

Arquitectura con hormigón postensado y reflexiones para mejorar la transferencia de conocimiento de otras ciencias hacia la arquitectura europea

Marc Sanabra Loewe

Titulación académica: Arquitecto Superior (ETSAB), Máster Universitario en Tecnología en la Arquitectura (UPC) -Línea Diseño y Análisis de Estructuras Arquitectónicas-
Institución / Universidad / Empresa: Construcciones Arquitectónicas II (UPC)
Dirección de trabajo: Av. Dr. Marañón 44-50, Edificio P, 3ª Planta (EPSEB)
País: España
Correo electrónico: marc.sanabra@upc.edu

RESUMEN

El hecho que el uso del hormigón pretensado sea aún limitado tanto en la arquitectura española como en la europea es un caso claro de lentitud en la transferencia de tecnología de la ingeniería civil a la arquitectura. Observando el fenómeno superficialmente podríamos pensar que sólo se trata de una casualidad o que simplemente no se ha producido transferencia porque no es una tecnología útil para la arquitectura. Pero si recordamos que hace más de 70 años que Freyssinet en Francia - en el corazón de Europa- desarrolló y puso en práctica 3 de las 4 principales variantes del hormigón pretensado, y que actualmente todas se utilizan cotidianamente en arquitectura en todo el mundo, quizás es más razonable pensar que en Europa hay algún problema estructural en la transferencia de tecnología entre estas dos áreas de saber tan cercanas.

PALABRAS CLAVE: *Historia del Hormigón Pretensado, Aplicaciones del Hormigón Pretensado, Transferencia de Tecnología, Arquitecto Especialista.*

ABSTRACT

The fact that the use of prestressed concrete is still limited in both Spanish and European architecture is a clear case of delay in the technology transfer from civil engineering to architecture. When observing the phenomenon in a superficial way one might think that this is only a coincidence or simply that the transfer did not happen because this is not a technology useful for architecture. But if we remember that more than 70 years ago Freyssinet in France, in the heart of Europe, developed and implemented 3 of the 4 main variants of prestressed concrete, and that all currently of them are used daily in architecture around the world, perhaps it would be more reasonable to think that in Europe there is a structural problem in technology transfer between these two so close areas of knowledge.

KEYWORDS: *History of Prestressed Concrete, Applications of Prestressed Concrete, Technology Transfer, Specialist Architect*



Vista del puerto de Valencia, bajo el voladizo postensado del edificio "Veles e Vents" para la Copa América de Valencia 2007. Fuente: B-720, 2007

Arquitectura con hormigón postensadoⁱ y reflexiones para mejorar la transferencia de conocimiento de otras ciencias hacia la arquitectura europea

INTRODUCCIÓN

El hecho de que el uso del hormigón pretensado sea aún limitado tanto en la arquitectura española como en la europea es un caso claro de lentitud en la transferencia de tecnología de la ingeniería civil a la arquitectura. Observando el fenómeno superficialmente podríamos pensar que sólo se trata de una casualidad o que simplemente no se ha producido transferencia porque no es una tecnología útil para la arquitectura. Pero si recordamos que hace más de 70 años que Freyssinet en Francia - en el corazón de Europa- desarrolló y puso en práctica 3 de las 4 principales variantes del hormigón pretensado, y que actualmente todas se utilizan cotidianamente en arquitectura en todo el mundo, quizás es más razonable pensar que hay algún problema estructural en la transferencia de tecnología entre estas dos áreas de saber tan cercanas.

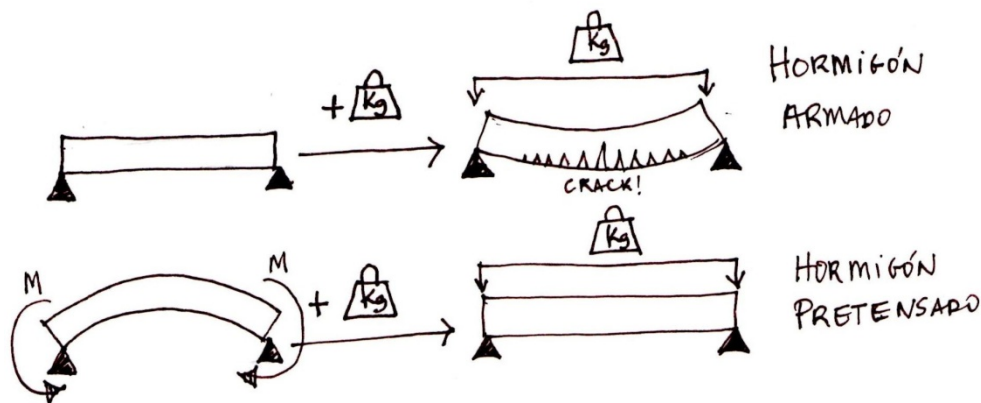
Este artículo pretende comprender el motivo de dicha lentitud y proponer soluciones para incrementar la intensidad, la calidad y la diversidad de la transferencia de tecnología y en general de conocimiento desde la ingeniería y otras ciencias y artes hacia la arquitectura, de modo que ésta pueda revertir los resultados a la sociedad en forma de una arquitectura mejor.

