



a

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
Patronato "Juan de la Cierva" de Investigación Técnica



ULTIMOS AVANCES

Técnicos en Estructuras

Hormigón Pretensado

Boletín de circulación limitada

Nº 9

Madrid - 1951

- INSTITUTO TÉCNICO DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEL CEMENTO -



I N D I C E

	<u>Págs.</u>
457 - 0 - 4 El hormigón Protensado y sus campos especí ficos de aplicación. Por E. Torroja, Ing. de Caminos	1
457 - 0 - 5 Evolución del papel del pretenso en las construcciones y consecuencias de su uti- lización sistemática. E. Freyssinet.	34
457 - 0 - 6 Conclusiones del Congreso Internacional - del Hormigón Protensado celebrado en Gan- te (Bélgica) y declaraciones de M. Freys- sinet,	45

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.

* * *



- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento --

457 - 0 - 4 EL HORMIGON PRETENSADO Y SUS CAMPOS ESPECIFICOS
DE APLICACION

Conferencia pronunciada por:

D. Eduardo Torroja Miret. Ingeniero de Caminos.

S I N O P S I S
=====

Bajo la presidencia del Excmo. Sr. Ministro de Obras Públicas, y organizada por la Asociación Española del Hormigón Pretensado, D. Eduardo Torroja pronunció, el pasado día 19 de Noviembre, la conferencia que a continuación se transcribe, y en la cual se exponen las características fundamentales de la técnica del hormigón pretensado. Se reseña brevemente el proceso evolutivo de la idea del pretensado desde sus orígenes hasta nuestros días y se indica la ventaja que para el proyectista representa el mayor número de variables que puedo manejar para lograr el máximo de economía y la eficacia resistente de las estructuras. Se señalan los problemas fundamentales que en el desarrollo de esta técnica se plantean y las diferencias que existen entre los dos tipos de hormigón pretensado, el pre y el postensado, las cuales delimitan sus respectivos campos de aplicación. En relación con éstos, se hace notar que no es solamente en puentes donde las ventajas pueden ser mayores, sino en aquellos casos particulares que el hormigón pretensado resuelve mejor que cualquier otro material. En general, puedo aplicarse con éxito en obras hidráulicas y en todas aquellas que requieren suprimir el peligro de la fisuración tales como depósitos, tuberías a presión, acueductos, presas, cajones flotantes, muros portuarios, etc.; en aquellos elementos en los que la prefabricación permite tipificar las operaciones: viguetas, traviesas, postes o incluso vigas de puentes prefabricadas por trozos; en las delicadas estructuras laminares o de otro tipo en las que la introducción de tensiones parásitas permita evitar esfuerzos secundarios perjudiciales y, en fin, en aquellas obras en que la pieza pretensada y



prefabricada, puodo actuar, sucosivamento, do encofrado auto-ro
sistonto y do armadura de la estructura final.

Finalmente, se enumeran las condiciones que el desarrollo en España del hormigón pretensado exige, entre las que, por su importancia, se destacan: la industrialización de los materiales normalizados; la garantía de un suministro normal de hormigones y aceros de calidad adecuada; y el apoyo, no solo material sino también moral para las laboriosas investigaciones que aún es preciso realizar con el fin de aclarar determinadas cuestiones del mayor interés por su repercusión económica. De todo ello, se saca la conclusión de que, dada la complejidad del problema y las múltiples facetas que envuelve, es a los poderes públicos a quienes, en definitiva, corresponde dar las directrices para que las ventajas indudables de la técnica del pretensado puedan traducirse en beneficio nacional.

A continuación, se proyectaron dos películas francesas tituladas "Construction de Ponts" y "Galerie couverte à Rouen" codificadas por la "Société Technique pour l'utilisation de la Précontrainte".

Creo que fué en 1936, cuando Freyssinet publicó la larga Memoria sobre sus ideas acerca del hormigón pretensado, titulándola "Una revolución en la técnica del hormigón"; y fueron muchos los que entonces estimaron que el título era demasiado ambicioso y que debía considerarse como un tanto visionario el enjuiciamiento que hacía de la cuestión; sin embargo, los años han ido dando la razón, os ésta como en tantas otras cosas, a aquél prestigioso autor, porque el hormigón pretensado va abriendo camino no sólo en los libros, sino en las realizaciones prácticas de gran envergadura, en forma tal que hace pocos años nos hubiera parecido impracticable; y aunque se hayan requerido unos años para esto desenvolvimiento



te y pudiera, por consiguiente, pensarse que la revolución se ha resuelto más bien en una evolución de la técnica; creo, - por el contrario, que se trata de una revolución latente, por que, en cuanto las aplicaciones se multipliquen en número y - en especie, el cambio de técnica resultará tan grande respecto a la solución ya clásica del hormigón armado que no puede hablarse en realidad de un perfeccionamiento de este material, - sino de la aparición de otro nuevo y de una técnica totalmente diferente de las anteriores.

Es un fenómeno análogo al que se produjo con el hormigón armado en relación con el hormigón o con el hierro pro-existente. El hormigón armado no es un hormigón al que se le han introducido unos hierros de atado, como se hizo desde la más remota antigüedad con los sillares de piedra sin alterar la técnica de la cantería; ni es tampoco la estructura metálica que se haya envuelto en un macizo de hormigón para defendérla de la intemperio y rigidizarla contra el viento, sino que el hormigón armado es un material nuevo en el que, como decía D.J.M. Zafra, de inolvidable memoria y orgullo de nuestra tócnica, el hierro da fibra a la piedra y el hormigón da masa al hierro; ambos elementos se conjugan aquí en un solo conjunto tensional y resistente, tomando forma totalmente distinta de la del hormigón en masa y distribuyéndose, en ella, las armaduras en formas, dimensones y técnicas totalmente diferentes de las de la estructura metálica.

Pués, tan diferente como es el hormigón armado del hormigón en masa, asimismo es diferente el hormigón pretensado del hormigón armado. La idea es muy antigua y fracasó hasta que aparecieron sobre el tapete las nuevas ideas revolucionarias de Freyssinet.



La primera idea consistió simplemente en tosar la armadura del hormigón armado para producir un estado de solicitud, en cierto modo, inverso del que han de producir después las cargas exteriores.

Pero, pronto se observó que por causas y fenómenos entonces desconocidos, la tensión en la armadura desaparecía al poco tiempo y el material parecía comportarse como si nada se lo hubiera hecho proviamonte y se fisuraba más o menos igual que el propio hormigón armado.

El fenómeno se achacó primeramente a los efectos de retracción que tienden siempre a poner en compresión el hierro y en tracción el hormigón, pero las investigaciones simultáneas de Faber en Inglaterra y Freyssinet en Francia probaron la existencia de una deformación lenta viscoplastica del hormigón, de magnitud muy importante cuando la solicitación se prolonga durante un plazo suficientemente largo de meses o de años. Por efecto de esta deformación lenta, el hormigón protonado se distiende, tratando deuir del estado de tensión (*) inicial a - que se lo había sometido.

Vista la importancia del fenómeno, se comprendió pronto que la única forma de obtener un hormigón verdaderamente protonado, era sustituir el acero normal por otro de muy alta calidad que pudiera someterse a una tracción unitaria muy elevada con alargamiento, por consiguiente, también muy grande, de forma que lo que la contracción del hormigón hiciese contraer al hierro representase sólo una parte alicuota muy pequeña de -

(*) La palabra "tensión" se utiliza en su acepción física general, para expresar tanto tracciones, como compresiones, o tangenciales.



la deformación inicial, y por tanto de la tensión que se había dado a esa armadura.

La técnica metalúrgica no ofrece, en condiciones prácticas de utilización, otros aceros de la calidad que se requiere para ésto que los aceros trefilados en alambres delgados que inicialmente se fabricaban solamente de 2 o 3 mm. y que la técnica actual va permitiendo engrosar lentamente sin que hasta hoy haya podido pasar de los 5 o 7 mm. con verdadera eficacia. En alambres de este tipo se obtienen, ya industrialmente, aceros con resistencias del orden de los 150 a 200 kg/mm², que pueden hacerse trabajar normalmente, - por lo que luego diré - a cargas entre 120 y 150 kg., es decir, del orden de 10 veces las cargas normales de las armaduras en el hormigón armado,

Utilizando estos aceros, las secciones de armaduras se reducen mucho; pero, aún así, el número de alambres que hay que emplear es muy grande y la necesidad de tesarlos, todos ellos, da lugar a un material cuyo proceso de fabricación es mucho más técnico y delicado que el del hormigón armado,

Los de mi generación, recordamos todavía, como D. J. Eugenio Ribera, otra gloria nacional, en el campo del hormigón armado docía que una de las ventajas del hormigón armado sobre las fábricas de cantaría o de ladrillo, consistía en que sus obras podían hacerse sin necesidad de obreros especializados (cantores, albañiles, etc.), empleando simples peones y, - por tanto, pagando poco al obrero.

Esta cuestión de la mano de obra merecería un comentario mucho más amplio de lo que es oportuno en este momento; pero, no quiero dejar de señalar que, desde el punto de vista nacional una de las causas de nuestras desgracias y dificultades



en el campo económico-social, es precisamente lo barato de la mano de obra española, porque, si bien es cierto que con los métodos tradicionales se pueden obtener productos relativamente económicos, no lo es menos que el nivel de vida del obrero padece como consecuencia de ello, y cuando padece una gran parte de la sociedad que nos rodea, tenemos forzosamente que padecer el resto también.

Es indudable que un constructor o que un propietario privado debe preferir, a igualdad de ventajas técnicas, - una solución clásica, -en hormigón armado por ejemplo- a una solución de hormigón pretensado, si la mayor complicación que lleva consigo esta última y, por consiguiente, el mayor coste de su mano de obra hace que el presupuesto total sea más alto. Pero no cabe duda que, si con el segundo procedimiento el número de obreros es menor, su especialización mayor y por tanto su jornal más alto, se tendrá la ventaja de que estos pocos obreros pueden vivir mejor, y la no menos importante de que los otros, que no sean necesarios en esa obra, se pueden dedicar a otros trabajos y puede aumentar la producción nacional y, en consecuencia la riqueza y el nivel medio de vida del conjunto.

Este tema, -que como he dicho antes, se sale de los límites de la cuestión básica que estoy tratando para entrar en campo mucho más amplio,- tiene un interés primordial en muchas técnicas y en especial en la construcción, y es una cuestión que naturalmente, han de sopesar, enjuiciar y dirigir los encargados de cuidar del bien público desde las máximas alturas. Pero, somos los técnicos los que hemos de poner a disposición de las jerarquías políticas, los medios para poder desarrollar esa política, y los ingenuos no debemos ol-



vidar que sobre este punto nuestra responsabilidad es grande.

