

HORMIGON PRETENSADO

MODESTA APORTACION A SU TECNICA

ANTONIO ANGULO ALVAREZ,
Ingeniero de Caminos.

En el primer párrafo explica el autor el fin perseguido al redactar el presente artículo, y al final hace constar que el sistema que presenta, que fué en un principio objeto de patente, puede ser aplicado libremente por quien lo desee.

Objeto.

La idea que presidió el desarrollo del sistema que se explica en el presente artículo es la siguiente: *utilizar armaduras de aceros no especiales, de diámetros normales, en la construcción de piezas de hormigón pretensado.*

Lo corriente es emplear aceros de gran calidad, con una carga de rotura muy elevada, y lo que es más importante, con un alto límite para el cual no se aprecian deformaciones lentas, o "límite de relajamiento". Se trata de aceros especiales, no sólo en su composición, sino en el proceso de fabricación, específico para este fin de hormigón pretensado. Estas armaduras suelen ser de pequeño diámetro (hasta 5 mm.).

Con el sistema ideado se trata de emplear diámetros mayores, a fin de facilitar la adquisición de los aceros no especiales, que se supone han de encontrarse en el mercado al tratarse de diámetros comerciales.

Respecto a su calidad, cabe recordar que se han utilizado, y aún se utilizan ahora, numerosas armaduras procedentes de relaminaciones (a menudo carriles desgastados) relativamente económicas, y que son muy "agrias" por efecto de la operación de relaminado, pero con una elevada carga de rotura.

Se comprende que la aplicación de tales armaduras trae como consecuencia la dificultad del anclaje. Debe ser económico y robusto, ya que al utilizar diámetros comerciales entran en juego esfuerzos considerables.

Como resumen, encontramos las siguientes condiciones para el empleo de tales armaduras:

1.^a Tendrán un diámetro aproximado a las utilizadas en las obras de hormigón armado, o sea de 10 a 20 mm.

2.^a La carga de rotura de las mismas será de unos 70 Kg./mm.².

3.^a En atención a las circunstancias anteriores, debe tenerse en cuenta que los esfuerzos que entran en juego son elevados.

4.^a Para transmitir los esfuerzos de la armadura al hormigón, se precisan anclajes muy fuertes, distintos de los normalmente utilizados para armaduras

de pequeño diámetro. Resulta obligada por ello la pieza de repartición de esfuerzos sobre el hormigón.

5.^a El tipo de anclaje ha de ser sencillo y robusto, permitiendo ejecutar fácilmente la operación de tesado de las armaduras. Por supuesto, el sistema es de "pos-tesado".

El empleo de armaduras de las calidades apuntadas no es nuevo. Existe un sistema, de origen alemán, que utiliza armaduras de características análogas a las mencionadas, si bien es distinto en su técnica.

Esto no obstante, está en el ánimo de todos que el sistema óptimo para el hormigón pretensado ha de ser sobre la base de aceros de alta calidad y pequeño diámetro, pues en ellos el precio de coste de cada unidad de fuerza efectuada ha de ser menor que en cuantos sistemas se realicen utilizando aceros de calidad intermedia, con un límite de relajamiento notablemente más reducido.

El sistema se ha desarrollado y funcionado correctamente, por lo que se describe a continuación, pero como no se olvida lo indicado en el párrafo anterior, se ha calificado el presente tema como una *modesta aportación*.

El anclaje.

El anclaje estudiado se detalla esquemáticamente en la figura 1.^a. En una pieza de hormigón (1), la armadura (2) tiene, en sus dos extremos, sendos tacos (3) y (4) unidos a ella mediante soldadura eléctrica.

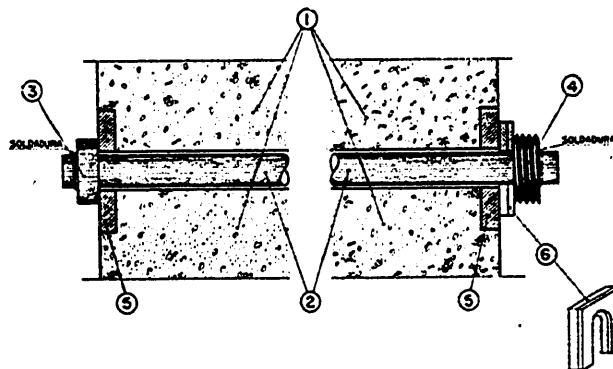


Figura 1.^a

Entre tales tacos y el hormigón existen las piezas de repartición (5), que pueden ser iguales para los dos lados de la pieza.