Para alcanzar el objetivo del artículo, se parte del caso concreto del pretensado y se analiza con cierta profundidad. Por eso el trabajo se estructura en 5 partes:

- Los 4 tipos de pretensado y sus aplicaciones en Europa
- Ventajas del pretensado
- Historia de la difusión del pretensado
- Causas de la lenta e incompleta difusión del pretensado en la arquitectura europea
- Propuestas para mejorar la transferencia de conocimiento de otras ciencias y artes a la arquitectura

LOS 4 TIPOS DE PRETENSADO Y SUS APLICACIONES EN EUROPA

El principio en que se basa el pretensado es sencillo: predeformarⁱⁱ un elemento estructural antes de su entrada en servicio, para darle una geometría inversa a la deformación esperable en condiciones normales de servicio. Por ejemplo, arquear una viga hacia arriba, antes de que actúen las cargas gravitatorias que en condiciones normales le dan forma de arco hacia abajo.



Hormigón armado frente a hormigón pretensado. Fuente: esbozo del autor, 2012.

Este principio es aplicable prácticamente a cualquier material y tipología estructural, pero es especialmente efectivo en el hormigón. En este material el pretensado consiste en una precompresión con la que se elimina la fisuración y además optimiza el elemento estructural en su conjunto. Gracias a ello se superan tres de los principales defectos del hormigón armado convencional: a) Se incrementa mucho la durabilidad; b) Se elimina la flecha diferida en vigas; c) Y se aprovecha mucho más el material hormigón, porque toda la sección trabaja comprimida y se evita la existencia de hormigón fisurado que no trabaja y actúa como peso muerto sobre la estructura.

Por estos y otros motivos en ingeniería civil el hormigón armado convencional ha terminado completamente desplazado por el hormigón pretensado.

A continuación se indican los 4 tipos principales de pretensado y sus aplicaciones actuales en Europa. Los 3 primeros tipos fueron desarrollados y puestos en práctica por primera vez por Freyssinet.

- Hormigón pretensado prefabricado con la armadura pretesa (1928) (Freyssinet, 1928)

Consiste en...

Pretensar cables y verter hormigón para hacer prefabricados lineales.

Limitación importante: como la armadura activa no tiene continuidad entre vanos, sólo se pretensa para los momentos positivos pero no para los negativos.



Hormigón pretensado prefabricado con la armadura pretesa: 1. Se tesa la armadura anclándola sobre el banco de prefabricación; 2. Se vierte el hormigón; 3. Después de endurecer el hormigón se suelta la armadura del banco de prefabricación, y la viga entra en carga: se pretensa. Fuente: esbozo del autor, 2012.

Aplicaciones actuales en Europa:

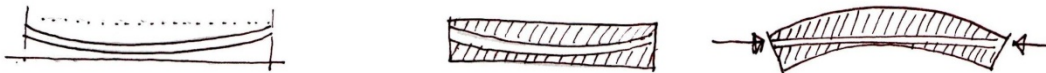
INGENIERÍA CIVIL: Tipología bastante superada. Se utiliza en elementos de poca entidad o estructuralmente sencillos. (Muros de contención, conductos, traviesas de ferrocarril, etc.)

ARQUITECTURA: Muy usado. Especialmente en forjados unidireccionales.

- Hormigón pretensado vertido in situ con la armadura postesa (1939) (Freyssinet, 1939)

Consiste en...

Verter hormigón in situ sobre las vainas de los cables. Cuando el hormigón ha endurecido se postesan los cables.



Hormigón pretensado vertido in situ con la armadura postesa: 1. Se colocan las vainas sobre el encofrado; 2. Se vierte el hormigón; 3. Se tensan y anclan los cables, y la viga entra en carga: se pretensa. Fuente: Esbozo del autor, 2012.

Aplicaciones actuales en Europa:

INGENIERÍA CIVIL: Tipología habitual para resolver geometrías complejas. (Centrales nucleares, presas). Poco rentable para geometrías regulares.

ARQUITECTURA: Incipiente. Crece con fuerza en los últimos años.

