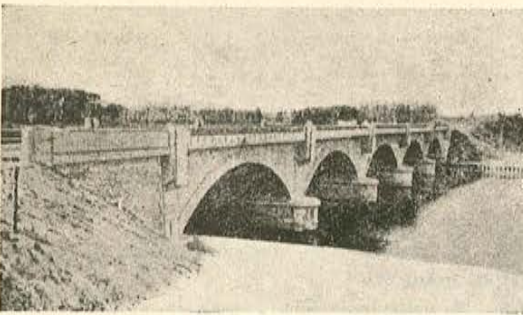


Fig. 20

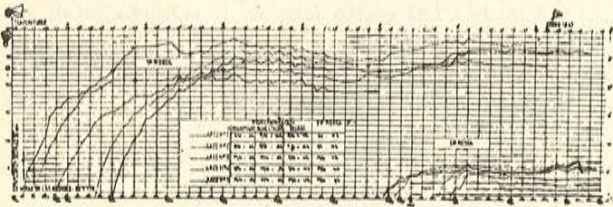


Fig. 21

Fig. 16.—Barras para dejar después de retirarlas los agujeros para la humectación.

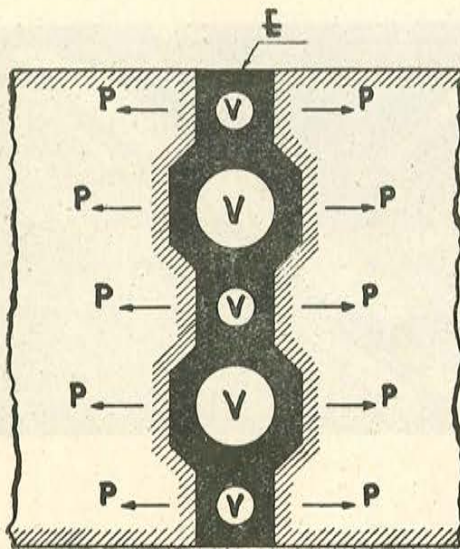
Fig. 17.—Balsa de agua para la humectación.

Fig. 18.—Protección de los aparatos contra la intemperie.

Fig. 19.—Cierre en la clave con hormigón expansivo en el puente de Laroche-Migennes.

Fig. 20.—El puente Laroche-Migennes terminado.

Fig. 21.—Gráfico de las curvas representativas de la expansión.



E : MORTAR EXPANSIVO

V : HUMEDIFICACION

P : EMPUJE EXPANSIVO

Fig. 22

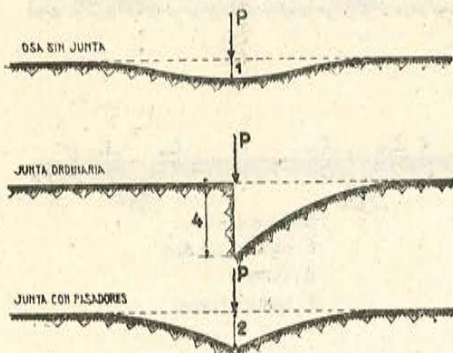


Fig. 25

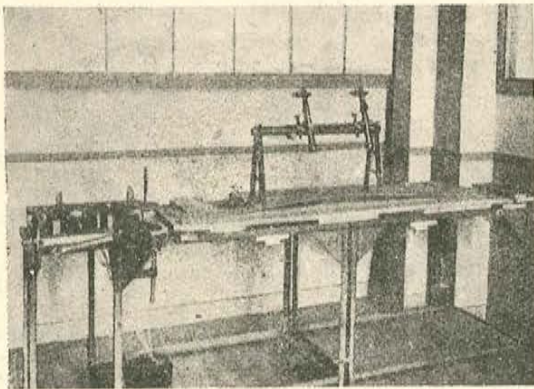


Fig. 26

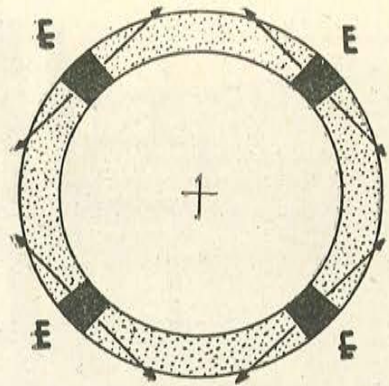


Fig. 23

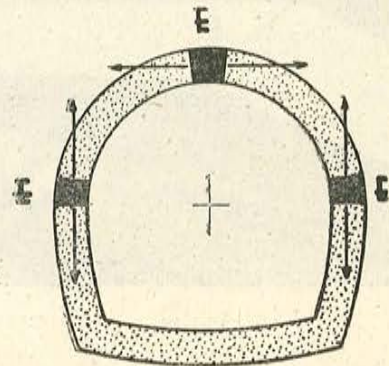


Fig. 24

Fig. 22.—Junta con cemento expansivo utilizada en la construcción de presas.