Volviendo al problema técnico del hormigón pretensado, se observa que ofrece un nuevo avance de ventaja intrínseca del hormigón armado respecto a otros materiales de construcción. Un proyecto de hormigón armado es más pesado de estudiar que una estructura metálica, por el mayor número de variables que deja libre en manos del proyectista. El acero viene en perfiles de catálogo de los que no podemos salirnos; el hormigón armado deja libre no solamente las dimensiones de la pieza, en sus diferentes secciones, para ir variándolas de espesores, cantos, etc., sino que deja también libre, en cada punto, la armadura que hay que calcular; por consiguiente, - permite disponerla de modo que se obtenga la máxima economía, dosificando, como digo, en cada zona, la cantidad de armadura y orientándola según convenga con arreglo a los esfuerzos que haya de resistir en cada punto. Es lo que yo llamo un material "adecuo-resistente", con todas las ventajas técnicas que este concepto ofrece para el proyectista consciente de su deber de aquilatar al máximo la economía y la eficacia resistente de la estructura.

Pues bien, el hormigón pretensado permite no solamente ésto, con ciertas limitaciones que luego diré, sino que permite también alterar el estado inicial según nos convenga para que, al venir después el proceso de tensión y de deformación debida a la sobrecarga exterior, el resultado final sea el que más convenga; es decir, que introduzco, como una nueva variable, el estado de tensión inicial que ya no es un estado neutro como había sido hasta hoy forzosamente.

Pero, las deformaciones del hormigón, -no voy a on-



trar en su estudio porque vendrá a hacerlo en otras conferencias mi querido colaborador y compañero D. Alfredo Páez, especialista en estas materias-, van variando, con el tiempo, no elásticamente y, por consiguiente, introducen en el proyecto la variable - tiempo, verdadera novedad insospechada para cualquier proyectista de hace una veintena de años.

En el hormigón pretensado se vé, cual es su estado de tensión inicial y cual va a ser, más o menos, el estado de tensión bajo la sobrecarga de la estructura; e inclusive se ha ido dilucidando y afinando poco a poco cuales van a ser las variaciones de ese estado de tensión a lo largo de los años.

El establecer armaduras tensas a altas cargas sobre el propio hormigón, establece un problema fundamental para el hormigón pretensado; el de asegurar esta tensión, bien sea mediante la adherencia entre el alambre y el hormigón, bien por medio de anclajes.

La adherencia en el hormigón armado nunca ha sido tan buena como se figuran los que nunca se han preocupado de modirla; y casi puedo asegurar que en todos los países, excepto en España se ha considerado necesario sustituir los rodondos lisos por otros con pezonos o dentolladuras, que los especialistas en hormigón esperamos que algún día la industria metalúrgica se decida a suministrarnos; y también esto es tema que daría bastante que hablar. Pero, en el hormigón pretensado, aún con alambres relativamente delgados, se ha visto que la adherencia no es suficiente para asegurar la eficacia del conjunto y, desde luego, en cuanto los alambres pasan de 2,5 mm. y sobre todo si se llega a 5 mm, la necesidad del anclaje es fundamental.

No estaré demás señalar que, si bien en España segu -



mos empleando el hormigón armado con redondos lisos hechos casi con el deshecho de los aceros de laminación, se están fabricando al mismo tiempo aceros especiales para pretensado en alambre con protuberancias salomónicas de alta calidad y acertado invento, cuya patente se está vendiendo y - utilizando en países extranjeros; debe, pues, en nombre de la técnica del hormigón pretensado agradecer esta producción a los que la han obtenido, esperando, al mismo tiempo, que la utilización de alambres análogos se pueda generalizar en el país lo que permitirá un libre desarrollo del hormigón pretensado; punto al que hoy todavía no hemos llegado desgraciadamente, a mi modesto modo de ver.

A parte de ello y para las grandes obras de ingeniería son necesarios diámetros mayores y hoy día disponemos en España de aceros de 5 mm. de diámetro en condiciones de que los utilice cualquier técnico o empresa; pero, en este caso, no cabe duda que el anclaje es absolutamente necesario, y ésto ha sido uno de los problemas que más han retardado el desarrollo del hormigón pretensado.

Muchos son los sistemas de anclaje que se emplean ya en la industria, pero uno de los más conocidos y acreditados, por no decir el que más, es el cono de Freyssinet - que se ve en la proyección adjunta (1); este cono, unido a un gato especial, permite hacer la operación de tesoado y - anclado con facilidad y seguridad. El cono está hecho de mortero fuertemente zunchado; los alambres, que pasan por dentro del, se anclan mediante cuñas al gato que, por presión hidráulica, los pone en tracción apoyándolos contra una cuña que entra dentro del cono; un segundo ómbolo com -



primero la cuña una voz tosos los alambres y asegura por roza - miento la fijación de éstos.

Otro método, bolga, ideado por el Prof. Magnol se presenta en competencia con el anterior, y fundamentalmente consiste en una placa de asiento, como se ve en la proyección (1), con otras placas, "sandwich" que hacen el papel que atos hacia el cono, pero que aquí son metálicas y permiten tosar los alambres de dos en dos y asegurarlos con una cuña metálica que se introduce por percusión.

Ultimamente se están desarrollando también algunos sistemas de anclajes mediante romachado de la cabecera del alambre para asegurar su apoyo sobre la placas de asientos que llevan los oportunos taladros para dar paso al alambre. No puedo entretenerme ahora en el detalle de los mecanismos correspondientes de éste y otros muchos tipos de anclaje por falta de tiempo, y no hago más que señalar su existencia; pues tampoco tengo referencias personales directas que me hayan permitido formar una opinión concreta sobre sus ventajas e inconvenientes.

Resuelto, como se ve, el problema del tesoado y anclaje de las armaduras, quiero señalar otro punto que caracteriza en cierto modo la armadura del hormigón pretensado, y es su relativa rectilineidad; es decir que este género de armadura no permite las curvas cerradas normales en el hormigón armado; para que la armadura quede bien tesa es necesario colocarla perfectamente recta, o con gran radio de curvatura para que el rozamiento con las paredes del agujero, por el que desliza, no disminuya excesivamente la tensión que se da por la punta a cada alambre.



Dcbiera haber dicho antes que, en realidad, dentro de la palabra corriente de hormigón pretensado se incluyen dos tipos diferentes: uno es el hormigón pretensado propiamente dicho, en el que la armadura se tesa contra el encofrado u otros elementos exteriores, para verter el hormigón a su alrededor cuando ya la armadura está en su completa tensión; este proceso se diferencia del correspondiente al hormigón postensado que es aquel en que la pieza de hormigón se fabrica previamente con los taladros o alveoles oportunos para enhebrar por ellos, después la armadura y hacer el tesado contra el propio hormigón de la pieza después de haber endurecido ésta y haber tomado en gran parte su retracción.

El proceso de construcción es diferente y por consiguiente, sus posibilidades y campos de aplicación son también distintos. El cálculo es prácticamente el mismo; por lo menos, sus bases lo son; y la costumbre ha hecho que la designación general de hormigón pretensado se utilice tanto para el pre como para el post-tensado.

Para seguir enumerando las características específicas que presenta el hormigón pretensado, he de señalar, -aunque ya lo toqué antes- el hecho de que, encontrándose sometida la armadura a una tensión muy alta y por tanto a un alargamiento muy grande, -inicialmente de bastantes milímetros por metro- resulta que su tensión viene muy poco alterada por las nuevas deformaciones que toma la armadura al acompañar al hormigón en su retracción, o en sus deformaciones lentas, que son relativamente pequeñas; y todavía lo son más las deformaciones elásticas que toma por efecto de la sobrecarga.



Al pasar el hormigón de un estado de compresión normal a uno de compresión nula, por efecto de la carga exterior, sus deformaciones son del orden de un tercio de milímetro por metro solamente, mientras que las iniciales de la armadura, como he dicho, son corrientemente de diez o quince veces éstas. Por consiguiente, haya carga o no haya carga y sea ésta un poco mayor o menor, su influencia en la tensión de trabajo de la armadura es muy pequeña y mientras no sobrevenga la rotura del hormigón; y como, además, la tensión en la armadura es la suma de dos términos, —la inicial y la producida por la sobrecarga—, resulta que el concepto clásico del coeficiente de seguridad, que ya viene fallando y discutiéndose en el hormigón armado a causa de su comportamiento no puramente elástico, falla totalmente en el hormigón pretensado. Es necesario considerar el coeficiente de seguridad sobre las cargas exteriores en contraposición con el sistema clásico de aplicársele a las tensiones; el Sr. Paéz creo que aclarará oportunamente y detallará mejor estos conceptos que, aunque muy importantes, hacen poco a la cuestión fundamental de mi charla que quisiera fuera sobre las razones de ser del hormigón pretensado y sobre sus campos específicos de aplicación.

Otra cosa interesante es que el hormigón pretensado tiene que resistir, no solamente las cargas finales, sino también los estados de tensión inicial producidos por el propio pretensado, y el proyectista ha de tener en cuenta este punto fundamental que influye decisivamente en el dimensionamiento de la obra y hasta en su proceso de construcción. No puedo ahora entrar en el detalle, pero, ya sabeis que ésto hace, por ejemplo, que las viguetas de edificación pretensadas lleven frecuentemente la cabeza por abajo en vez de por arriba; todo ello



obliga al proyectista a despojarse totalmente de los criterios clásicos de dimensionado y, a veces, buscando cómo poner la - cabeza de la viga acaba por darle vueltas la propia.

Por último, el hormigón pretensado, al evitar las tracciones y la fisuración del hormigón, le da un comportamiento más elástico, —en la Argentina se le llama hormigón elástico—; permite piezas más flexibles con menos deformaciones permanentes y le hace mucho más apto, si tiene buenos anclajes y bien distribuidos, para soportar cargas vibrantes, intermitentes o alternativas como es el caso, por ejemplo, de cimentaciones de ciertas grandes máquinas, bajo cuya acción el hormigón armado se fatiga rápidamente.

Ahora bien; con estas premisas, ¿cómo determinar cuales son los campos de aplicación que convienen a este nuevo material?. Es decir; cuál puede ser el "habitat" propicio del hormigón pre o post-tensado?. Porque, cada material tiene el suyo y lo primero y fundamental que ha de pensar y decidir un técnico constructor, antes de proyectar una obra, es cuál va a ser el material que más le convenga. Para esto es necesario comentar las características del material, tanto en su proceso constructivo, como en su comportamiento posterior.

Es evidente que la ventaja económica del hormigón pretensado sobre el hormigón armado, será tanto mayor cuanto menor sea el precio de la armadura por tonelada de resistencia. Si cuesta tres veces más por kilo de material, pero su tensión de trabajo se puede elevar a nueve veces, resultará en definitiva tres veces más económico. Pero si la forma de trabajo es la misma es sólo el peso de la armadura lo que determina el coste total.



