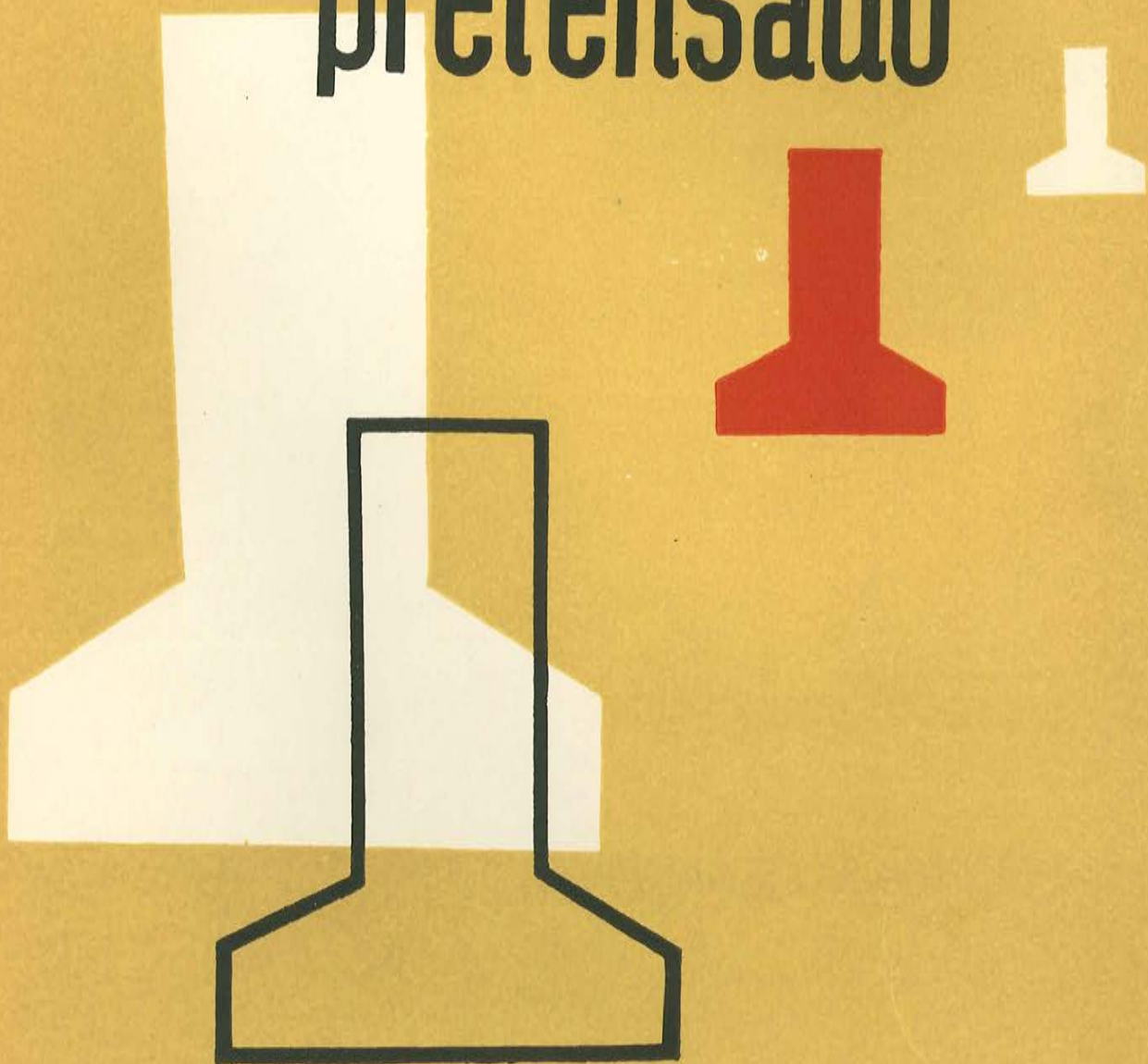


ULTIMAS NOTICIAS SOBRE

hormigón pretensado



BOLETIN NUM. 34 DE LA ASOCIACION ESPAÑOLA DEL HORMIGON PRETENSADO
DEL INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

6
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
Patronato "Juan de la Cierva" de Investigación Técnica

U L T I M A S N O T I C I A S

Técnicas en Estructuras

Hormigón Pretensado

Boletín de circulación limitada

Nº 34



Septiembre-October 1956

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

I N D I C E
=====

	<u>Pág.</u>
El desarrollo económico del hormigón pretensado, en Francia.-- H. Leomoine y G. W <u>o</u> rntzoff.	1
El hormigón pretensado en Italia.-- C. C <u>e</u> stelli Guidi.	22
Varias obras, de hormigón pretensado, en Bélgica.-- V. E. G. De Greef.	27
El hormigón pretensado, en Bélgica.-- L. F. G. G. André.	31

- - - -

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.

EL DESARROLLO ECONOMICO DEL HORMIGON PRETENSADO, EN FRANCIA

por H. Leomoine y G. Worontzoff

Introducción

Generalizado el empleo del hormigón pretensado en todos los campos de la construcción, se puede actualmente estudiar la historia de su evolución.

Sin remontarnos a las primeras aplicaciones hechas -- por M. Freyssinet, se pueden diferenciar varias fases en la historia del hormigón pretensado, en Francia. Estas fases se encuentran, con ciertos retrasos, en la mayoría de los países extranjeros, y para muchos de ellos, con un desarrollo más rápido, consecuencia de los resultados obtenidos en Francia.

La primera fase que empieza en 1930, termina en 1945. El hormigón pretensado, durante este período, está prácticamente monopolizado por algunas grandes empresas especializadas; su utilización está limitada a elementos y obras para los cuales es el único procedimiento adecuado.

Las obras de reconstrucción de la Estación Marítima del Havre, realizadas por M. Freyssinet, es un ejemplo típico. Estas primeras aplicaciones del hormigón pretensado, son debidas a ciertas circunstancias, más que a una elección necesaria; sin embargo, permitieron que la técnica siguiera perfeccionándose.