- Hormigón pretensado prefabricado en taller con la armadura postesa (1941-1946) (Tassin, 2006)

Consiste en...

Prefabricar en taller piezas de medianas o grandes dimensiones, y unir las en obra mediante el postesado de la armadura.



Hormigón pretensado vertido in situ con la armadura postesa: 1. Se colocan las vainas en los distintos segmentos a prefabricar; 2. Se vierte el hormigón en cada segmento; 3. Se unen en obra los segmentos mediante el postesado y anclaje de la armadura. La viga entra en carga: se pretensa. Fuente: Esbozo del autor, 2012.

Aplicaciones actuales en Europa:

INGENIERÍA CIVIL: Muy usado y en pleno crecimiento. Óptimo para geometrías regulares. (Puentes, depósitos, túneles, etc.)

ARQUITECTURA: Utilización mínima.



Shatin T3 - Hong Kong (2004-2007)
65,800m² of deck, 1,806 segments

Puesta en obra de puente construido a base de segmentos prefabricados, diseñados para ser postensados en obra. Fuente: VSL International, 2012.

- Hormigón pretensado prefabricado in situ con la armadura postesa

Consiste en...

Prefabricar en obra piezas de medianas o grandes dimensiones, y unir las mediante el postesado de la armadura. Permite prefabricar piezas enormes, ya que no requieren transporte.

Aplicaciones actuales en Europa:

INGENIERÍA CIVIL: Tipología en pleno crecimiento. Muy usada para puentes.

ARQUITECTURA: No se conocen aplicaciones recientes.

VENTAJAS DEL PRETESADO

En el listado de ventajas y aplicaciones siguiente todas son atribuibles al hormigón vertido in situ con armadura postesa -que es la tipología más versátil-, y muy pocos a los prefabricados con armadura pretesa -que es la menos versátil-. Para distinguir unos casos de otros se usa el siguiente código: las aplicaciones válidas para las cuatro tipologías se indican con (*), las válidas para los tres tipos de postesado pero no para las armaduras pretensadas, se indican con (**). Las aplicaciones no indicadas, son válidas sólo para postesado con el hormigón vertido in situ:

- El canto de cualquier elemento a flexión se puede reducir un 30% -40% respecto a la solución en hormigón armado (*). Esto implica:

- o Se pueden seguir utilizando las mismas luces que usamos para techos de hormigón armado todo reduciendo el canto un 30% -40% (*), o bien seguir utilizando los mismos cantos incrementando las luces un 60% -90% (*). Por ejemplo: las losas macizas postesas son especialmente óptimas en luces entre los 9 y los 14 m, y permiten fácilmente voladizos (**) de hasta 4 m.

- o Se puede reducir entre un 30% y un 50% el canto de cualquier viga de apeo.



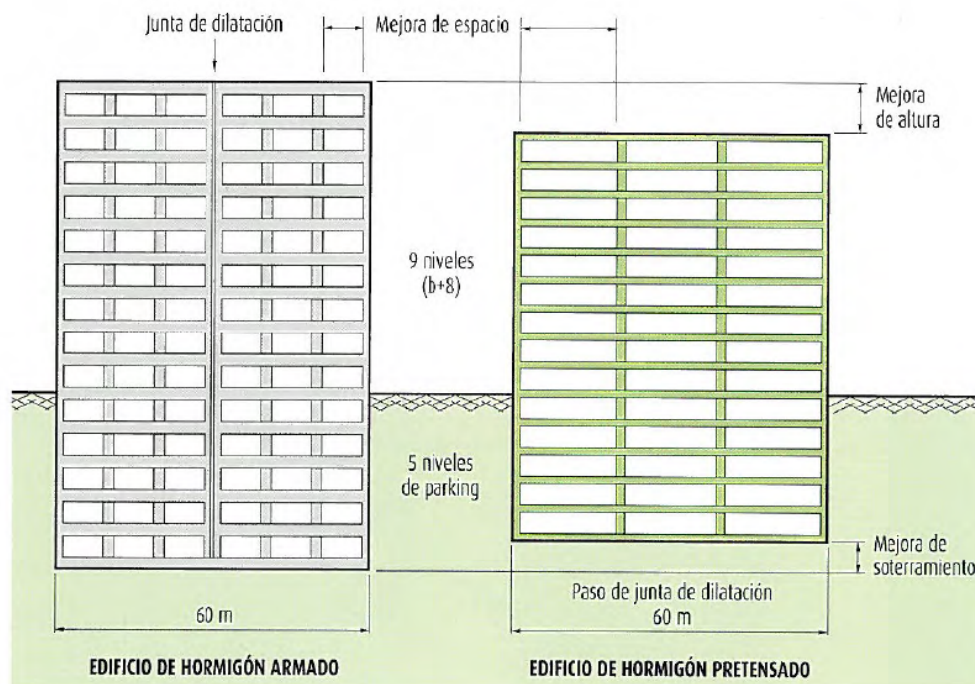
Edificio Veles e Vents, con voladizos de 12 m y luces entre apoyos de 35 m. Fuente: B-720, 2007

- Gran capacidad para formar cimentaciones planas sobre terrenos deficientes:

- o Se puede reducir entre un 30% y un 50% el canto de las losas de cimentación respecto a la solución con armadura pasiva, haciendo que sean una solución competitiva frente al pilotaje.