Lo primero que ve el constructor en el hormigón pretensado, es una complicación y una mayor cantidad de trabajo delicado. Por eso se desarrolla menos allí donde la mano de obra es muy cara y parece que en España la situación debía ser favorable. El que se haya desarrollado aquí tan poco pue de ser debido a defectos de organización político técnica; però puede ser también que el pretenso necesite más del técnico de la obra; y en el extranjero, tanto en Europa como en América, hay muchos más ingenieros, sub-ingenieros, ayudantes, peritos, o como quiera llamárseles (pues la palabra ingeniero no tiene ni con mucho la misma acepción en España que en el extranjero). Hacen falta, como digo, más técnicos o más horas de técnico en obra pretensada que en una de hormigón armado, igual que en ésta hacen falta más horas que en una de hormigón en masas; y en España falta este tipo de técnicos y rara vez se encuentra el ingeniero con afición suficiente para vivir entre los obreros durante la construcción de la obra sin exigir un sacrificio económico demasiado fuerte.

El problema es muy complejo, y sólo quiero señalar, antes de pasar a otra cuestión, que aquí se considera absurdo que, en la construcción de una presa corriente, pueda haber tantos técnicos de esos, como obreros, pero es el caso que así es como en el extranjero es hoy económico el construir.

También en éste como en otros temas dejo la meditación a vuestra cuenta.

El hormigón pretensado, más que el post-tensado, requiere un herramiental costoso, encofrados muy resistentes, mecanismos etc.; con ello se explica que el pretensado se haya desarrollado casi exclusivamente en el taller de prefabricación donde es fácil obtener económicamente grandes series -



de piezas pequeñas que permiten amortizar la instalación.

Es natural que, dentro de este grupo, se desarrollen - más las piezas longitudinales o las que pueden fabricarse en - longitud, unas a continuación de otras, porque de ese modo se - puede utilizar una misma maniobra de tesado para la armadura de todas ellas; y hay fábricas, de este tipo, con más de cien metros de longitud precisamente para poder estirar alambres de este largo de un golpe, los cuales se cortan después con tenaza o soplete quedando independientes unas piezas de otras. El taller permite, con más economía que el tajo de la obra, la obtención de hormigones muy uniformes, muy cuidados, y por tanto de alta resistencia, a los cuales se puede aplicar tratamientos térmicos que favorezcan un endurecimiento rápido, lo que representa una intensificación de la producción con una disminución del coste de amortización del material auxiliar; en consecuencia, este material auxiliar puede ser mucho más completo y eficaz.

Así tenemos en todos los países, incluso en España, fábricas de viguetas pretensadas, y no sé si tenemos aquí, pero existen, por ahí fuera, grandes fábricas de traviesas de hormigón pretensado; y se empieza también la de postes de líneas eléctricas.

El hormigón pretensado, hecho en taller, permite, gracias a todas estas cosas, -disminución del diámetro de las armaduras, mejor calidad del hormigón etc- hacer piezas más ligeras y -más esbeltas. Hoy que la necesidad de construir nuevas líneas eléctricas, junto con la escasez de hierro, ha hecho pensar hasta en la solución de construirlas de madera, debiera pensarse que el hormigón pretensado podría aportar posibilidades sumamente interesantes para resolver este problema; pues, aunque la madera por su parte, está también en plena revolución de su técnica, no cabe du-



be duda que siempre ha de ofrecer desventajas para este tipo de elementos respecto a los materiales más duraderos, como parecen ser siempre el hormigón armado o pretensado. Creo que la cuestión de los postes de hormigón pretensado requiere todavía un estudio previo teórico experimental y de pre-industrialización, para su total puesta a punto; pero, me parece que no sería disparatado el intentarlo. España, como he dicho antes, tiene hoy día aceros de muy buena calidad y técnicos conocedores de la materia, y no tiene por qué quedarse atrás en esta evolución, dado que sus problemas de construcción son más acuciantes todavía que en otros países.

El que el taller permita la fabricación económica de hormigones de alta calidad, perfectamente dosificados, fabricados y curados con tratamientos térmicos, etc, ha enlazado la técnica del pretensado con la de estos hormigones de alta calidad y con la de la prefabricación. Pero, interesa aclarar que esta simbiosis del pretensado y la prefabricación no viene impuesta por exigencias teórico-tensionales ni económicas-resistentes de la propia pieza de hormigón pretensado.

Así se explica que sea posible producir económicamente tablas de pavimentos autorresistentes, tan elásticas como las de madera, y en las que el mismo material (terrazo) aparente, con toda su lujosa calidad y con un espesor mínimo (2,5 cm) sea el resistente entre viguetas bastante distanciadas y permita ahorrar totalmente el forjado, el relleno y el mortero de asiento del pavimento.

Creo que abunda demasiado la idea de que el hormigón pretensado requiere hormigones de alta calidad y permite esbelteces mayores que las del hormigón armado; hay que llamar la atención sobre este punto que requerirá en cada caso



un estudio especial, pues no siempre el hormigón de alta calidad tiene porqué ser, en tensado, más económico que otro de menor resistencia, especialmente si se trata de elementos post-tensados hormigonados "in situ".

Por otra parte, las piezas de hormigón pretensado, al proyectarse sin zonas de tracción, rebajan el brazo mecánico de la pieza sometida a flexión y por consiguiente, no dan elementos con cantes menores que el hormigón armado sino, en todo caso mayores a igualdad de resistencia del hormigón, y de tracción total en la armadura. Lo que pasa es que ésta disminuye de peso y de volumen, y quizá de coste, por el empleo de alambres de alta resistencia. Lo que sí ocurre es que, el hormigón pretensado permite facilitar ensamblajes de piezas para formar las vigas por trozos o gruesas rebanadas simplemente colocadas a tope y aseguradas después, en su contacto, por el post-tensado; entonces conviene que estos trozos sean de peso reducido para disminuir los elementos auxiliares de transporte y montaje en la obra; y es el proceso de construcción el que incita a mejorar la calidad de los hormigones para disminuir el peso de las piezas a manejar.

Como veremos después, con el hormigón armado sería imposible hacer una viga formada de bloques o trozos colocados unos a continuación de otros; en cambio con el postensado la compresión, que se ejerce sobre los planos de juntas simplemente rejuntadas con mortero, es suficiente para asegurar el monolito tanto a los efectos de las tensiones longitudinales como de las cortantes; y ésta es una de las grandes ventajas que ofrece el hormigón postensado en la construcción de vigas rectas, columnas y otros elementos.



El sistema de prefabricación permite, por otra parte, la supresión de los encofrados en obra y la mejor amortización de éstos en taller si las piezas son iguales, lo que puede representar una importante economía en el conjunto.

Como consecuencia de ello, se tiende a suprimir la cimbra ya que ésta no es necesaria para el hormigonado, y se sustituye económicamente por otros elementos de montaje, grúas vías de transporte de las piezas, polipastos, etc.

En muchos casos, la propia pieza de hormigón pretensado se utiliza como elemento autocimbrico, si se me permite el neologismo; es decir, que forma la cimbra y el encofrado para completar el hormigonado en la forma usual, de modo que la pieza pretensada, al quedar enlazada al conjunto - puede actuar después como armadura de ese conjunto.

Tal es, por ejemplo, el muro de muelle del Havre - (fig. 2), donde se colocaron viguetas pretensadas de pila a pila para hormigonar sobre ellas todo el macizo del muelle - que, de este modo, trabaja perfectamente a flexión, de soporte a soporte, con una armadura mínima.

En resumen; el hormigón postensado y el prefabricado, son dos técnicas diferentes que esencialmente no son necesarias la una a la otra, pero que se complementan y no suman sus ventajas sino que las multiplican; y de ello deriva, en gran parte, la forma típica de estas construcciones, tanto en su morfología como en su proceso de construcción.

Otro grupo de ventajas o de aseitudes para casos determinados, lo da la desaparición del peligro de fisuras inevitables en el hormigón armado. El problema tiene interés, - de un lado, para todos aquellos casos en que se requiera evi-



tar la fatiga rápida que se produce en el hormigón cuando se le obliga a pasar de tracción a compresión frecuentemente, - como puede suceder en puentes de ferrocarril o en otras es - tructuras, como cimentaciones de máquinas, etc.

La no fisuración es la única garantía de impermea-
bilidad de una estructura de hormigón; por consiguiente, un
campo indicadísimo, para la aplicación del hormigón pretensa-
do, es la de los depósitos, acueductos, tuberías, de agua a
presión, etc. En América se construyen corrientemente depósi-
tos de agua para abastecimiento, de pared cilíndrica verti-
cal; sobre su coronación, rueda una máquina que va colocando
el alambre ya tesado, sobre la pared, gracias a la tracción
que sufre el alambre al salir del propio aparato a través -
de una hilera de trefilado. La máquina, como se aprecia en --
las fig. 3 y 4, es sencilla y trabaja a buena velocidad.

El empalme de unos alambres con otros se hace me -
diante manguitos análogos a los de las líneas de cables de -
tranvías.

Como aplicación del postensado en acueductos se pue-
de citar el ejemplo español de Alloz donde hay construidos -
once tramos iguales de 40 m. de longitud. La impermeabilidad
de la pared ha quedado totalmente asegurada mediante un doble
tensado sencillo de ejecución, gracias a los siguientes dispo-
sitivos: cada elemento de 40 metros (fig. 5) está formado por
una viga de 20 con dos voladizos de 10 a cada lado, con obje-
to de que todos los momentos sean negativos. (Fig. 6) La sec-
ción es en forma de U (fig. 7) y sobre los bordes a cabozas
superiores corren unos cables tronzados anclados por sus ex-
tremos en el hormigón y destinados a formar la cabaza de trac-
ción de la viga y sus mónsulas. El postensado de estos cables



se hizo mediante un sencillo gato de camión que con un dispositivo de tijera abría cada pareja de cables entre dos collarines de sujeción con objeto de formar una especie de culebrina en los cables; (figs. 8 y 9) un simple ábaco marcaba la presión que había que alcanzar simultáneamente con la apertura del gato, momento en el cual se sabía que la tracción en el cable era la deseada.

La armadura transversal iba por la cara exterior de la sección, y unos sencillos redondos, que pasaban de cabeza a cabeza y llevaban un tensor de rosca, permitían hacer otro pretensado transversal con objeto de suprimir las tracciones, también en ese sentido, en toda la superficie interior del canal en contacto con el agua.

De este modo toda la pared quedaba en compresión longitudinal y transversalmente y, por consiguiente sin peligro - de fisuración ni de permeabilidad y la experiencia ha demostrado su eficacia (Figs. 10 y 11).

Análogamente puede operarse con éxito económico en la fabricación de tubos, con la ventaja de que si cualquier exceso imprevisto de presión o golpe de ariete produjera una tracción y, por consiguiente, una fisura accidental volvería a cerrarse bajo la acción del pretensado, siempre, naturalmente que el exceso dinámico de presión no fuese capaz de romper los alambres.

Otra ventaja del postensado que abre un diferente campo de aplicación es la posibilidad que ofrece de suprimir es - fuerzos secundarios en ciertas estructuras como, por ejemplo, - en el caso de cúpula de revolución. Ya en 1934 el aro de con- trarresto de la cúpula del Mercado de Algeciras (fig. 12) se -



hizo postesando las catorce barres que formaban el anillo, - (fig. 13) con lo cual se evitaron totalmente las flexiones secundarias que normalmente se producen en este género de cúpulas por efecto de la retracción y de la deformación clástica de la cúpula al entrar en carga bajo peso propio. (fig. - 14).