La segunda fase desde 1945 a 1949 es una fase de espera y de curiosidad. En todos los medios técnicos franceses hay gran interés por esta técnica nueva y, en todas partes, los ingenieros se informan y visitan obras para estudiar el empleo del hormigón pretensado; pero, en la mayoría de los casos, se obtiene la impresión de que este nuevo procedimiento ofrece ventajas técnicas innegables, si bien su economía y rentabilidad son dudosas. En general se estima que es un material caro, de una puesta en obra dificultosa y, por este motivo, el campo de sus aplicaciones limitado.

Durante este período el empleo del hormigón pretensado sigue en aumento, pero debido a otros motivos. Al final de la guerra, época de carencia de materiales, se elige este procedimiento por el ahorro que lleva consigo; solucionada esta carencia, son otras razones técnicas las que aconsejan su empleo, como el poco canto de las vigas, grandes luces, etc. Finalmente, algunas veces su utilización responde a simple curiosidad. Estas razones impiden hacerse una idea exacta de las posibilidades, - tanto técnicas como económicas, del hormigón pretensado; no obstante, los ingenieros y constructores se van familiarizando con este nuevo material y sus procedimientos.

La tercera fase de 1949 a 1953. Si algunas de las razones que motivaron el uso del hormigón pretensado, durante los pasados años, existen todavía, es muy grande el número de empresas e ingenieros que lo utilizan y que tienen una idea clara de las posibilidades técnicas y económicas de este procedimiento, para decidir su empleo en cada caso. Algunos técnicos, particularmente en la Administración de "Ponts et Chaussées", están -

en condiciones de decidir "a priori" qué obras deberán construir se en hormigón pretensado, porque sus características técnicas permiten pensar que las soluciones por este procedimiento son -- más económicas (puentes de 30 a 60 m de luz). Por eso, es corrien te la adjudicación de obras sacadas a concurso libre, a la solu ción pretensada. Al mismo tiempo, el número de empresas que uti lizan este nuevo sistema de construcción, aumenta considerablemente; de cada obra se deducen mejoras y la competencia se esta blece en gran escala. Al final de este período, se puede decir que las posibilidades económicas del hormigón pretensado se co nocen y aceptan.

La cuarta fase empieza al principio de 1954 con la publicación, por el Ministerio de Obras Públicas, de las Normas relativas al empleo del hormigón pretensado y de la Circular que prescribe la celebración de concurso siempre que se proponga una solución en hormigón pretensado. Se puede considerar que, desde este momento, el hormigón pretensado ha adquirido Derecho de Ciu dadanía, puesto que se reglamenta su uso, y es susceptible de -- ser empleado en las obras que construye "Ponts et Chaussées", cu ya autoridad en el campo de la construcción es reconocida. Desgraciadamente las razones que indujeron a utilizar el hormigón pretensado en los últimos años subsisten en el ánimo de muchos: el hormigón pretensado es, todavía para muchos técnicos, un ma-- terial sucedáneo, de una técnica complicada y cara.

Con el fin de dar una idea precisa a las personas -- que les interese el desarrollo del hormigón pretensado en Fran-- cia y en la Unión Francesa, resumimos a continuación las princi pales aplicaciones realizadas.

Puentes

En Francia, son los Ingenieros del Cuerpo de Puentes y Caminos los que deciden el tipo de obra que se debe construir y garantizan el control de su ejecución.

Los proyectos, la mayoría de las veces, se presentan a la aprobación del Ministerio de Obras Públicas (Servicio Central de Estudios Técnicos). La decisión final la dan los Ingenieros de Puentes y Caminos del departamento.

Actualmente, la ejecución de un puente por el procedimiento de hormigón pretensado se puede decidir de tres maneras diferentes:

1.- Por concurso

Generalmente se utiliza para las obras de importancia. Los proyectos son redactados por las empresas o sus ingenieros asesores. Una Comisión nombrada para el concurso decide definitivamente, teniendo en cuenta las ventajas económicas o técnicas que presentan los proyectos sometidos a su examen. En este caso, se puede elegir la solución que emplee el hormigón pretensado, aunque no sea la más económica.

2.- Por adjudicación de un proyecto de la Administración, redactado a base de materiales tradicionales pero admitiendo la variante en hormigón pretensado

Es un caso muy frecuente; corresponde entonces a las empresas al presentar una variante de hormigón pretensado, con

autorización del ingeniero director de la obra.

La solución en hormigón pretensado es adoptada si es la más económica.

3.- Por adjudicación de un proyecto resuelto con hormigón pretensado, redactado por la Administración o por un ingeniero asesor

Es un caso cada vez menos frecuente. Esta elección, "a priori", se impone por razones técnicas: necesidad de altura reducida del tablero, deseos de evitar grietas en ambientes marítimos, etc.

De los párrafos que anteceden, se puede deducir que, de una manera general, la solución "hormigón pretensado" es elegida cuando es la más económica.

Se observa, sin embargo, que los resultados de un concurso o adjudicación no bastan por sí solos para juzgar, en un caso determinado, sobre las ventajas económicas de un procedimiento u otro.

Cada resultado debe estudiarse cuidadosamente para poder determinar la economía que, sobre el precio total de la obra, proporciona el empleo de un material dado.

Si tomamos, por ejemplo, el presupuesto de adjudicación de un puente, y analizamos los detalles de las ofertas, comprobamos que el presupuesto elegido no corresponde, a menudo, al empleo de la solución más económica para el tablero del puente: los factores que han podido dar lugar a este resultado pueden ser:

a) El nivel general de precios de la empresa elegida puede ser más bajo que el de los demás concursantes, sin que la solución del tablero sea en efecto la más económica.