Los tacos (3) y (4) son distintos, pues mientras uno basta con que ejerza su presión sobre la pieza de repartición, el otro ha de permitir poner en tensión la armadura, por lo que precisa tener algún tallado en su superficie exterior, a fin de que el mecanismo de tracción que se utilice para tesar la referida armadura encuentre la sujeción precisa.

En el caso dibujado (que corresponde a los ensayos efectuados hasta la fecha), el taco (3) es sencillamente cilíndrico, en tanto que el (4) tiene, en su exterior, tallada una rosca normal.

Finalmente hay una serie de piezas (6) que se interponen entre el taco (4) y la pieza de repartición correspondiente. La forma de estas piezas es análoga a una U, de espesor variable, tal como se indica en un croquis aparte en la misma figura 1.^a.

Aplicación del sistema.

El sistema es de pos-tesado, por lo que hay que esperar que, una vez construida la pieza, ésta se endurezca. Deben tenerse en cuenta las mismas normas que en toda construcción de hormigón pretensado. Cuidadosa ejecución, y también que la armadura esté libre de toda coacción por parte del hormigón, para lo que es preciso esté alojada en un orificio de mayor diámetro que el propio de la armadura.

Llegado el momento de efectuar el tesado de la armadura, se sujetará el mecanismo preparado para tal fin sobre la pieza roscada (4). Este mecanismo se apoya sobre la pieza de repartición (5) y cuando actúa obliga a la pieza roscada (4) a separarse de la (5), estableciendo la tensión en la armadura.

Seguidamente, y para que no desaparezca tal tensión, se colocan las piezas (6) que impiden el acercamiento entre las (4) y (5). El número de piezas (6) que hay que colocar depende del espesor de ellas y del estiramiento que haya sufrido la armadura.

Queda, únicamente, retirar el mecanismo de tracción, para que quede la pieza terminada (salvo la inyección de lechada de cemento).

Si se desea, se puede retesar la armadura pasado algún tiempo.

Comentarios.

La duda fundamental que cupo, en cuanto se ideó el sistema, fué el efecto de la soldadura en la armadura.

Toda soldadura implica un calentamiento de los elementos a soldar, y era de temer que tal calentamiento alterase las características del acero de la

armadura, hasta tal punto, que le hiciese perder la resistencia de modo notable y se produjese la rotura bajo una carga unitaria reducida.

Para comprobarlo, se hicieron una serie de ensayos, rompiendo el conjunto formado por una armadura, con dos tacos soldados a sus extremos, actuando sobre los citados tacos.

En ningún caso la rotura de la armadura se produjo en las proximidades de la soldadura ni se redujo la carga de rotura de la armadura respecto a la que tenía antes de sufrir ninguna soldadura.

Posteriormente, en el curso de los ensayos sobre piezas de hormigón, también ha sido comprobado tal extremo.

El tipo de soldadura efectuado ha sido el de "arco" mediante electrodos comerciales, de buena calidad.

Puede objetarse que el hecho de no haber comprobado disminución de resistencia en las armaduras obedezca a que la calidad del acero de las mismas no es todo lo buena que hubiese sido de desear para su empleo en construcciones pretensadas.

Ello es posible, aun cuando posteriormente se ha tenido noticia de que en Italia, el Dr. Franco Levi ha efectuado soldaduras sobre armaduras de alta calidad sin encontrar disminución en sus características resistentes.

Tampoco se ha ensayado la utilización de la soldadura "a tope" por no disponer del equipo necesario. Quizá resulte más económico este sistema, una vez organizado en series importantes de soldaduras.

Visto el resultado satisfactorio de los citados ensayos, y con el deseo de comprobar el sistema sobre piezas de hormigón, fué solicitado por el que suscribe, de la Junta de Investigaciones Técnicas, que funciona en el seno de la Escuela de Caminos, la concesión del crédito preciso para efectuar más ensayos, ya sobre piezas de hormigón.