Más tarde, fui consultado para una cúpula análoga, pero elíptica, para la Iglesia de los Santos Félix y Régulo en Zúrich (fig. 15), en la que razones arquitectónicas obligaban a un rebajamiento sumamente grande que se consideraba podía resultar peligroso. Los ensayos hechos en modelo reducido, en nuestro Laboratorio Central, (figs. 16 y 17) acusaron efectivamente un claro peligro de pandeo; sin embargo la cúpula ha podido ser construida con éxito gracias al postesado del anillo interior que propuso para la misma y que se efectuó con gran sencillez de maniobra mediante sencillos tornillos radiales entre el aro de acero y el borde de la cúpula (figs. 18 y 19).

Quiero advertir, sin embargo, que no veo porqué el hormigón pretensado ha de desarrollarse más en estructuras ligeras y complejas que en grandes macizos o elementos de otro tipo. Todos conocemos los puentes pretensados franceses, bolgas, etc., que hacen difícilmente competencia a las soluciones clásicas de hormigón armado; pero en obras hidráulicas y portuarias sus ventajas pueden ser mucho más claras y contundentes; ya he citado antes el caso del muel de Havre; también conocéis la genial solución de Coyne en la prosa de Grands Chourfas (fig. 20); para su refuerzo no se encontraba solución hasta que se propuso la del postesado a través de pozos verticales prolongados por dentro de las capas de roca inferiores a



a la presa, con lo cual se aumentó la estabilidad de la misma, suprimiéndose toda posibilidad de fisuración y de entrada de agua por el paramento de aguas arriba.

Recientemente tuve ocasión de comprobar en el estudio de un recrercimiento de presa, las grandes ventajas que puede ofrecer también el postesado para coser los macizos de recrercido, como se ve en la fig. 21.

Y no es solamente en casos excepcionales, o particulares como éstos donde puede tener interés el postensado. La idea de Coyne puede resultar económica en presas de altura media gracias al ahorro de volumen de hormigón y de excavación que permite y por la seguridad que el cosido del terreno ofrece contra la subpresión a través de sus posibles estratos.

Posiblemente sería más útil el establecimiento del postensado en la presa de contrafuertes, donde toma importancia fundamental el esfuerzo cortante y donde, por consiguiente, el establecimiento de armaduras postesadas en la oportunua dirección, podría suprimir el peligro de rotura por efecto de este esfuerzo.

No conozco que se haya hecho ningún estudio sobre las posibles ventajas de aplicación del postesado a las presas bóveda con sección en desplome; pero, es indudable que la ventaja, que da al poder variar el estado de tensión previo, ha de permitir formas económicas diferentes de las actuales, en las que los peligros de fisuración y de apariación de tracciones limita altamente las posibilidades del proyectista.

Por otra parte, la prolongación de la armadura a -



través del terreno, en taladros de sondeo inyectados, ha de permitir también asegurar estas mismas condiciones de impermeabilidad y de mayor resistencia, en el caso de estratos, a través de los cuales haya peligro de que se produzcan los desastrosos efectos de la subpresión.

Todo ello no son más que ideas, pero ideas en las que los especialistas de obras hidráulicas han de encontrar campo propicio para sus estudios y realizaciones.

Igualmente puede tener cabida el hormigón pretensado en puertos; por ejemplo, en la construcción de cajones flotantes; permitirá aligerar los pesos y disminuir los calados, evitando el peligro que representa, en este tipo de estructuras, la fisuración.

Rocuerdo la idea que propugnaba Don Eduardo Castro, —que tanto sabía de puertos—, consistente en preparar dos talleres de fabricación de cajones flotantes, bien industrializados, en dos puertos, uno del Mediterráneo y otro del Atlántico, que —permitieran fabricar estos cajones normalizados para ser remolcados a los otros puertos, donde debidamente fondeados y rollos de hormigón pobre formarían los muros de atraque o los diques verticales de abrigo.

Es que el hormigón pretensado o postosado, si ha de ir unido a la prefabricación para obtener todas sus posibles ventajas, requiere una normalización de los elementos que se hayan de fabricar; y por consiguiente, el que pueda desarrollarse y puedan sacarse de él todas las ventajas que ofrece, depende en gran parte de las directivas que, desde las alturas, se dé a esta cuestión. Si los Organismos, encargados de las grandes construcciones en que se invierten cientos o miles de millones de pesetas, consideran que esta técnica interesa para la econo-



mía del país podrían facilitar enormemente su desarrollo y la obtención de todas sus ventajas normalizando sus construcciones con vistas al empleo del hormigón pre o postensado; de lo contrario se perderá gran parte de esas ventajas porque la economía privada de una obra concreta y cerrada no permitirá el total aprovechamiento de esas ventajas.

Por último, quiero señalar que el hormigón protensado pretendo haber encontrado otro amplio campo de aplicación de gran repercusión económica en la construcción de pistas de aeropuertos. Los trabajos realizados en Francia han demostrado que un protensado longitudinal y transversal permite dar a un revestimiento de 15 cm. de hormigón, la resistencia necesaria para soportar las enormes cargas estáticas y dinámicas que ha de sufrir bajo el peso de los modernos aviones; y que algunas condiciones de resistencia sólo pueden obtenerse, con el hormigón en masa actualmente empleado, con espesores enormemente mayores.

No conozco suficientemente esas investigaciones para haber formado una opinión personal sobre ellas; pero Freyssinot ha estudiado pistas en las que la compresión longitudinal en el hormigón se obtiene, no ya mediante armaduras pre o postensadas, sino mediante el establecimiento de estribos en los extremos de la pista sobre los cuales pueden actuar gatos hidráulicos, cuya presión se mantiene mediante depósitos de aire comprimido. La idea es atrovida, pero enormemente interesante. Los ingenieros constructores no estamos acostumbrados a entregar el régimen de trabajo normal de nuestras construcciones a un elemento mecánico; pero, si bien se mira, no hay razón ninguna para monosucrizar esta posibilidad que un ingeniero mecánico considera normal. Infinitamente más complejo es el com-



portamiento mecánico y termodinámico de un avión y, sin embargo, nos confiamos a él cada vez que embarcamos en uno de esos aparatos; no hay pues, razón ninguna para que no confiemos la resistencia de una pista a un depósito de aire comprimido en un aeropuerto; y tanto más cuanto que un fallo en el sistema no representaría más que una pérdida parcial de resistencia en la pista, durante unas horas, pero de ningún modo la inutilización de la misma.

Propone, en fin, el mismo autor establecer juntas deslizantes a 45º sesgadas en la pista y atravesadas por una armadura transversal que ocupa todo el ancho; gracias a ese conjunto, se logra que, al establecer la compresión longitudinal, se produzca automáticamente un pretensado transversal. - (Fig. 22).

No puedo ahora entretenerme en el detalle ni en sus especiales dificultades, y no hago más que citar la solución por lo revolucionaria que resulta.

En resumen; el hormigón pretensado es un material nuevo y ofrece ventajas específicas, sobre todo en unión con la prefabricación, pero también sin ella; un material nuevo que tiene unos campos de aplicación perfectamente definidos en los que sus ventajas son innegables; pero que no por eso desbanca al hormigón armado, que continuará siendo el material apropiado para otra porción de casos, como lo son en otros el acero, el ladrillo o la mampostería. Es el mismo fonómeno tantas veces repetido en la industria; los coches no han suprimido los carros, ni los aviones disminuido el número de automóviles; pero, ni el carro sirve para ir de prisa ni el coche para volar.



Los técnicos y, en especial los técnicos españoles, tienen, pues que aprovecharse de este material estudiando su comportamiento, comprendiendo sus ventajas e incluso sus inconvenientes y tratándolo con cariño y con respeto a la vez - porque, como decía muy bien Magnel hace poco, hemos de cuidar de que no se produzca un fracaso accidental que, por muy justificado que fuese, siempre representaría un retraso en el avance de esa técnica. Hay que estudiar no sólo sus ventajas sino sus peligros; hay que conocer muy a fondo el comportamiento - reológico del hormigón; y la investigación tiene todavía mucho que adelantar en este campo; pero, la Ciencia, lo mismo que la técnica, están suficientemente equipadas y preparadas para acometer el problema y prueba de ello son los éxitos que continuamente van obteniendo.

Es cierto que queda mucho por hacer; y recientemente en el Congreso de Gante se ha llegado a la conclusión de - que es necesario incrementar la investigación y establecer - una colaboración entre los laboratorios de los distintos países para poder aclarar puntos oscuros que dejan entrever nuevas perspectivas. La heterogeneidad de los resultados que ofrecen actualmente los investigadores y el enorme número de variables que entran en el problema, hacen imposible sacar to das las consecuencias como fuera de desear dando el enorme material experimental disponible. Pero ésto no debeis tomarlo - como una conclusión pesimista; el pesimista, en todo caso, soy yo siempre exigente y eclectico.

En estas cuestiones de investigación experimental, - por tanto, nada tiene de particular que mi opinión sea menos - cómoda que la de otros en la aplicación de los resultados parciales que actualmente tenemos. Pero, repito, que ésto en modo



alguno es tomar una postura derrotista; yo también he hecho modestamente algún postulado y pienso seguir haciéndolos si me llega la oportunidad; y creo que el momento es el propicio. Lo que creo es que quedan muchos problemas oscuros todavía por resolver y que hay que tener cuidado con ellos, sobre todo cuando se trate de grandes extrapolaciones. A mi juicio, es necesario, por ejemplo, que en la colaboración existente actualmente entre ingenieros, químicos, físicos, y matemáticos e industriales que se ocupan de la cuestión, entre también con mayor intensidad, el metalúrgico, porque el problema del acero y de sus deformaciones a muy largo plazo empieza a interesar y a tomar importancia al lado de las propias deformaciones y caídas de resistencia del hormigón. Igualmente ha de estudiarse el comportamiento de este material a temperaturas elevadas para casos de incendio.

El estudio teórico del coeficiente de seguridad y de las tensiones óptimas, desarrollado por el Sr. Páez recientemente, nos lleva a la conclusión de que para mantener en el hormigón pretensado el mismo coeficiente de seguridad eficaz que empleamos en otras construcciones, deberíamos establecer una tensión inicial en el acero, del orden del 90% de su tensión límite, tensión que luego baja por la distensión del propio acero y por las deformaciones del hormigón. Sin embargo los franceses no se han atrevido a trabajar hasta ahora más que con el 60 o 65%, y yo tampoco me atrevería a utilizar de momento más del 75. Por consiguiente, si queda otro 15 o 20% de economía previsible, la cifra no es despreciable, y puedo pagar muchas de las investigaciones que están por hacer. Lo que le pueda ocurrir al acero al cabo de 100 años me interesa desgraciadamente muy poco personalmente y quizás no tenga demasiada importancia en ciertas obras; pero si puedo tenerla en otras, y la extrapolación de ciertos en-



sayos que se hace a tan largo plazo no sé si está suficientemente justificada.