Este caso de "dumping" es frecuente en tiempo de competencia acentuada, donde ciertas empresas hacen precios anormalmente bajos con objeto de poder quedarse con la contrata de una obra que les interese.

b) Muchas veces el tablero, en el que intervienen los precios del hormigón pretensado, no representa más que un porcentaje pequeño del precio total de la obra y, en cambio, los cimientos, accesos, movimiento de tierras, etc., constituyen las partidas más importantes de la obra. Es evidente que un concursante, capaz de presentar para estas partidas precios más ventajosos, puede llevarse el concurso, aunque otro concursante haya presentado un tablero más económico.

c) Cuando la adjudicación esté dividida en varias partidas distintas (tablero, cimientos, accesos), puede ocurrir que un tablero en hormigón pretensado, aún resultando al mismo precio o ligeramente más caro que en hormigón armado, por ejemplo, proporcione economías importantes en alguna de las otras partidas que constituyen el conjunto de la obra.

Tal es el caso, por ejemplo, de los pasos superiores, en los que una reducción en el espesor del tablero disminuye notablemente el volumen del terraplenado necesario para los accesos, y la altura de los estribos.

d) El éxito de un proyecto puede ser debido simplemente a su calidad técnica. Una solución ingeniosa puede dar lugar a una economía superior a la debida al empleo de tal o cual

material y que esto sólo sea suficiente para forzar la decisión.

e) Puede ocurrir que un empresario que no está familiarizado con la técnica del hormigón pretensado aumente los precios de estas partidas para cubrir imprevistos que realmente no existen. En efecto, la ejecución del hormigón pretensado parece, a primera vista, más complicada que lo es en realidad.

f) Se olvidan, a menudo, las ventajas que el hormigón pretensado presenta sobre las estructuras metálicas, por lo que respecta a los gastos de entretenimiento (pintura).

Estas observaciones hechas para un puente, son válidas para otros tipos de obras.

Por ello, opinamos, que el estudio económico del empleo del hormigón pretensado y de sus ventajas respecto a otros procedimientos debe ser hecho sobre el conjunto de la obra.

No poseemos datos estadísticos suficientes para indicar cuál es la relación entre el número de puentes construidos en hormigón pretensado y el de los ejecutados según los procedimientos tradicionales. Se puede, sin embargo, decir que la proporción es creciente y que, como regla general, para tramos de 20 a 60 m, los tableros de hormigón pretensado son los más económicos. Se acentúa netamente esta economía en los puentes de varios tramos que permiten un amplio empleo de la prefabricación y la reutilización de cimbras o encofrados.

Un total de 300 puentes de hormigón pretensado han sido construidos en Francia y la Unión Francesa.

A título de información, damos los resultados de tres concursos de puentes:

Puente Delattre de Tassigny, en Lyon (1954)

El concurso tenía por objeto la construcción de: un tablero de 35 m de ancho y tres tramos de 53 m; dos accesos al puente, de 100 m cada uno, descansando por una parte sobre los muelles, y por otra sobre pilastras en el río; un tramo de acceso, en la margen izquierda, de 20 x 35 m; apoyos a ejecutar sobre las pilastras.

Damos, para cada parte de la obra, su valor, expresado en un porcentaje de la oferta global de la Empresa adjudicataria.

En este proyecto, el hormigón pretensado concurría en competencia con otra solución metálica.

A la vista del cuadro I se deduce que, comparando las dos ofertas más bajas, la solución pretensada resulta un 2,5

T A B L A I

	Tablero	Accesos	Tramo M. Izq.	Apoyos	Resultados (Ofertas: -más barata -media de ofertas)
% del valor total	57 %	32,2 %	6,2 %	4,6 %	
A. Solución de la Administración en H.P. (sistema Freyssinet).	H.P.	H.A.	H.P.	H.A.	234.300.000 Media: 280.000.000 s/7 ofertas.
B. Solución en H.P., distinta de la propuesta por la Administración (sistema Freyssinet)	H.P.	H.A. (1 so. H.P.)	H.P.	H.A.	224.291.000 Media: 282.400.000 s/7 ofertas.
C. Solución con estructura metálica	Acero	14 of. H.A. 3 of. H.P. 1 acero	11 of. H.P. 5 of. H.A. 2 acero	H.A.	240.573.000 Media: 311.000.000 s/18 ofertas.

por ciento más económica que la metálica y que, tomando la media de las distintas ofertas de cada clase, esta economía se eleva al 9,5 por ciento.

Puente D'Orchamps sobre Le Doubs (1953-54)

Este puente comprende 5 tramos, de 28 m de luz y 8 metros de anchura. El volumen de hormigón pretensado es de 425 metros cúbicos.

La partida de hormigón pretensado representa el 46 por ciento del costo total.

Este puente ha sido adjudicado en 46.356.000 Frs. (hormigón pretensado). La mejor oferta de hormigón armado era de 52.876.000 Frs.; o sea, 14 por ciento más cara.

La media de siete ofertas en hormigón pretensado era de 56.923.000 Frs.

La media de 9 ofertas en hormigón armado era de 60.540.000 Frs.; o sea, 5 por ciento más caro que la de hormigón pretensado.

Puente de La Pierre Du Roi en Albertville (1955)

Se trataba de 5 tramos de 15,5 m, con una anchura de 13,5 m. La partida en hormigón pretensado representaba el 50 por ciento del coste total. La pequeña luz de los tramos constituía un factor en contra del hormigón pretensado, compensado en parte por las posibilidades de emplear procedimientos de prefabricación.

Se presentó una oferta, en hormigón armado, por 37.000.000 Frs., y otra, en hormigón pretensado por 40.440.000 Frs.; o sea, un 9 por ciento más cara.

La media de cuatro ofertas en hormigón pretensado y de tres ofertas en hormigón armado era la misma: 44.840.000 Frs.

El estudio comparativo de las dos soluciones, sólo para el tablero, permitió, sin embargo, precisar que su precio en hormigón armado era de 25.000.000 de Frs. y, en hormigón pretensado, de 20.000.000 de Frs.

Por otra parte, la solución en hormigón pretensado ofrecía la ventaja de permitir una colocación fácil de las vigas prefabricadas, mientras que la solución en hormigón armado, hormigonado "in situ", presentaba riesgos no despreciables, por las crecidas importantes e imprevistas del río.