Dicha Junta tuvo la gentileza de acceder a lo solicitado, y con tal crédito, se hizo frente a los gastos correspondientes a la construcción de elementos y piezas, éstas últimas por el Laboratorio Central, también de la Escuela de Caminos.

El mecanismo de tensión se ha construido del tipo hidráulico, apreciando la tensión mediante un manómetro. Como se conoce la superficie del émbolo, se calcula fácilmente el esfuerzo. A mayor abundamiento, se han realizado los tarados correspondientes, arrojando una precisión más que suficiente para el fin a que se destina.

El aparato se aprecia en la fotografía de la figura 2.^a. Tiene dos manuales para realizar, con facilidad, distintos esfuerzos. Actuando sobre el manual más próximo a la pieza, se alcanza fácilmente un esfuerzo de 5 toneladas. Con el más alejado, se logran hasta 20 toneladas.

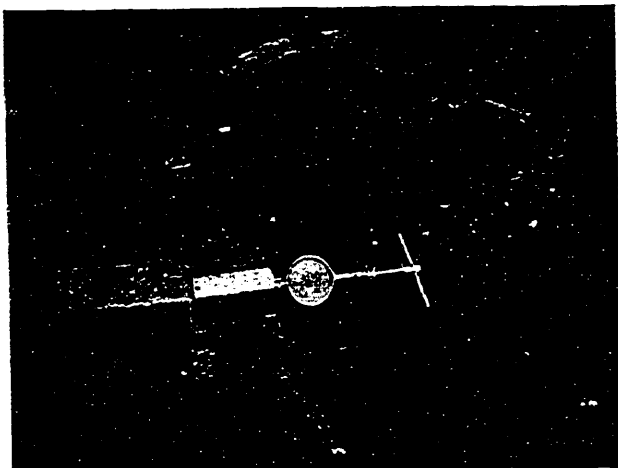


Figura 2.ª

En la figura 3.ª se indica el aparato, situado sobre la pieza de hormigón y accionando el maneral más alejado.

Se han construido pequeñas viguetas, de 10×20 centímetros, armadas con dos redondos de 10 mm. de diámetro. Tanto su construcción como la operación de tesado de las armaduras y retesado de las mismas, pasado algún tiempo no han presentado dificultad alguna.

También se hicieron viguetas análogas armadas con dos redondos de 19 mm. de diámetro, pero en éstas, por el contrario, no se pudo llegar a cargar totalmente las armaduras por producirse roturas en el hormigón. Esto demostró que las piezas de repartición (5) no estaban dimensionadas suficientemente para resistir tales esfuerzos, y también que la disposición de los extremos de la pieza de hormigón no era la adecuada. De todos modos, las dificultades encontradas no radican en el sistema de pretensado, sino en una disposición inadecuada de las piezas ensayadas.

También se ha observado la tensión con que han quedado las armaduras, pasado algún tiempo después de su puesta en tensión.

Con el acero utilizado, al llegar a una carga unitaria próxima a los 50 Kg./mm.^2 , se comenzó a apreciar un alargamiento superior al proporcional. Se dejó la pieza en tales condiciones y durante cierto tiempo (hasta tres meses) se fué observando cómo se reducía la carga a la que estaba tensada la armadura.

Esta carga fué distinta para las diversas armaduras, pero su orden de magnitud estaba comprendido entre 35 y 42 Kg./mm.^2 .

Estas pérdidas de carga unitaria (desde los 50 kilogramos/ mm.^2) obedecen únicamente a dos causas:

Deformación plástica del hormigón.

Deformación plástica o relajación en las armaduras.