Tendremos pues, que prescindir de momento de ciertas economías que se entrevén sin abandonar el camino para alcanzarlas más adelante; pero, mientras tanto tendremos que aprovechar al máximo todo lo que la actual técnica nos ofrece, porque es obligación del técnico, hoy más que nunca, buscar la máxima economía de sus obras, dada la necesidad de una rápida rehabilitación y de un fuerte desarrollo industrial en el país. Si España ha de subir y recuperar el tiempo perdido, son los técnicos los que tienen que lograrlo en estos momentos utilizando todos los medios que la Ciencia y la Técnica les ofrecen; y sin olvidar que, muchas veces, es el ingeniero, como característica del ingeniero, el que debe ir por delante en la busca de las máximas ventajas económicas, porque en las obras lo corriente es que la economía principal no se obtenga con un afinamiento mayor o menor de las dimensiones, sino con un cambio total del proceso de construcción que es donde, en general, está el costo.

Ni qué decir tiene que se requiere como siempre y por encima de todo, una serena honestidad profesional para emplear el hormigón pretensado allí donde realmente ofrezca ventajas, cueste lo que cueste al proyectista y a su sentido de responsabilidad; y para no emplearla por simple lucimiento en aquellos casos en que no esté justificado o en los que las ventajas sean negativas. No se puede decir, tengo que construir un puente y como eso del hormigón pretensado está de moda voy a hacerlo con esa solución, sino que hay antes que ver, si efectivamente en un caso en que el hormigón pretensado, puedo ofrecer ventajas o no.



Como indiqué al principio, el hormigón pretensado tiene más variables que manejar en el proyecto y, por consiguiente, un cálculo más pesado, pero éste no debe ser un motivo para abandonar el camino. Evidentemente no puede exigirse que cada ingeniero se ponga al tanto de estas teorías, que estudie toda la complejidad del problema y que trate de resolverlo por su simple criterio; el resultado sería, si no falso, por lo menos no óptimo. Es necesario que nos distribuyamos el trabajo y que organicemos los servicios. El Instituto, consciente de ello, ha dedicado una especial atención, durante el año pasado, a este problema y en las próximas conferencias que sobre el tema dará el Sr. Pacz y en el libro que al mismo tiempo se ha publicado, el Instituto se ha esforzado, no sé si con éxito todavía, en dar al técnico los resultados de una investigación sobre el problema y de un estudio de la cuestión llevado hasta el final; es decir hasta dar los consejos y las fórmulas prácticas que, en este momento, consideramos las más oportunas, tanto para garantizar el resultado de la obra como para asegurar su economía dentro de la debida prudencia.

La cuestión va muy ligada a la del coeficiente de seguridad, y como dije antes, ya no pueden seguirse las reglas clásicas y se necesitan otras consideraciones y formas de cálculo para su establecimiento; pero todo eso está hecho, y hoy un proyecto de hormigón pretensado puede realizarse con poco más trabajo que el de un proyecto normal, aunque nunca pueda obtener sus máximas ventajas más que en manos de técnicos que se especialicen do lleno en estas cuestiones.

Creo que España padece de una falta de especialización; no ya escolar, pues, el obtener una gran cultura técnica



en las Escuelas nos da una ventaja que echan bien de menos -- otras naciones; pero si que nos falta la especialización postescolar inteligentemente orientada desde arriba con la mira puesta en el máximo aprovechamiento de nuestro caudal técnico. Solamente cuando se facilite esta especialización de los técnicos en las distintas ramas y se la sostenga mediante justas compensaciones económicas, podrá la Industria de la Construcción, con la oportuna colaboración de los diferentes especialistas, obtener las máximas ventajas en cualquier proyecto -- que siempre presenta facetas muy diferentes que han de ser miradas por distintos ojos.

No tengo tiempo ni autoridad para meterme en este tema. Solamente quiero señalar, y con ello termino, que los campos de aplicación y las ventajas que pueden tener los hormigones pre o postensados van estando claros y definidos para ser aprovechados.

No es, a mi modesto juicio, en puentes donde las ventajas pueden ser mayores, ni más generales -- bien que hay casos particulares de puentes que el hormigón pretensado puede resolver mejor que otro material--; es en obras hidráulicas y, en general, en todas aquellas que requieren suprimir los peligros de la fisuración frente al paso del agua y de la subpresión: depósitos, tuberías a presión, acueductos, presas, cajones flotantes, muros portuarios, etc.; en aquellos elementos en los que la prefabricación permite tipificar las operaciones: viguetas, traviesas, postes, e incluso vigas de puente prefabricadas por trozos; o, en fin, en las delicadas estructuras laminares o de otro tipo en las que la introducción de tensiones parásitas permita evitar esfuerzos secundarios perjudiciales; o todavía en aquellas otras en las que la pieza pretensada y prefabricada puede actuar sucesivamente de encofrado auto-resistente y de armadura de la estructura final.



No necesito decir que ésto no es más que una opinión mía y de hoy. Otros, con más conocimiento de causa, pueden opinar otra cosa y yo mismo espero poder cambiar de criterio pronto en algunos puntos. Lo necesario es que se hagan los estudios y se establezca la discusión razonada, desinteresada y objetiva para que de ella nazca la luz.

El pretensado pide la industrialización y ésta no es posible mientras no se la asegure un consumo estable y regular. En ciertos campos, como el de la edificación, este consumo se puede asegurar por las sencillas o complejas, leyes de la oferta y la demanda; pero, cuando el consumidor es prácticamente uno sólo, como sucede con las traviesas o con las grandes obras de ingeniería, es necesario que él asegure el consumo o que con su mayor potencialidad económica tome parte en las costosas investigaciones previas y las ayude en todos los órdenes, si no quiere renunciar a las ventajas que ello le puede ofrecer. No se puede pretender que el técnico especializado o el inventor trabaje y dé a conocer sus ideas si sabe que un criterio clásico exclusivista va a oponerse a su aplicación desde los organismos consultivos o dirimentes del único posible comprador. Ni es tampoco posible que lo haga si, como hoy sucede, no se le facilita la entrada aceptando proyectos en competencia a la hora de la adjudicación.

El hecho es que en España se producen aceros de calidad aceptable, tanto para el pre como para el postesado en buena competencia técnica y económica con el extranjero; y se está igualmente en condiciones de producir cementos especiales de alto módulo y escasa deformación lenta. El que nuestro país pueda obtener rápidamente las ventajas que estos nuevos materiales ofrecen, dependerá en gran parte, de la orientación que



marquen los poderes públicos en muchas cuestiones como son, por ejemplo, la autorización que se dé para que las fábricas de cemento puedan producir y vender a los oportunos precios los cementos antedichos; las medidas que tome para proporcionar a los aceros una normalidad de consumo exigiéndoles, al mismo tiempo, una producción que asegure la efectiva libertad de compra sin retardatarias coacciones por parte de nadie; y, en fin, el conjunto de medidas que convenga tomar para que los industriales y constructores puedan organizar o el Estado mismo organice, en relación con ellos, la industrialización de elementos normalizados, como algunos que he comentado anteriormente, dando, con ello, suficientes probabilidades de continuidad en los encargos para poder prever una económica amortización de los capitales necesarios para el establecimiento de esa industria, porque solamente normalizando es como pueden obtenerse todas las ventas que la tal técnica industrial ofrece.

Por último, no puedo silenciar que es muy difícil, - sino imposible, que, en países de economía limitada como el nuestro, la industria privada pueda por sí sola, llevar a cabo toda la labor de investigación que se requiere. Ciertas investigaciones son a muy largo plazo; pero, aparte de ello, hay que tener en cuenta que no basta una investigación de laboratorio; es necesario completar ésta con la experimentación de la propia obra. Si Francia ha sido capaz de hacer lo que ha hecho en este campo es en gran parte debido a que el Estado consideró el problema suficientemente interesante; -a pesar de la oposición y el derrotismo de muchos técnicos e industriales-, para encargar obras de hormigón pretensado con presupuestos más altos que los de la técnica normal, con la mira puesta en las ulteriores ventajas que los técnicos preveían sin poderlas asegurar todavía. El éxito ha coronado la empresa y hoy va recogiendo el país los beneficios que se esperaban.



No cabe tampoco pensar en que será más práctico — aprovecharse de esos sacrificios hechos por otro país. Si no queremos que la factura sea demasiado alta o que los beneficios lleguen demasiado tarde, no tenemos más remedio — que enrolarnos también nosotros en la lucha. Técnicos no nos faltan; lo que falta es el apoyo, —no sólo económico sino también el moral es necesario—, la organización, la voluntad y la fe necesarias, el espíritu de colaboración y el aprecio de la especialización. Y si bien es cierto que en ello ha de colaborar la industria, no lo es menos que el Estado ha de impulsarla y dirigirla, al menos, en sus primeros estadios de desarrollo.

Naturalmente, todo esto no es cuestión que nos to que resolver a nosotros los puramente técnicos, porque el problema envuelve facetas políticas, sociales, económicas y de todos los órdenes; y es, por consiguiente, a Organismos de más elevada categoría, a quines corresponde darnos las directivas para que todas esas ventajas puedan traducirse en beneficio nacional; pero, a nosotros nos incumbe planear el problema y aportar los datos necesarios para su eficaz encauzamiento.

* * *



- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

457 - 0 - 5 "EVOLUCION DE LA IDEA DEL PRETENSADO EN LAS CONSTRUCCIONES Y CONSECUENCIAS DE SU UTILIZACION SISTEMATICA"

(Evolution du rôle des précontraintes dans les constructions et conséquences de leur utilisation systématique)

"TRAVAUX" Agosto 1949

AUTOR: Conferencia de M. Eugène Freyssinet

S I N O P S I S

En este artículo se resume una conferencia pronunciada por M. Freyssinet, en la que se expone la evolución de la idea del pretensado, sus características y ventajas fundamentales y sus diferencias más importantes en relación con los otros materiales constructivos. Finalmente, se hacen algunas consideraciones sobre el nuevo concepto de la seguridad que es necesario adoptar en este tipo de estructuras.

Toda estructura, durante su periodo de servicio, pasa por distintos estados de tensión y no puede perdurar más que si, en todos estos estados y en cualquier punto, los esfuerzos se mantienen dentro de ciertos límites.

En cualquier momento, la tensión que solicita a la estructura es el resultado de la tensión inicial, arbitraria y de la producida por las sobrecargas perfectamente definida.

Un buen técnico del pretensado, al proyectar una estructura intentará crear el estado inicial de cargas que -



haga que, posteriormente, en cada sección, la diferencia entre la tensión máxima de trabajo y la admisible, sea la mayor posible.

En definitiva, puede afirmarse que la idea del pretensado entraña, no una técnica especial caracterizada por el empleo de determinados procedimientos, sino una nueva manera de concebir y proyectar las estructuras.

Hasta ahora, el pretensado se ha aplicado principalmente al hormigón, por medio del tesado de sus armaduras.