Edificios industriales y estructuras análogas

En Francia, al revés que en muchos países extranjeros, las aplicaciones del hormigón pretensado en el campo de los edificios industriales son mucho menos numerosas que en el campo de las obras públicas (puentes, etc.). Son varias las razones:

- 1) La multiplicidad de directores de obras, a la vez que la dificultad de la prospección.
- 2) La rutina de las empresas constructoras y la insuficiencia de maquinaria auxiliar.
- 3) Falta de información de los arquitectos, sobre las posibilidades del hormigón pretensado.

No obstante, se han construido en Francia varias obras importantes, entre ellas:

- almacenes en los puertos;
- varias fábricas textiles y químicas;
- pórticos para puentes grúas;
- numerosos tirantes para cubiertas en arco.

En estas obras, el factor económico tiene poca importancia al lado de consideraciones técnicas: así, para una fábrica textil, el arquitecto ha buscado un material que le asegure la perfecta impermeabilidad y aislamiento térmico; la utilización del hormigón pretensado le permitió conservar en el interior del pabellón una temperatura uniforme de 18° y realizar anualmente una economía de calefacción de varios millones de francos.

La necesidad creciente para numerosas industrias, de proveer el empleo de maquinaria cada vez más voluminosa, conducirá a un mayor uso del hormigón pretensado, bien sea para la totalidad de una obra, o sólo para ciertas partes (vigas de gran luz, por ejemplo), donde la utilización del hormigón armado conduciría a soluciones difíciles o poco elegantes.

Viviendas

Hasta ahora es en los forjados donde ha tenido mayor aplicación el hormigón pretensado, en el campo de las viviendas. De ello se tratará en el apartado relativo a las piezas con armaduras ancladas por adherencia.

En la construcción de las estructuras, Francia se encuentra con retraso respecto a algunos países extranjeros.

Las comunicaciones presentadas por M. Baret y M. Th. Jean-Bloch, Ingenieros-Asesores, al Congreso de Amsterdam, trataban de cierto número de realizaciones.

Citemos de paso, un sistema de construcciones de escuelas con paneles prefabricados de ladrillos huecos, con marcos de hormigón armado unidos por pretensado en obra (BÂTIR, núm. 50, Junio 1955).

Estimamos que la mayor ventaja que el pretensado puede ofrecer en este campo es la posibilidad de unir, de una forma eficaz y rápida, los elementos prefabricados de hormigón pretensado o armado. Se han hecho importantes aplicaciones por diversas empresas con buenos resultados, puesto que han permitido suprimir las armaduras de costura en los encofrados.

Es igualmente probable que el pretensado pueda mejorar la resistencia de las estructuras a los efectos sísmicos. Se estudia este problema en Japón, pero es todavía pronto para conocer resultados prácticos.

Depósitos

Varias razones, algunas existentes todavía, han limitado durante mucho tiempo la utilización del hormigón pretensado en la construcción de depósitos: la pequeña capacidad (200 a 300 m³) de la mayoría de los depósitos de agua para Ayuntamientos rurales, donde la aplicación del pretensado conduce a un mayor gasto; el desconocimiento de las ventajas que el hormigón -

pretensado aporta a este tipo de obra, por parte de los proyectistas (oficinas técnicas, ingeniería rural, etc.); y, finalmente, la especialización de las empresas dedicadas a este tipo de construcción y que disponen de equipos especializados en hormigón armado.

Sin embargo, las ventajas técnicas reconocidas al hormigón pretensado, particularmente la impermeabilización que permite a menudo suprimir los revestimientos, y el ahorro conseguido en la construcción de depósitos de mediana y gran capacidad (de más de 1.000 m³) han conducido, en estos últimos años, tanto a los ingenieros de obra como a las empresas especializadas, a estudiar y realizar numerosos depósitos de agua, tanto circulares como cúbicos, en hormigón pretensado. Nos alegraría que se organizaran mejor los concursos y que las condiciones de adjudicación autoricen más a menudo a las empresas a presentar variantes en hormigón pretensado. Resultados estadísticos de algunos países extranjeros permiten afirmar que, en numerosos casos, la economía obtenida con la utilización del hormigón pretensado en la construcción de depósitos puede llegar al 30 por ciento del presupuesto.

Entre las realizaciones francesas tenemos una docena de depósitos de agua con una capacidad total de 34.000 m³.

El almacenamiento de hidrocarburos ha sido motivo de importantes aplicaciones del pretensado. La capacidad total de las obras ejecutadas o en construcción alcanza 155.000 m³. Se trata sobre todo de depósitos subterráneos donde el pretensado se realiza por medio de gatos planos.

El problema de la impermeabilización es fácil de resolver para el petróleo en bruto. No ocurre lo mismo con los carburantes, y los resultados no son hasta ahora satisfactorios. Cuando se encuentre un revestimiento interior impermeable a los carburantes ligeros, que sea además económico y fácil de aplicar, nos encontraremos con un cambio importante en la construcción de depósitos de gasolina.

En otras aplicaciones, tenemos la construcción de un grupo de silos para granos y harina con elementos prefabricados, montados con grúa y unidos por pretensado vertical.

Obras marítimas e hidráulicas

El hormigón pretensado ha conocido numerosas aplicaciones en este campo. Puede decirse que gracias a su impermeabilidad, que asegura una buena conservación de los aceros, es un material de aplicación ideal en este tipo de obras. La importancia de los trabajos a ejecutar y la utilización frecuente de concursos, han permitido que se haya impuesto el hormigón pretensado. Se han construido, o están en construcción, más de 5.250 m de malecones y muelles, que representan cerca de 100.000 m³ de hormigón pretensado. Se trata de dos tipos principales de obras:

- los cajones de cimentación, susceptibles de ser colocados "in situ" por flotación. En estos cajones, el pretensado asegura el máximo de estanqueidad y permite reducir su peso.
- las estructuras constituidas por vigas o losas que se apoyan sobre tablestacas o sobre pilotes y que se pueden prefabricar, colocar con ayuda de una grúa y enlazar mediante el pretensado.

Asimismo, el hormigón pretensado ha encontrado aplicación en la construcción de cuatro presas (anclajes, creación de tensiones por medio de gatos planos, diques provisionales).