Fig. 23.—Revestimiento de galería con cemento expansivo.

Fig. 24.—Revestimiento de galería con llaves de cemento expansivo.

Fig. 25.—Efecto de una carga vertical en la junta de un firme de carretera.

Fig. 26.—Ensayos con tabla de madera comprimida.

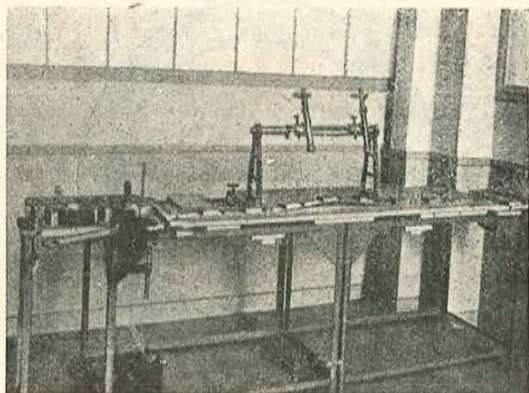


Fig. 27

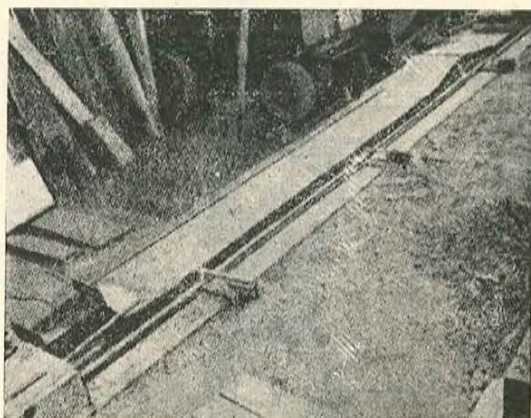


Fig. 28

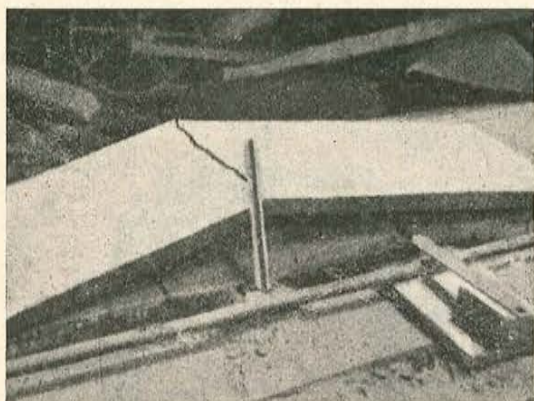


Fig. 29



Fig. 31

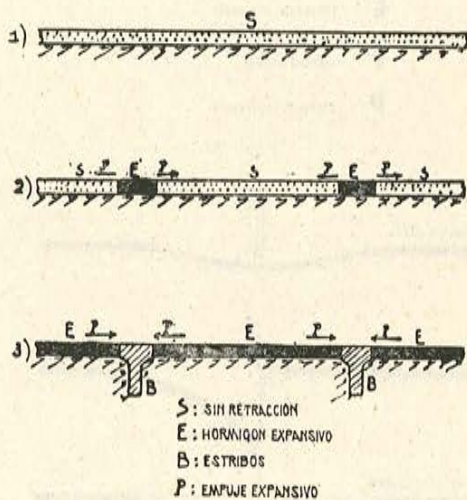


Fig. 30

Fig. 27.—Sobrecarga de placas metálicas en los ensayos de tablas comprimidas.

Fig. 28.—Ensayos de losas de hormigón ordinario, de 4 cm de espesor.

Fig. 29.—Rotura de la losa de ensayo por pandeo.

Fig. 30.—Tres tipos de revestimientos para pavimentaciones.

Fig. 31.—Pavimentación con hormigón expansivo en una fase de humectación con balsas.