Si se considera un conjunto de bloques, se observa que, cualquiera que sea la forma en que estén agrupados, si se les supone desprovistos de peso propio, se desmoronaran con solo aplicarles una carga elemental, un simple soplo. Esto indica que el mismo peso de los bloques, confiere una cierta estabilidad al conjunto, la cual desaparece en el momento en que se anulan los esfuerzos internos originados por su peso. Por otra parte, puede comprobarse que, en la Naturaleza, solo existen dos procedimientos para conseguir la unión entre las diferentes partes de un conjunto: la cohesión y las tensiones provias.

Como quiera que el pretensado no es más que un método para crear tensiones provias, parece absurdo hablar de la invención del hormigón pretensado ya que lo único que se ha hecho ha sido sistematizar el aprovechamiento de dichas tensiones con el auxilio de técnicas más o menos modernas.

Las construcciones tradicionales, en definitiva, no son otra cosa que un conjunto de piezas monolíticas asociadas mediante las tensiones creadas por su propio peso que aseguran la solidor de la construcción. Mientras solo se empleó la piedra, las luces entre apoyos tuvieron que ser pequeñas. Posterior



mente, se consiguió ampliar la luz utilizando las propiedades de los arcos y bóvedas cuya forma viene determinada por el funicular de cargas. Estos primeros sistemas, obligaban a una limitación en las formas arquitectónicas que sólo pudo ser eliminada con la invención de las estructuras metálicas en las cuales la continuidad y la resistencia se deben a la cohesión y no a las tensiones previas creadas por su peso. Con este nuevo material las formas y luces entre apoyos pudieron variar se y ampliarse sin más limitación que la impuesta por las propias características resistentes de los metales empleados.

Sin embargo, las estructuras metálicas presentan numerosos inconvenientes como son: su costo elevado, su pequeña resistencia a la corrosión y el gran consumo de carbón necesario para su fabricación, lo que constituye un perjuicio teniendo en cuenta la limitación de las reservas mundiales que de este combustible existen actualmente. Por todo ello, su empleo ha quedado reducido a ciertos casos particulares habiendo sido sustituido por el hormigón armado.

Pero en éste ocurrió que, al introducir en las masas de hormigón las barras de acero, éstas, inicialmente, y por efecto de la retracción de fraguado, se ven sometidas a un fuerzo de compresión que luego, al ser cargada la pieza, se convierte en otro de tracción que da lugar a su alargamiento. Como las deformaciones admisibles en el acero, son diez veces superiores a las del hormigón, cuando éste alcanza su deformación de rotura, las características resistentes de la armadura no han sido, ni con mucho, totalmente aprovechadas.

Para evitar este inconveniente, se trató desde 1903, y especialmente en Francia y Alemania, de encontrar la forma de dar a la armadura un alargamiento previo que compensase en



parte la citada discordancia. Charles Rabut, fué el primero en aplicar esta idea en sus célebres voladizos de la calle de Roma, construidos en 1903; Consideré repitió la experiencia en 1905, en el arco atirantado de Ivry dando a los aceros una tensión previa de 15 kg/mm^2 . El propio conferenciante hizo numerosas aplicaciones de este principio en tirantes para hangares en los que la tensión inicial llegaba a los 35 kg/mm^2 . Debe hacerse constar que tales realizaciones no tienen relación alguna con la idea del pretensado del hormigón.

Cronológicamente, la primer tentativa de imponer una compresión previa al hormigón, se debe al alemán Koenen. (1907). En sus experimentos, obtuvo éxito al aplicar las primeras cargas, pero para las cargas posteriores el resultado fué totalmente adverso, por lo que admitió que no era posible mejorar el hormigón armado por el tesado de las armaduras.

Numerosos técnicos, después de Koenen, repitieron el intento, pero todos fracasaron porque para lograr un pretensado efectivo del hormigón es indispensable coordinar con precisión una serie de elementos tales como cargas, dimensiones, formas, calidades del hormigón y de los aceros, etc., y tener en cuenta las deformaciones lentas de ambos materiales. Pero dicha coordinación es imposible sin una idea directriz precisa y una visión clara de los objetivos a lograr, circunstancias que no se daban en Koenen y sus sucesores, como se desprende del estudio de sus patentes.

La definición del pretensado útil del hormigón, no es ni difícil ni complicada. Basta decir que este pretensado será aquél que haga que las tensiones locales de la estructura, bajo cualquier condición de cargas, se mantengan, tanto en compresión como en tracción, por debajo de los valores que pueden ser inde-



finidamente soportados por el material, sin rotura ni deslizamiento.

El propio conferenciante, inicialmente, tenía la idea de que era muy sencillo conseguir un pretensado eficaz, y que todo dependía de saber elegir los dispositivos mecánicos adecuados. Hasta que tener en cuenta que en aquella época se admitía como dogma la constancia del módulo de elasticidad del hormigón y no se sospechaba la enorme influencia de la retracción y de las deformaciones lentas. En 1908 pudo obtener ya un hormigón pretensado a 180 kg/cm² empleando aceros duros y una técnica de teñido que todavía ahora se emplea con frecuencia en Bélgica. Al acabar la guerra del 14 el conferenciante fue encargado de realizar numerosas obras de reconstrucción en el Norte de Francia y fue entonces, y después de numerosos ensayos, cuando llegó a adquirir una idea clara y cierta de esta nueva técnica. Esto ocurrió en 1928.

Las diferencias entre las construcciones de hormigón armado y las de hormigón pretensado, son evidentes. Una construcción ordinaria cualquiera está perfectamente definida desde el punto de vista resistente, cuando para todas sus secciones se conoce el área, el canto, el momento de inercia y el centro de gravedad; es decir, cuatro parámetros.

En el pretensado, a estos parámetros hay que añadir, la intensidad y dirección de la resultante del esfuerzo de pretensado, y la distancia del punto de aplicación de esta resultante al centro de gravedad de la sección, lo que supone tres nuevos parámetros arbitrarios a manejar por el proyectista. El hormigón armado ordinario puede considerarse como un caso particular del pretensado en el que son nulas las resultantes de las tensiones de pretensado. La introducción de estas nuevas



variables tiene importantes consecuencias. Una de las principales es que la resistencia de una sección dada, depende de la forma en que, a lo largo del tiempo, varien las cargas que la soliciten.

Un poste de madera, por ejemplo, sometido a esfuerzos en una o en varias direcciones, se rompe siempre para un mismo valor límite de carga. Por el contrario, la resistencia de un poste pretensado, puede variar entre R y KR (siendo $K > 1$) según que el poste haya de quedar sometido, a una carga cuyo sentido no puede conocerse de antemano o a una carga determinada en magnitud y dirección.

Si se toma una pieza construida con un hormigón cuya resistencia a compresión es R , y se la somete inicialmente a un esfuerzo de precompresión igual al 50% de R , es evidente que su posterior capacidad resistente a esta clase de esfuerzos será - solo la mitad de la de una pieza análoga de hormigón armado ordinario.

Por consiguiente, si se desconoce "a priori" el sentido de las solicitudes que han de actuar sobre la pieza, al no poder contar más que con una resistencia igual 50% de R , resultará perjudicial construirla en hormigón pretensado.

Si las cargas a que han de quedar sometidas las piezas son variables en magnitud pero de sentido constante, este inconveniente desaparece y el valor de K se hace máximo cuando las cargas son siempre de la misma magnitud y signo.

Como consecuencia de estos hechos, y según destaca M. Guyon en una de sus publicaciones, el peso propio de una viga - pretensada no tiene influencia alguna en su capacidad resistente ante las sobrecargas posteriores, es decir que con vigas del mis-



mo canto, se podrá siempre soportar la misma sobrecarga, aún cuando estén sometidas a cargas permanentes diferentes; para ello bastará con variar la posición del punto de aplicación de la resultante de los esfuerzos de pretensado.

Esto constituye una propiedad muy interesante de las vigas pretensadas que las permite en muchos casos, competir incluso con ventaja, con las vigas metálicas, especialmente si se trata de grandes luces y fuertes cargas permanentes.

Otra característica fundamental del hormigón pretensado es la de permitir la construcción de estructuras mediante la asociación de bloques de volumen limitado, fáciles de fabricar en taller con condiciones muy superiores a las que podrían alcanzar si se obtuviesen en obra. Su posterior enlace para construir un todo monolítico único, no supone gasto adicional alguno ya que se consigue por la simple aplicación del pretensado.

En alguna publicación se ha afirmado que el hormigón pretensado no es apto para la construcción de estructuras hiperestáticas, pero ello no es cierto. Unicamente ocurre que, en tal clase de estructuras, hay que tener en cuenta también las nuevas reacciones a que dará lugar la aplicación del esfuerzo de pretensado, lo que complica en cierto grado los cálculos y hace necesario la introducción de algunos tésados especiales que pueden resultar incómodos. Pero puede afirmarse que, en general, las ventajas del hiperestatismo compensan ampliamente tales inconvenientes.

La técnica del pretensado, ha dado lugar a una modificación fundamental en el concepto del coeficiente de seguridad que debe ser aplicado al proyecto de una estructura. Esto



coeficiente, en realidad, debe crear un margen para compensar la probabilidad de que se produzcan errores de cálculo, deficiencias en el replanteo, defectos en el material o diferencia entre las cargas previstas y las que realmente actuarán sobre la estructura durante su período de servicio.

Hasta ahora, el coeficiente de seguridad era frecuente definirlo por la relación entre la tensión máxima que el material era capaz de soportar y la que se admitía como tensión de trabajo en obra. En tal hipótesis se identificaban las propiedades del material colocado en obra con las de las probetas ensayadas, hecho que la práctica ha desmentido en diversas ocasiones. Esto ha dado lugar a numerosos accidentes.

Actualmente se tiende a establecer el coeficiente de seguridad sobre las solicitudes en lugar de sobre las tensiones.

Teniendo en cuenta que las zonas comprimidas de una pieza están constituidas generalmente sólo por hormigón y que el precio de este material es infinitamente inferior al del acero, se comprende que donde en realidad interesa afinar es en la fijación del coeficiente de seguridad, es en las zonas extendidas. De ahí la importancia de un detenido estudio del comportamiento de los elementos de una estructura sometidos a tracción.

En el hormigón pretensado, hay que tener en cuenta que la tensión inicial dada a la armadura, es superior a la que posteriormente ha de actuar sobre ella, ya que dicha tensión va disminuyendo con el tiempo a consecuencia de las deformaciones lentas del hormigón y del acero y de la acción producida por las cargas permanentes.

Por su parte, el hormigón, precisamente cuando es más joven, se encontrará sometido a una compresión que irá disminuyendo



do con el tiempo y a medida que la carga va progresivamente aumentando, hasta llegar a un valor cero, en cuyo momento la tracción que en la zona extendida de la pieza originan las cargas exteriores, se encuentra exactamente compensada por la resultante de los esfuerzos de pretensado, y el hormigón de dicha zona extendida, totalmente descargado. Esta resultante se puede conocer con mucha mayor aproximación que la resistencia a tracción de una armadura en el hormigón ordinario, ya que tanto el límite elástico de los alambres, como la magnitud del esfuerzo de pretensado pueden determinarse con la precisión necesaria. Claro que no hay que olvidar que las deformaciones lentes originan caídas de tensión no conocidas con exactitud. Pero estas pérdidas, en general, son de poca importancia, por las razones siguientes:

En primer lugar, en la actualidad se puede reducir la fluencia, prácticamente tanto como se quiera, empleando aceros de elevado límite elástico, hormigones de gran rigidez y realizando los tesados en sucesivas etapas.