Una aplicación importante del pretensado ha tenido lugar en las tuberías forzadas de gran diámetro (2,60 m a 3,75 metros), habiéndose realizado 24.000 m. Se han aplicado tres sistemas diferentes de pretensado:

- zuncho externo de las dovelas prefabricadas (el tesado se obtiene merced a la acción de gatos situados entre las dovelas);
- elementos cilíndricos zunchados, prefabricados y pretensados longitudinalmente mediante cables o gatos planos;
- pretensado por inyección de mortero coloidal entre el suelo y las dovelas prefabricadas.

Pistas para Aeropuertos y Carreteras

Desde hace algún tiempo vienen llamando la atención de los especialistas las ventajas técnicas, particularmente importantes, de los revestimientos pretensados delgados y sin juntas. No obstante, estamos en este campo en la fase preliminar y es todavía demasiado pronto para poder obtener conclusiones económicas definitivas.

Después de dos tramos de pista ejecutados a título de ensayo, en el aeródromo de Orly, la construcción reciente de una pista en Argel, de 2.400 m de longitud, demuestra que el revestimiento pretensado (espesor de 16 a 18 cm) podrá competir con un revestimiento ordinario de doble espesor. Además, presenta la ventaja de suprimir las juntas y proporcionar, por tanto,

una economía muy importante en lo que se refiere a conservación.

Las carreteras pretensadas se encuentran todavía en una fase experimental, y sólo con el tiempo sabremos si el coste elevado de la primera instalación será finalmente compensado por las economías logradas en la conservación.

Trabajos de reparación

Es este un sector muy importante en el que el pretensado (cables y gatos planos) ha encontrado una gran aplicación. No olvidemos que la reconstrucción de la antigua estación marítima del Havre ha sido la primera gran realización del señor Freyssinet que ha dado prestigio al nuevo material que él preconizaba.

Desde entonces, los ingenieros no han dejado de recurrir al pretensado, con el fin de reparar los defectos de ejecución, los daños provocados por la guerra, las insuficiencias de cimentación, o las consecuencias de errores de cálculo o imprevisión.

Los ejemplos de estas aplicaciones son muy numerosos, y sólo esperan al autor que los recopile para escribir el "tratado de cirugía" que trate de las posibilidades del hormigón pretensado en este campo.

PREFABRICADOS CON ARMADURAS ANCLADAS POR ADHERENCIA

A causa de su matiz especial, hemos agrupado en este capítulo todos los elementos fabricados de acuerdo con el mé

todo llamado de cables adherentes (armaduras pre-tesas). Se caracterizan por sus reducidas dimensiones relativas, lo que permite su fácil transporte desde una fábrica central dada.

a) Viguetas de forjados

Esta es la aplicación más extensa en Francia de este procedimiento. El desarrollo de los forjados compuestos de viguetas de hormigón pretensado o en cerámica pretensada es muy considerable, a pesar de la importante competencia de productos similares no pretensados.

Se han construido más de 1.000.000 de m² de forjados y actualmente están en plena actividad diez fábricas. El radio económico de una fábrica puede alcanzar 200 Km y el precio del m² de forjado entregado en obra varía de 900 a 1.200 Frs.

b) Tuberías de alta presión y canales de irrigación

Los tubos de alta presión han dado lugar a una de las más antiguas aplicaciones del hormigón pretensado, para la que sus propiedades son particularmente adecuadas.

Se han instalado, en su mayor parte en Africa del Norte, más de 800 Km de conducciones, con presiones de servicio variables y diámetros de 0,30 a 1,20 m.

Además, se han fabricado en el extranjero cerca de 400 Km de tubería, siguiendo los procedimientos franceses.

Sus ventajas técnicas y económicas, han permitido al hormigón pretensado triunfar sobre el acero en numerosos cursos.

El límite (que depende del diámetro interior y de la presión de servicio) a partir del cual este material resulta más económico que el hormigón armado, depende esencialmente de los factores económicos locales y de las condiciones técnicas. Estas mismas condiciones deciden la elección entre los sistemas de canalización pretensado con o sin palastro de estanqueidad.

Los canales de irrigación constituyen otra aplicación muy interesante del hormigón pretensado.

En este tipo de obras, el hormigón armado ha proporcionado muchos disgustos a causa de las fisuras. Por el contrario, el hormigón pretensado ha dado siempre resultados plenamente satisfactorios.

La longitud de canales elevados, construídos en Africa del Norte, alcanza varios centenares de Km. Es de esperar que el hormigón pretensado alcanzará en el Sur de Francia las mismas aplicaciones que ha tenido en Italia y en España.

En general, los canales se construyen con elementos de sección semicircular (o análoga), y el pretensado suele aplicarse tan sólo en el sentido longitudinal.

c) Postes

Se han fabricado, sobre todo en Africa del Norte, -- decenas de millares de soportes para tendidos eléctricos. En Argelia, no se ha vuelto prácticamente a fabricar el poste ordinario de hormigón armado. Este resultado se ha podido obtener gracias a las ventajas que el hormigón pretensado ofrece en cuanto a conservación de las armaduras, y, como consecuencia, a la du-

rabilidad de los postes.

La competencia del hormigón armado clásico es, sin embargo, muy grande y debe hacerse notar que, en general, el pretensado no resulta muy adecuado para este tipo de piezas en las que el momento flector puede actuar, indistintamente, en ambos sentidos, a no ser en el caso de grandes catenarias. En Francia se han fabricado unas cuantas, con destino a la electrificación de las líneas ferroviarias.

Tenemos motivos para esperar un desarrollo creciente del hormigón pretensado en este campo, el día en el que sea posible obtener en la metrópoli mercados suficientemente importantes como para permitir la amortización de los gastos de las instalaciones iniciales. En este caso, los precios serán capaces de competir con los del hormigón armado y, en cambio, el producto obtenido ofrecerá ventajas técnicas incomparablemente superiores.

d) Traviesas de ferrocarril

El precio de las traviesas pretensadas, alrededor de 3.000 francos, sin las uniones, es cerca del doble del precio de las traviesas de madera dura inyectada. Sin embargo, la excepcional calidad de la vía tendida sobre traviesas pretensadas empleando raíles soldados y uniones elásticas ha incitado a la SNCF a emprender ensayos en gran escala, y 600.000 traviesas pretensadas han sido colocadas, o están en curso de fabricación, así como un cierto número de postes.

e) Vigas de grandes dimensiones con armaduras ancladas por adherencia

Puede decirse que en Francia casi no se producen piezas de este tipo. En otros países, en cambio, como Alemania y Holanda, son bastante frecuentes.