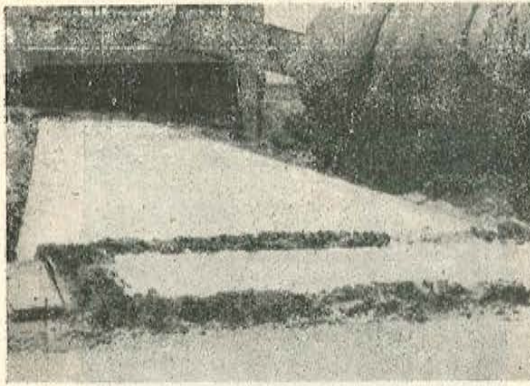


Fig. 32

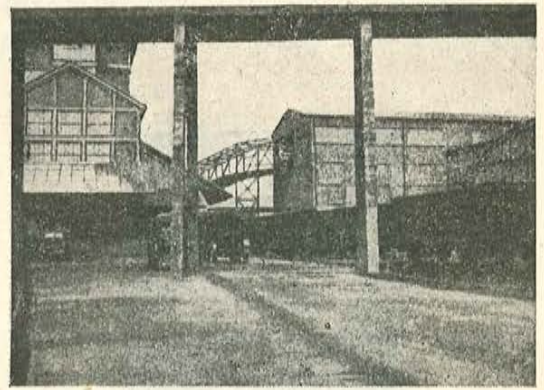


Fig. 33

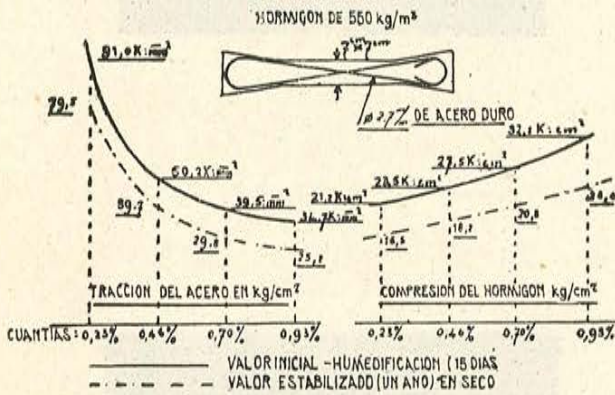


Fig. 34

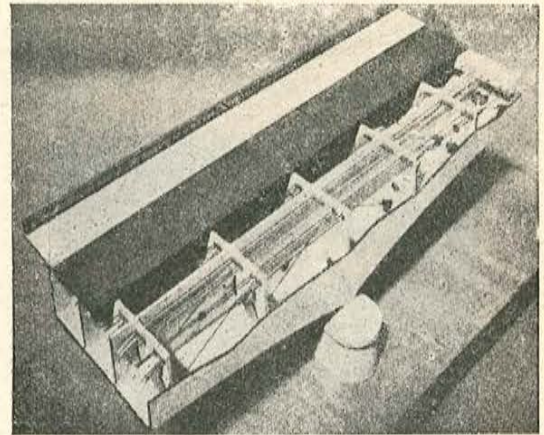


Fig. 38

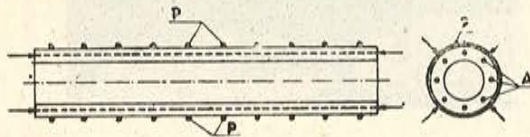


Fig. 35



Fig. 36

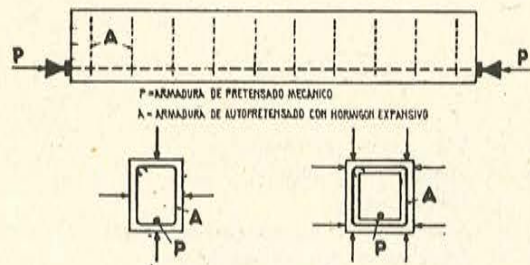


Fig. 37

Fig. 32.—Revestimiento con llaves de cemento expansi en una fase de humectación.

Fig. 33.—Revestimiento expansivo terminado.

Fig. 34.—Resultado de los ensayos con prismas de hornigón con 550 kg/m³ de cemento expansivo.

Fig. 35.—Aplicación del pretensado mixto a una tube forzada.

Fig. 36.—Aplicación del pretensado mixto a una viga lle o hueca.

Fig. 37.—Esquema de la disposición del pretensado mix en el puente de Villeneuve-Saint-Georges, sobre el río Sei

Fig. 38.—Vista de la maqueta del puente de Villeneu Saint-Georges, mostrando la armadura de pretensado gulables.