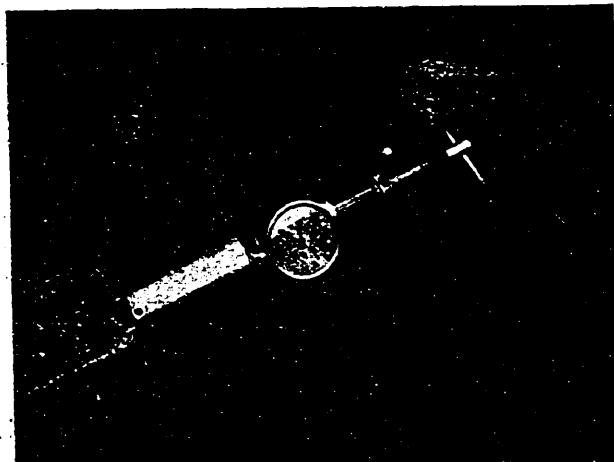


Figura 3.ª

Destacamos que, por la índole misma del sistema, no entran en juego las deformaciones elásticas o instantáneas, tanto del hormigón como del acero de las armaduras. Tampoco interviene la retracción de fraguado del hormigón, ya que el tesado de las armaduras se hace cuando ya se ha producido dicha retracción.

Es más, efectuando la operación de retesado, también se limitan las deformaciones lentas del hormigón.

Con objeto de comprobar lo anterior, se han realizado ensayos sobre una armadura que, en vez de apoyarse sobre un hormigón (que queda comprimido), se ha apoyado sobre un grueso tubo de hierro. Se aplicaron cargas del mismo orden de magnitud, las cuales fueron reduciéndose al cabo del tiempo hasta bajar a valores comprendidos entre los mismos 35 y 42 Kg./mm.^2 . Realizado el retesado, para volver a los 50 Kg./mm.^2 , cayó de nuevo la tensión dentro de los límites indicados.

Este ensayo demostró evidentemente que la pérdida de tensión era únicamente por *relajación de las armaduras*.

Por lo tanto, quedó demostrado que el sistema es

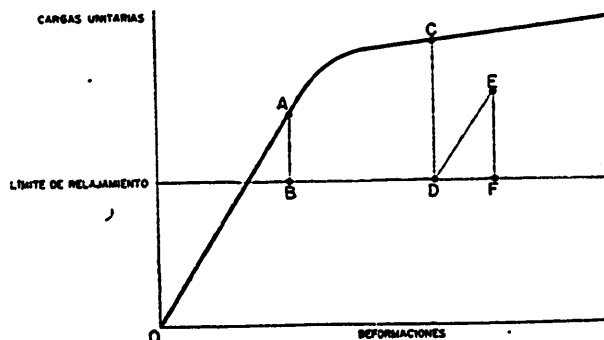


Figura 4.ª

aplicable en tanto no se supere el límite de relajación, que para los aceros utilizados quedaba comprendido entre los repetidos 35 y 42 Kg./mm.².

En la figura 4.^a se ha dibujado el esquema de funcionamiento del acero de las armaduras, en el diagrama clásico *cargas unitarias-deformaciones*.

Se supere o no el límite elástico, la carga desciende, al cabo del tiempo, a su valor de relajamiento. Si se actúa dentro de los límites de proporcionalidad, la carga pasará del origen al punto *A* (en el momento de efectuar el tesado), la cual desciende hasta el punto *B* pasado el tiempo. Quedará en tal situación de carga-deformación.

Si se sobrepasa el límite elástico, al efectuar el tesado, la variación recorrerá la línea *OC*. para luego caer en el punto *D* al cabo del tiempo.

Si se hace un retesado, se elevará la tensión hasta otro punto *E*, pero pasado el tiempo, la tensión de la armadura decrecerá hasta un punto *F* situado en la horizontal del límite de relajamiento.

Conclusiones.

Los ensayos han demostrado que el sistema es utilizable. No se han encontrado dificultades notables en su ejecución. El sistema de puesta en tensión tampoco ha acusado dificultad alguna.

Respecto al alcance del sistema, está limitado únicamente por la carga unitaria de relajamiento del acero utilizado en las armaduras, que para los aceros ensayados es del orden de 35 a 42 Kg./mm.².

Debe el autor hacer constar, desde las páginas de la REVISTA, su agradecimiento a la Junta de Investigaciones Técnicas por su generoso apoyo, que ha permitido llevar a cabo los ensayos.

En atención a lo anterior y a otras circunstancias (concretamente, por pertenecer al Comité Permanente de la Asociación Española del Hormigón Pretensado, cuyo fin es extender tales técnicas), el citado sistema, que en principio fué objeto de Patente, puede ser aplicado libremente por quien lo desee.