Existen sólo algunos puentes, así como algunas cubiertas y forjados de edificios industriales, en cuya construcción se han empleado grandes vigas armadas con cables anclados por adherencia. Sin embargo, actualmente se advierte en Francia una tendencia encaminada a producir en las fábricas, vigas de mayores luces y sobrecargas que las utilizadas en las viviendas corrientes.

Conclusión

Del breve estudio que precede, se deduce que, tanto en Francia como en la Unión Francesa, el hormigón pretensado se ha extendido ampliamente en la actualidad, habiéndolo utilizado hasta el presente cerca de 170 empresas. No es por lo tanto un monopolio de ciertos especialistas, sino un procedimiento corriente al alcance de todos. Se reconoce generalmente que su ejecución es sencilla, mucho más simple de lo que puede parecer tras la lectura de una descripción en un artículo, y no se conoce el caso de ninguna empresa, por pequeña que sea, que haya tropezado con serias dificultades en la ejecución de los trabajos que le hayan sido confiados.

La mayor parte de los contratistas han ejecutado ya diversas obras y cuentan con datos suficientes para poder calcu-

lar sus precios de coste.

En el aspecto económico, es cierto que el campo del hormigón pretensado se extiende en detrimento del hormigón armado y del acero. No debe, sin embargo, creerse que, por ello, en un futuro próximo, el hormigón pretensado sustituirá al hormigón armado. Este último, conservará su propio campo de aplicación en el que el pretensado no podrá nunca hacerle la competencia; pero, a partir de ahora, las economías a que da lugar el uso del hormigón pretensado obligarán al hormigón armado y al acero a defenderse (secciones de vigas iguales a las utilizadas en hormigón pretensado, acero semiduro, acero tor, aligeramiento de las estructuras metálicas, etc.).

Por otra parte, en las obras en que se repiten elementos parecidos, las posibilidades de prefabricación que ofrece el hormigón pretensado tienden a disminuir todavía más las posibilidades del hormigón armado. La forma de concursar ahora, prevista por las directrices ministeriales, debe permitir en los años venideros determinar objetivamente los límites económicos del hormigón pretensado y es de desear que los Ingenieros den a este material las mismas oportunidades que a los otros. Si Francia ha desempeñado el papel de adelantada en materia de hormigón armado y de hormigón pretensado, debe seguir siendo ahora, para todos los demás países, la nación piloto.

EL HORMIGON PRETENSADO, EN ITALIA

por C. Cestelli Guidi

Generalidades

a) Se han construido algunos edificios en los cuales los soportes interiores se apoyan sobre la estructura de la planta baja constituida por pórticos formados por grandes vigas pretensadas. De esta manera, se consigue mantener totalmente diáfana la superficie de dicha planta inferior.

b) En Italia hay 16 centros dedicados a la fabricación de vigas pretensadas para forjados, con una producción total de unos 22.000 m² por día. La fabricación de vigas de hormigón armado para luces superiores a 6 m se ha iniciado a partir de 1938.

En la actualidad hay también algunas fábricas que construyen, vigas hechas de ladrillo armado, y bases para vigas del tipo Stahlton.

La preferencia del fabricante se inclina hacia el tipo de ladrillo armado, por ser tales vigas más ligeras que las de hormigón.

c) En Italia se han construido vigas para puentes con luces de más de 40 m. Algunas de ellas tienen el nervio pretensado y prefabricado, y el ala enteramente hormigonada "in situ".

tu". Hay una tendencia a dejar el ala sin pretensar porque resulta más económica su realización en hormigón armado ordinario. Se han construido también numerosos puentes, de 65 m de luz máxima, con vigas Gerber y continuas, algunas de ellas a base de elementos prefabricados.

d) Se han hecho numerosas aplicaciones del pretensado en cubiertas para edificios industriales. Generalmente, se utilizan pórticos triangulados, múltiples o sencillos, para luces superiores a los 35 m. Los soportes no siempre van pretensados. Es preferible realizar el pretensado sobre un sistema que funcione, provisionalmente, como isostático. Para ello, inicialmente, se disponen en las uniones de las vigas con los soportes, unas articulaciones que, una vez efectuado el pretensado, se bloquean mediante cables adicionales. Otras estructuras tienen cubiertas que consisten en vigas prefabricadas a pie de obra, que descansan sobre otras vigas continuas construidas "in situ" o sobre elementos prefabricados.

e) Se han construido numerosos tanques y silos en los cuales el pretensado se introduce, bien mediante una armadura continua arrollada en espiral sobre la superficie lateral del depósito, o bien mediante cables de longitud igual a la mitad del perímetro de dicho depósito.

Desde 1924 se han construido tuberías centrifugadas, con armaduras en espiral pretensadas, y diámetros superiores a los 4 m para obras hidráulicas o conducciones a presión.

Método utilizado para la adjudicación de las obras

La práctica seguida en Italia es la de sacar las obras a concurso, invitándose a las empresas interesadas a que redacten

un anteproyecto y presenten ofertas con presupuesto. Las empresas pueden escoger libremente soluciones en hormigón armado o en hormigón pretensado. En los concursos celebrados por organismos oficiales la resolución corresponde a una Comisión de técnicos, dependientes del Ministerio correspondiente, la cual, generalmente suele aceptar la oferta más económica. En el caso de adoptarse una solución pretensada, el proyecto se somete a informe de una Comisión especial del Consejo Nacional de Investigación. Este es el procedimiento actual de tramitación, implantado con carácter provisional en tanto no se publique la primera Norma Italiana sobre Hormigón Pretensado.