En segundo lugar las pérdidas de tensión son solo una fracción pequeña del valor de las deformaciones lentes que a su vez son tanto menores cuanto más elevados son los límites elásticos de los aceros empleados y mejor la calidad del hormigón.

Finalmente, los modernos métodos electro-acústicos, de muy sencilla aplicación, permiten medir "in situ", en cualquier momento, y con exactitud, las tensiones de la armadura.

De esta forma, conocidas las deformaciones lentes, en vez de representar un peligro para las construcciones constituyen una garantía especial de seguridad para las estructuras pretensadas.



A partir del instante en que la tracción de la zona extendida de la pieza se encuentra exactamente compensada por la resultante de los esfuerzos de pretensado, un nuevo aumento de las solicitudes exteriores, hará que el hormigón trabaje a tracción, como si se tratase de una viga deficientemente armada, hasta que sobrepassado el límite de su resistencia a tal esfuerzo, empezaran a aparecer grietas. Si la carga vuelve a quedar por debajo de dicho límite, las grietas se cerrarán y la pieza actuará nuevamente como pretensada. Por todo ello, esta carga límite, puede considerarse como una carga de advertencia, pues es inferior a la de rotura, la rotura sólo se producirá cuando se haya alcanzado la carga máxima admisible de la armadura.

En consecuencia, un error respecto a la valoración de las deformaciones lentas, no producirá otro efecto que una disminución de la carga de advertencia. Nunca puede originar reducción en la carga de rotura. Y, por otra parte, la existencia de esta carga de advertencia hace imposible la rotura inesperada de un elemento pretensado.

A continuación, el conferenciente comentó algunas obras realizadas con hormigón pretensado y terminó manifestando que parece que los metalúrgicos no se dan exacta cuenta del interés que para ellos ofrece la nueva técnica del pretensado, que multiplica el valor económico del acero en un 30 ó 50%. Esta es, en efecto, la diferencia que existe entre el precio de los aceros ordinarios empleados en el hormigón armado y los especiales de alto límite elástico destinados al pretensado. Y si, por una parte, esta técnica permite reducir la cuantía de las armaduras, en cambio crea nuevos campos de aplicación en presas, pistas de aterrizaje, etc.

El hormigón pretensado, exige aceros exentos de escisión de fluencia, bien calibrados, con un límite de elasticidad -



tana elevado como sea posible, y en alambres de la mayor longitud y diámetros que pueden ser de 5,7 ó 10 mm. Su transporte debe realizarse enrollándolos según un diámetro que debe ser 250 veces mayor que el de los hilos, para que al desenrollarlos quedan rectos. En los países en que, como ocurre en Bélgica, se ha conseguido normalizar su suministro en estas condiciones, se ha logrado alcanzar un amplio desarrollo de esta nueva técnica.

* * *



457 - 0 - 6 CONCLUSIONES DEL CONGRESO INTERNACIONAL DEL HORMI

GON PRETENSADO CELEBRADO EN GANTE

Durante el pasado mes de Septiembre de 1951, se ha reunido en la Ciudad de Gante (Bélgica) un Congreso Internacional del Hormigón Pretensado. En la sesión de clausura de dicho Congreso, fueron aprobadas las conclusiones que a continuación se transcriben:

- I^a. - Se encarece a los laboratorios dedicados a la realización de ensayos sobre hormigones que, en sus trabajos, presten especial atención a los extremos siguientes:
- a).- Efecto de los esfuerzos repetidos y alternativos
 - b).- Acción de las variaciones de temperatura y del estado higrométrico del medio ambiente.
 - c).- Deformación del hormigón sometido a esfuerzo constante.
 - d).- Deformaciones elásticas, plásticas y viscosas del hormigón.

Se estima que el progreso en el conocimiento del comportamiento físico del hormigón, ha de ser más rápido circunscribiéndose a estudiar la evolución experimentada por probetas individualizadas.

- II^a. - El Congreso solicita de los Centros de Investigación, emprendan el estudio de las leyes que regulan el agrietamiento de las placas pretensadas en dos direcciones ortogonales.



IIIº. - Se ruega a M. Freyssinet, tenga a bien encargarse de la coordinación de los diversos programas de estudio y reunir los resultados de las experiencias realizadas en el curso de estos trabajos, para su necesaria sistematización.

Con el fin de evitar, en cuanto sea posible, que el progreso de la técnica del hormigón pretensado, se vea impedido o dificultado por la existencia de reglamentaciones demasiado rígidas, el Congreso recomienda que las instrucciones provisionales que sobre el empleo del hormigón pretensado se dicten, posean la elasticidad suficiente para que, en cualquier momento, puedan los técnicos hacer que se admitan las modificaciones a dichas normas que aparezcan suficientemente justificadas como resultado de los sucesivos estudios científicos más recientes.

Finalmente, el Congreso aconseja que se estudie un sistema de notación internacional, que facilitaría la consulta de las memorias redactadas por los distintos centros de investigación.

Asimismo, en la citada reunión se leyó la siguiente:

DECLARACION DE M. FREYSSINET

Estimo interpretar el deseo de diversos congresistas, recordando que l'Association Scientifique de la Précontrainte, ha sido encargada de constituir una Federación Internacional de Asociaciones.

Hace seis meses, se ha celebrado ya una reunión



do estudio y, durante el próximo invorno, se convocará en París una nueva reunión que espero ha de ser la de constitución de dicha Federación.

Confío en que todas las Asociaciones nacionales y entre ellas la de Bélgica, cuyo Comité Provisional preside M. Magnel, enviarán delegados a la anunciada reunión.

* * *



INDICE DEL PROXIMO NUMERO

ESTRUCTURAS HIPERESTATICAS PRETENSADAS

- 1º. - El problema de las estructuras hiperestáticas. Por A. Páez.
- 2º. - Estudio teórico de las estructuras hiperestáticas de hormigón pretensado.- Por Y. Guyon.
- 3º.- El hiperestatismo en el hormigón pretensado. Por G. -- Magnel.



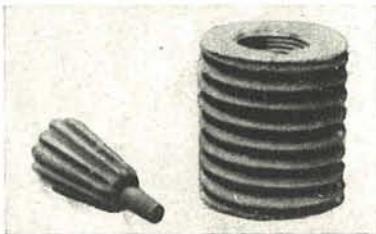


Fig. 1 a).

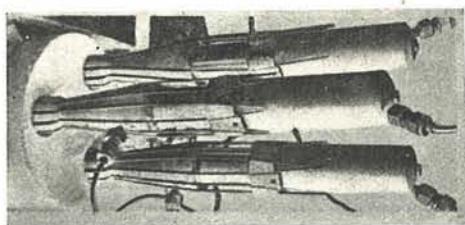


Fig. 1 b).

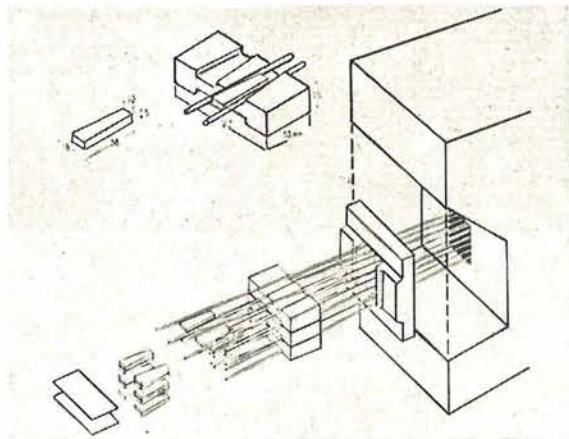


Fig. 1 c).

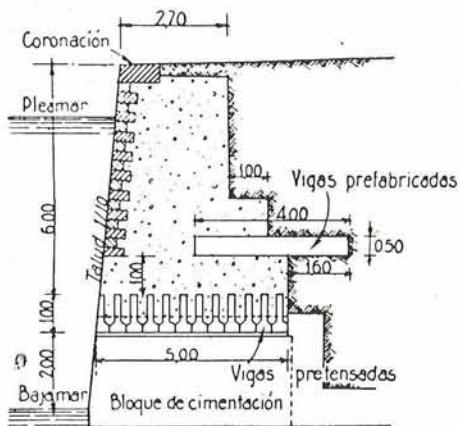


Fig. 2.

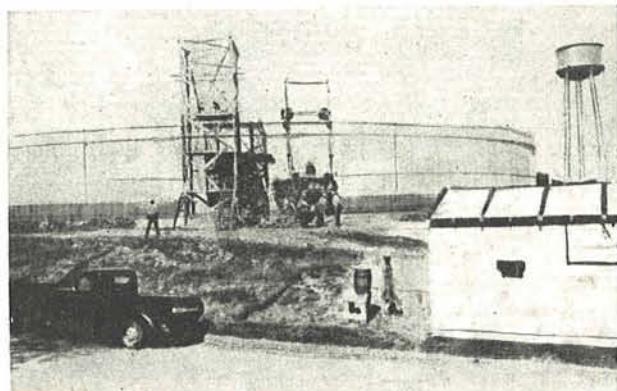


Fig. 3.

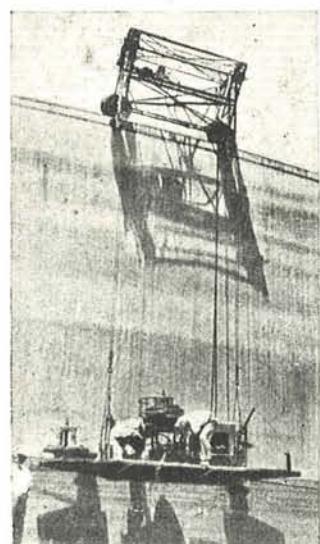


Fig. 4.

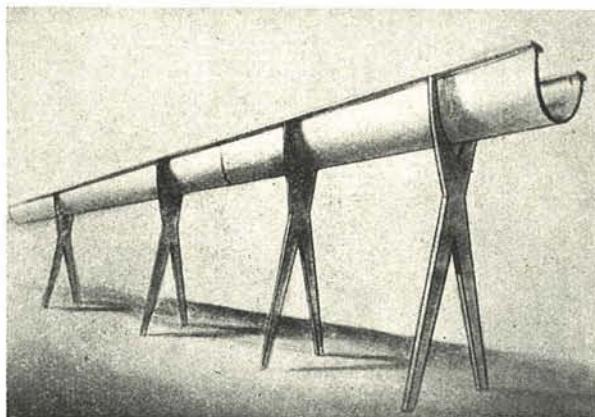


Fig. 5.