- o Para cargas pequeñas (1 a 3 plantas) se pueden sustituir las cimentaciones aisladas por una loseta maciza postensada.

- Disminución drástica de las juntas de dilatación (**). Se pueden colocar cada 70 m o más en lugar de cada 30 m.

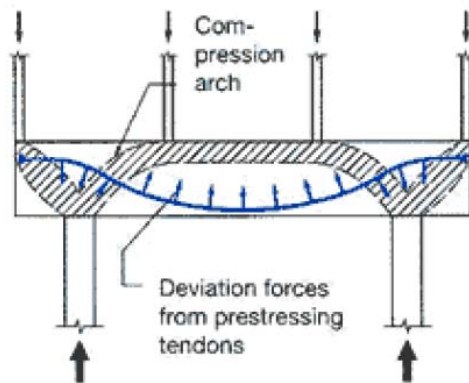


Comparación entre un edificio de hormigón armado y uno de hormigón postensado: Incremento de luces y/o disminución de cantos de techos; eliminación de juntas de dilatación. Fuente: Freyssinet

- Incremento muy notable de la durabilidad (*).
- Reducción muy notable de los tiempos de construcción (*):
 - o En prefabricados es evidente.
 - o En postensados, el tiempo de desencofrado se reduce * entre un 30 y un 50% respecto al hormigón armado, gracias al uso de hormigones de endurecimiento rápido.

Aparte de las aplicaciones anteriores, que son más propias de obra nueva, el postensado también tiene aplicaciones importantes en rehabilitación y restauración. Las dos siguientes son ejemplos:

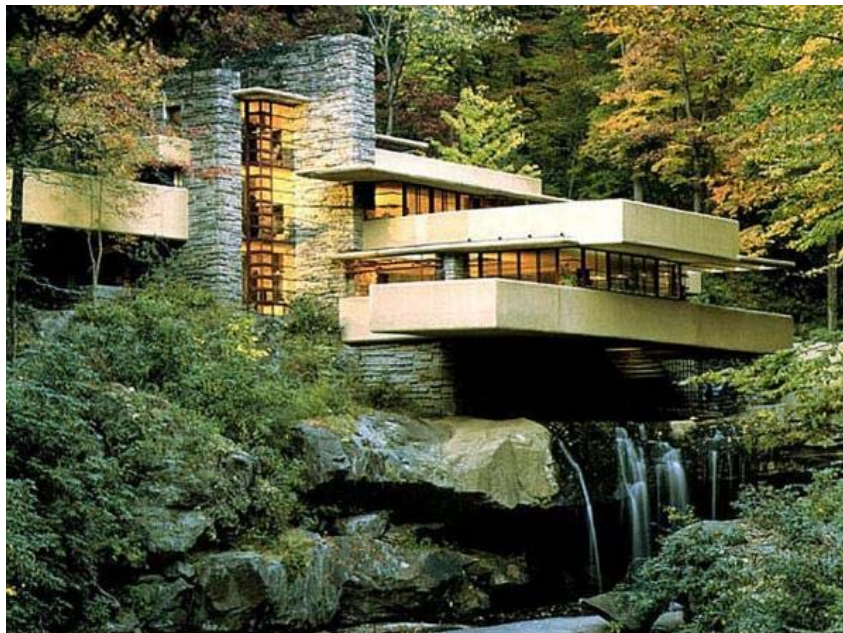
- Apeos para incrementar las luces entre apoyos



Note: Tendon profile typically governed by minimum radius requirements

Esquema de apeo mediante postensado. Fuente: VSL International, 2006.