Proporción de estructuras construídas con hormigón pretensado

En Italia, los edificios para viviendas suelen construirse con vigas y soportes de hormigón armado, en tanto que los forjados son, a menudo, de hormigón pretensado. Cerca del 30 por ciento de los forjados son de hormigón pretensado. Para luces superiores a 20 m esta proporción se eleva al 40 por ciento y en edificios industriales se reduce al 25 por ciento.

Se han hecho numerosas aplicaciones del pretensado en estructuras en arco.

Estudio económico comparativo

En Italia, si tomamos como unidad el costo del acero para hormigón armado, el precio del acero para hormigón pretensado es 2 y el de los perfiles laminados metálicos 1,5.

Tomando como unidad el precio del hormigón utilizado en el hormigón armado (resistencia media, 250 Kg/cm²) puede

admitirse que el costo del hormigón de mejor calidad utilizado en el pretensado (resistencia media 400 Kg/cm^2), incluyendo el coste más alto de los moldes, es igual a 1,5. Teniendo en cuenta la menor cantidad de material requerido y la ligereza de las estructuras, puede decirse que el coste del hormigón pretensado, es igual al 80 por ciento del coste del armado. Para grandes luces, y empleando métodos de prefabricación; dicho coste puede reducirse hasta el 70 por ciento debido a la economía suplementaria de encofrados y andamiajes.

Ejemplos recientes

En un concurso para la construcción de un puente sobre el río Tíber, la solución en hormigón pretensado, con vigas prefabricadas de 25 m de luz y tablero hormigonado "in situ", resultó un 32 por ciento más económica que la solución en hormigón armado.

En un puente sobre el río Po con luces de 60 m se logró, con el hormigón pretensado, una economía del 35 por ciento sobre el proyecto más económico en hormigón armado.

En un establecimiento industrial en Nápoles, construido con vigas prefabricadas de 20 m de luz, el ahorro, en relación con la solución en hormigón armado, fué del 30 por ciento y del 20 por ciento respecto a la solución en acero.

Para una serie de tanques de 20 m de diámetro, el coste fué un 45 por ciento más bajo que el de la solución en hormigón armado, debido, en parte, a la eliminación de las juntas.

En las cerchas en arco de una fábrica construída en Nápoles, se obtuvo una economía del 6 por ciento empleando elementos pretensados.

- - -

VARIAS OBRAS, DE HORMIGON PRETENSADO, EN BELGICA

por V. E. G. De Greef

Paso superior del Chenois en Marchienne-au-pont

(Obra construída en 1952)

Consta de 6 tramos de 16 a 25 m de luz y de 16 m de anchura.

La superestructura propuesta era del tipo de estructura mixta (perfiles metálicos de acero A-37, embebidos en el hormigón).

Los contratistas estaban autorizados a presentar ofertas en hormigón pretensado.

Ofertas presentadas por los contratistas:

a) superestructura constituída por perfiles metálicos embebidos en el hormigón: 11.135.981 francos.

b) superestructura en hormigón pretensado: 8.073.605

Los tableros fueron construídos en hormigón pretensado.

Paso superior de Saint Ghislain

(Obra construída en 1952)

Consta de un tablero de 39,50 m de luz y 20 m de anchura. La superestructura propuesta era del tipo construcción -

mixta (viguetas roblonadas de acero A-37 y losa de hormigón armado). Los contratistas estaban autorizados a presentar ofertas en hormigón pretensado.

Ofertas presentadas por los contratistas:

a) superestructura del tipo construcción mixta:
15.227.388 francos.

b) superestructura de hormigón pretensado: 10.835.800 francos.

Los tableros se construyeron en hormigón pretensado.

Paso superior de la Louvière--Bouvy

(Obra construida en 1953)

Comprende un tablero de 24,50 m de luz y 12 m de anchura.

La solución que se proponía era una estructura mixta constituida por perfiles metálicos, en acero A-37, que quedaban embebidos en el hormigón. No obstante, las empresas constructoras fueron autorizadas a presentar ofertas para soluciones en hormigón pretensado.

Ofertas presentadas por las empresas constructoras:

a) para la solución a base de estructura mixta:
5.636.953 francos.

b) superestructura en hormigón pretensado: 3.467.856 francos.

El tablero se construyó en hormigón pretensado.

Paso superior de Landen

(En construcción)

Consta de un tablero de 22,50 m de luz y 12 m de anchura.

La solución propuesta era una estructura mixta constituida por perfiles laminados Preflex, de acero A-52, embebidos en el hormigón, quedando facultadas las empresas constructoras a presentar ofertas de soluciones en hormigón pretensado.

Ofertas presentadas por las empresas constructoras:

a) superestructura del tipo Preflex: 2.746.388 francos.

b) superestructura en hormigón pretensado: 2.457.654 francos.

Se construirá el tablero en hormigón pretensado.

Paso superior en Alost

(Obra construida en 1953)

Está constituido por un tablero de 25,92 m de luz y 10,10 m de anchura.

La solución propuesta era una estructura mixta a base de perfiles laminados, de acero A-37, que quedaban embebidos en el hormigón. Las empresas constructoras, no obstante, podían presentar ofertas para soluciones en hormigón pretensado o de estructuras mixtas empleando elementos Preflex.

Las ofertas presentadas por los constructores fueron:

a) superestructura constituida por perfiles metálicos embebidos en el hormigón: 2.799.844 francos.

(Sin incluir los elementos accesorios de los perfiles).

b) superestructura con viguetas Preflex: 3.567.185 francos.

c) superestructura de hormigón pretensado: 3.927.071 francos.

Se ha construido el tablero a base de viguetas Preflex embebidas en el hormigón.

EL HORMIGON PRETENSADO EN BELGICA

por L. F. G. G. André

El hormigón pretensado ha adquirido en Bélgica un gran desarrollo, tanto en los trabajos realizados por cuenta -- del Estado como en los ejecutados por cuenta de las empresas -- privadas.

La reconstrucción de numerosos puentes destruidos en el curso de la guerra 1940--45 está casi terminada actualmente. Un gran número de ellos son de hormigón pretensado.