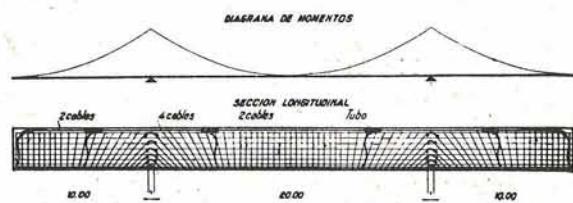
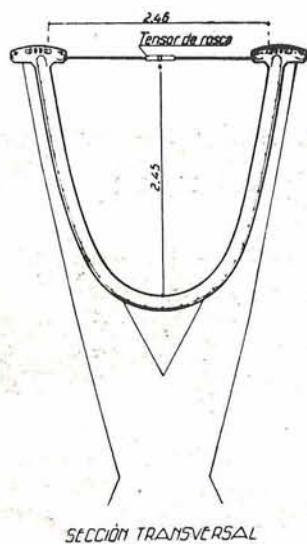


Fig. 6.



SECCIÓN TRANSVERSAL

Fig. 7.

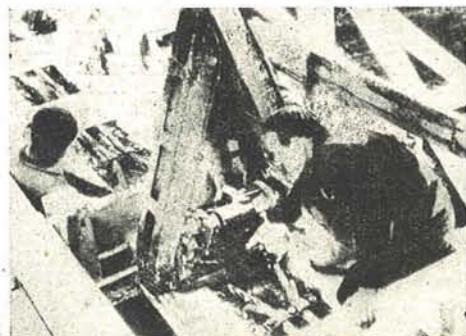


Fig. 8.

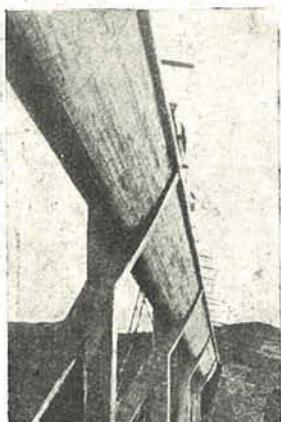


Fig. 9.

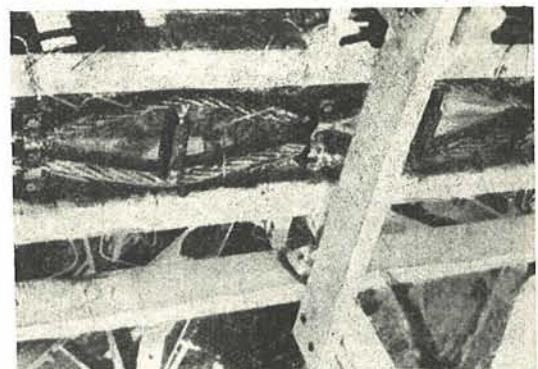


Fig. 10.

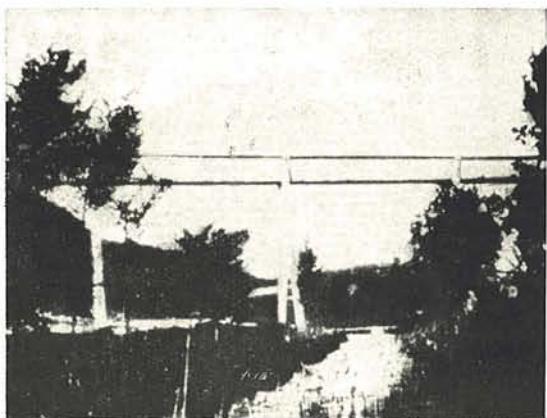


Fig. 11.

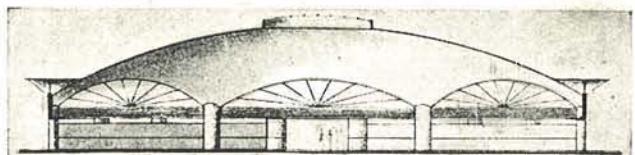


Fig. 12.

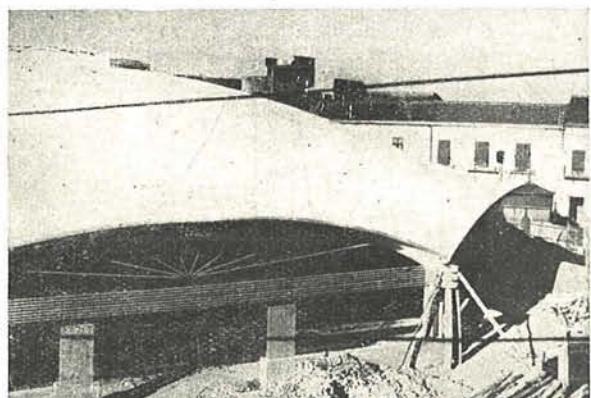


Fig. 13.

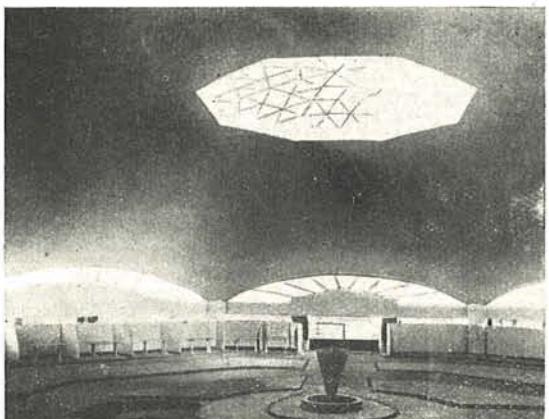


Fig. 14.

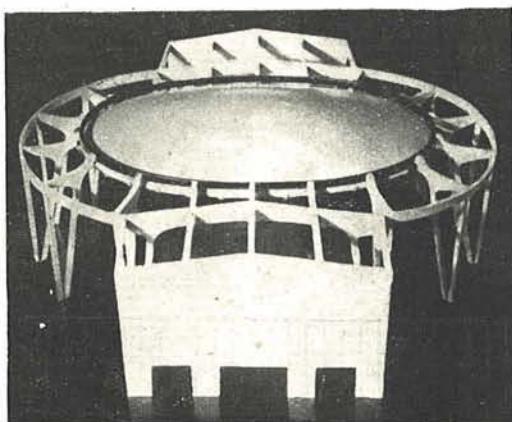


Fig. 15.

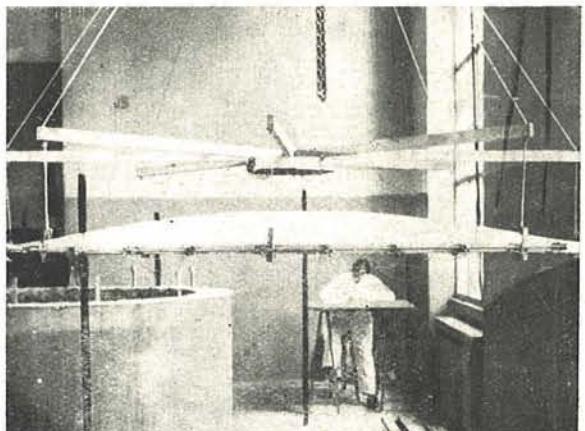


Fig. 16.

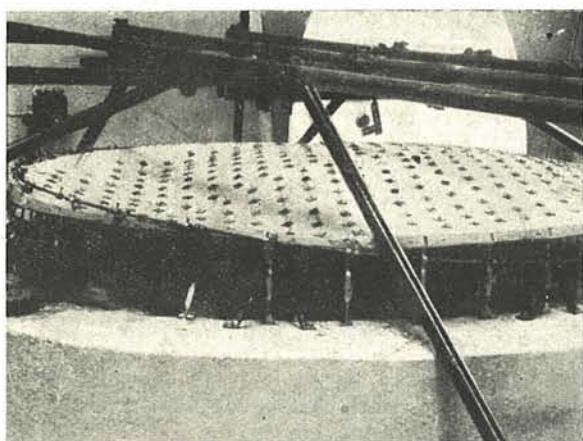


Fig. 17.

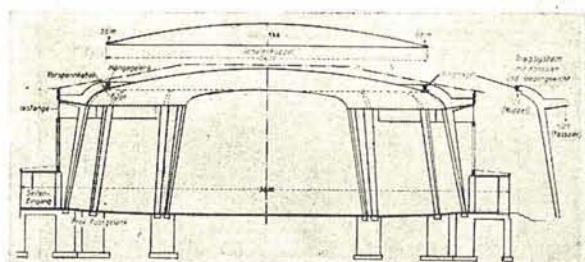


Fig. 18.

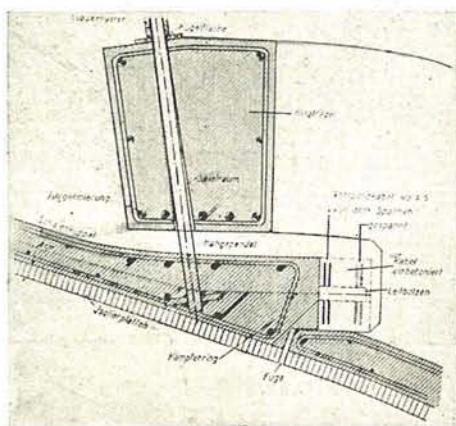


Fig. 19.

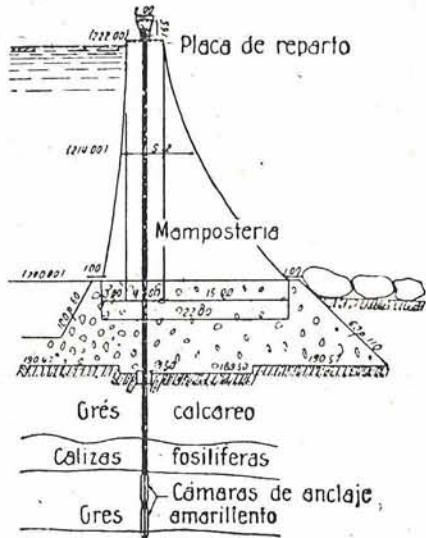


Fig. 20.

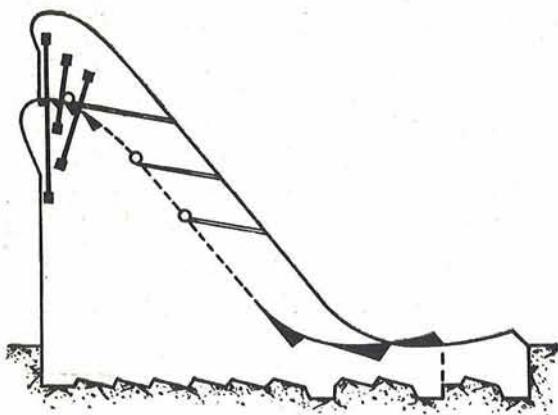


Fig. 21.

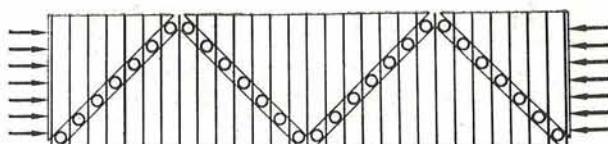


Fig. 22.