837-0-5.—SUPRESION DEL ROZAMIENTO EN LOS CABLES DE PRETENSADO DE TRAZADO CURVO



Fig. 1

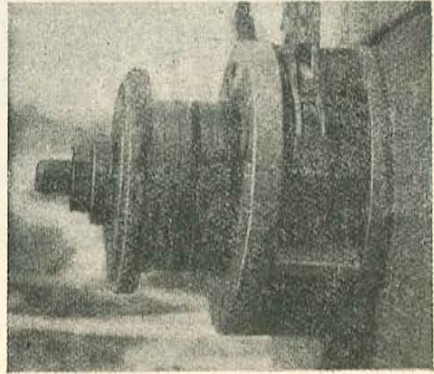


Fig. 2



Fig. 3

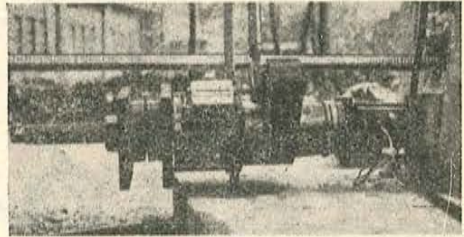


Fig. 4

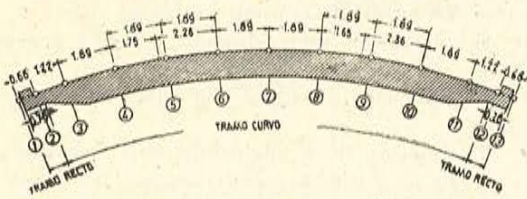


Fig. 5

- Fig. 1.—Viga curva pretensada.
- Fig. 2.—Muelles en el anclaje.
- Fig. 3.—Elongámetros.
- Fig. 4.—Muelles en la extremidad de tesado.
- Fig. 5.—Posición de los elongámetros.

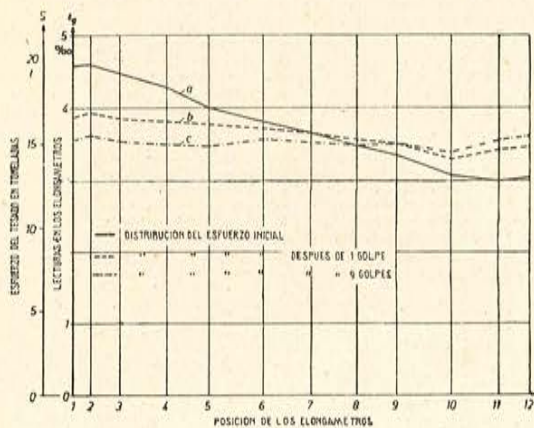


Fig. 6

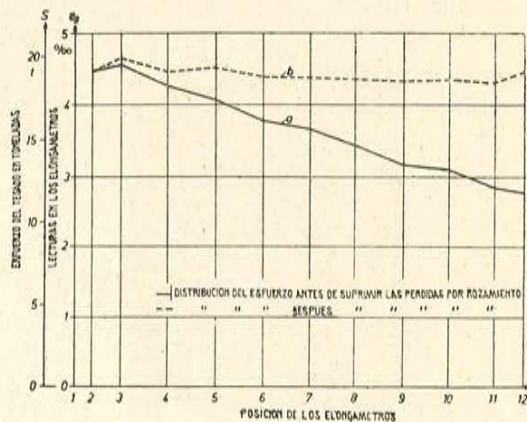


Fig. 7

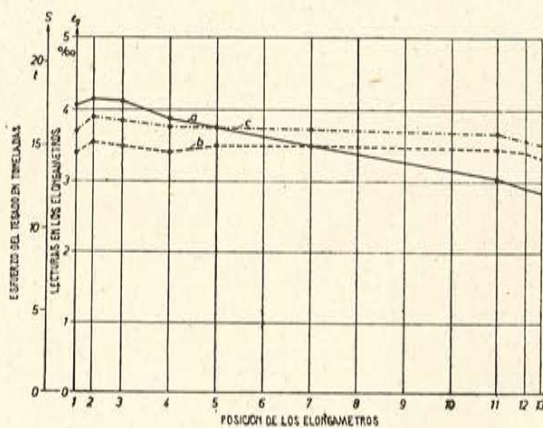


Fig. 8

Fig. 6.—Lecturas en los elongómetros.

Fig. 7.—Distribución del esfuerzo con golpe en la extremidad de anclaje.

Fig. 8.—Distribución del esfuerzo con golpe en la extremidad de tesado.