Nuestras noticias son de que muy pocas estructuras de edificios se han realizado en hormigón pretensado; por el -- contrario, son muchos los forjados y cubiertas en los que se -- ha utilizado este método constructivo. En la mayoría de los casos se trata de vigas en doble T. Las losas planas y las mem--branas pretensadas, no se utilizan entre nosotros prácticamente. En el campo privado, para la construcción de nuevas fábricas, garajes, almacenes, etc. se ha utilizado en gran escala -- el hormigón pretensado para la construcción de forjados y cu--biertas.

Son pocos los silos y depósitos construidos con hormigón pretensado.

Algunos fabricantes de piezas de hormigón se han -- especializado en la prefabricación de elementos en hormigón propre

tensado con armaduras ancladas por adherencia, tales como: vigas de escasa luz, forjados, losas, postes, traviesas de ferrocarril, etcetera.

La administración de los ferrocarriles belgas no ha utilizado todavía traviesas de hormigón, salvo en algunos tramos experimentales.

De la realización de todos estos trabajos se hace responsable la empresa constructora que es designada mediante concurso. En general, se elige la oferta más ventajosa, siempre que se ajuste a las prescripciones del pliego de condiciones.

El estudio se hace por la Administración, o bien por un ingeniero-asesor, antes de la adjudicación si el contrato es por un tanto alzado, o después de la adjudicación si en el presupuesto del contrato se consignan detalladamente los precios unitarios de las distintas partidas.

Se autorizan, frecuentemente, las ofertas basadas en contraproyectos. En este caso, se tomará, igualmente, en consideración la oferta más baja. Para la comparación de las distintas ofertas se tiene en cuenta la seguridad de la construcción, sistema de ejecución, estética y medios de conservación. A veces las obras son objeto de concursos de adjudicación.

A continuación damos una lista de los resultados de algunos concursos. Las diferencias de precio entre los diversos sistemas de construcción (hormigón pretensado, hormigón armado, estructura metálica), son muy variables. Ello se debe a que algunos datos han sido tomados de los presupuestos redactados por los autores del proyecto, y otros, de las ofertas presentadas

por las empresas constructoras.

Puente de Sclayn.- Adjudicado el 19-IX-1948

<u>Hormigón pretensado</u>	<u>Hormigón armado</u>	<u>Estructura metálica</u>
8.022.430,00	6.999.635,00 (proyecto re chazado)	9.834.935,00
9.726.770,00	8.108.060,00	10.442.358,00
	8.612.415,00	10.626.340,00
	9.196.258,00	12.481.420,00
	11.916.382,00	

Reconstrucción del tablero y pilas.

Recrecimiento de los estribos - Puente carretero sobre 4 apoyos.

Luces 2 x 62,50 m + 1 x 16 m.

Puente de Baarle - Adjudicado el 21-X-1949

<u>Hormigón pretensado</u>	<u>Hormigón armado</u>	<u>Estructura metálica</u>
2.260.562,00	2.753.530,00	2.863.296,00
		3.128.268,00
		3.196.955,00
		3.238.214,00
		3.527.376,00
		3.973.612,00
		4.753.148,00

Construcción del tablero únicamente.

Puente carretero sobre dos apoyos.

Luz 27 m.

Puente de Tertre - Adjudicado el 1-VI-1950

<u>Hormigón pretensado</u>	<u>Hormigón armado</u>	<u>Estructura metálica</u>
5.137.449,00	7.939.375,00	-
5.293.608,00	7.998.450,00	-
5.983.846,00	8.308.633,00	-
6.116.615,00	8.779.100,00	-
7.288.000,00	9.251.376,00	-
	9.690.679,00	-

Construcción del tablero únicamente.

Puente carretero sobre 4 apoyos: luces 17,50 m + 59 m + 20,50 m.

Pasarela de Salzannes - Adjudicado el 12-V-1950

<u>Hormigón pretensado</u>	<u>Hormigón armado</u>	<u>Estructura metálica</u>
1.373.489,00	2.913.826,00	-
	3.054.500,00	-

Reconstrucción del tablero únicamente.

Pasarela para peatones sobre dos apoyos. Luz : 50 m.

Puente de peaje en Charleroi - Adjudicado el 17-XI-1950

<u>Hormigón pretensado</u>	<u>Hormigón armado</u>	<u>Estructura metálica</u>
8.585.930,00	11.797.000,00	11.474.334,00
11.568.650,00	13.748.750,00	17.109.000,00
	18.000.000,00	19.414.400,00

Construcción del tablero únicamente.

Puente carretero sobre 4 apoyos: luces 20 m + 47,50 m + 28,50 m.

Puente carretero J. B. Brabante en Namur - Adjudicado el 16-II-1951

<u>Hormigón pretensado</u>	<u>Hormigón armado</u>	<u>Estructura metálica</u>
74.225.600,00	62.760.470,00	76.297.825,00
	66.097.870,00	81.884.317,00
		88.842.167,00
		99.963.943,00
		112.391.690,00
		113.315.202,00
		123.010.215,00

Construcción de tableros, estribos y pilas.

Longitud de la obra: 143 m.

Adjudicado por concurso. Los diferentes proyectos preveían uno o varios tramos.

Puente de San Leonardo en Lieja - Adjudicado el 13-X-1950

<u>Hormigón pretensado</u>	<u>Estructura metálica</u>
14.123.139,00	14.735.701,00
14.531.677,00	16.436.461,00
	26.204.647,00

Reconstrucción del tablero únicamente.

Puente carretero sobre 4 apoyos: luces 38,40 m + 65 m + 38,40 m.

Puente de Dinant - Adjudicado el 23-II-1955

<u>Hormigón pretensado</u>	<u>Estructura metálica</u>
28.587.700,00	33.104.545,00
28.951.260,00	36.150.904,00
31.962.250,00	38.996.700,00
35.000.000,00	41.066.529,00

Demolición de los antiguos estribos y pilas.

Reconstrucción del tablero y de los nuevos estribos y pilas.

Puente carretero sobre 3 apoyos: luces 54,20 m + 54,25 m.

- - -