- Refuerzo de techos, para cambios de uso o reparación de estructuras dañadas



Hasta que no se reforzaron los voladizos de la Waterfall House de Wright mediante postensado no se pudo corregir el problema de flechas excesivas que arrastraba el edificio desde hacía décadas. El refuerzo fue llevado a cabo por VSL. Fuente: VSL

HISTORIA DE LA DIFUSIÓN DEL PRETESADO

Los primeros precedentes en el uso del hormigón pretensado se remontan al 1872 (Nawy, 2009) en EE.UU., pero fueron bastante infructuosos. También en EE.UU., en la década de 1920 se desarrolló un pretensado bastante mejorado usado para la formación de depósitos circulares y tuberías, muy utilizado en las décadas posteriores (Nawy,

2009). Pero el pretensado moderno no comienza hasta que Freyssinet pone la técnica a punto (1928-1939).

Desde entonces y especialmente después de la Segunda Guerra Mundial, se incrementa mucho el uso en ingeniería civil del pretensado en sus 4 variantes. La rápida difusión en esta época se vio muy favorecida por la escasez de acero, ya que el pretensado permite reducciones muy notables de las cuantías de armadura gracias al uso de acero de alta resistencia.

En edificación, el hormigón pretensado también se consolida con fuerza pero casi exclusivamente en la tipología de prefabricados con la armadura pretesa. Esta preponderancia de los prefabricados se debe sobre todo a la gran demanda de viviendas en la posguerra.

Desde entonces, el nivel de difusión y las aplicaciones del pretensado han variado relativamente poco en la Europa Occidental. En cambio, tanto en la Europa soviética como en EE.UU. pocas décadas después de adoptar los prefabricados con armadura pretesa, se llevaron a cabo avances notables también en la aplicación de las tres otras variantes del hormigón pretensado, hasta llegar a convertirlas en convencionales.

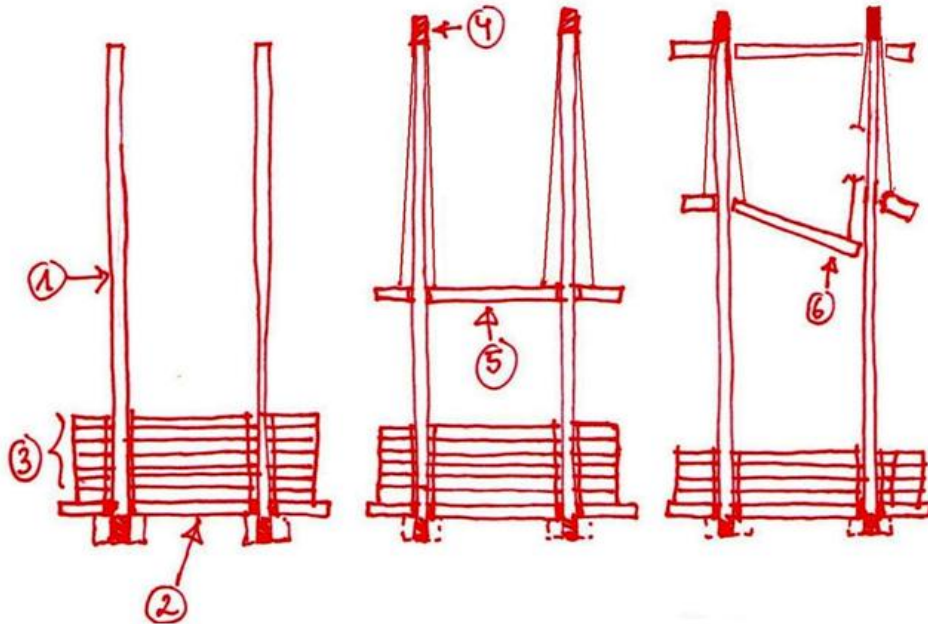
En la esfera soviética, siguiendo la tendencia del uso del prefabricado, en Yugoslavia se desarrolla un sistema a base de fragmentos estandarizados de losa maciza que se prefabrican en taller y se acoplan en obra mediante postesado. Este sistema desarrollado en el año 1957 se ha usado hasta la actualidad en prácticamente todos los países de influencia soviética: desde Cuba hasta China.



Sistema yugoslavo de losas prefabricadas, que se unen a pilares prefabricados mediante postesado. Fuente: IMS, 2009

En EE.UU., el primer puente postesado se hizo en 1949 (Bondy, 2001) usando patentes y técnicas constructivas europeas. En pocos años, el postesado se utiliza en otras aplicaciones de ingeniería civil y a finales de los '50 pasa a la edificación. Se difunde rápidamente gracias a la técnica del "lift-slab", que consiste en prefabricar en obra losas macizas de hormigón armado, que posteriormente se elevan con gatos hidráulicos y se unen a los pilares mediante tendones de postesado. Es una técnica mucho más rápida y eficiente que la construcción in situ con hormigón armado e incluso que la construcción

con prefabricados con armadura pretensada, pero implica algunos riesgos importantes durante su ejecución.



1. Colocación de soportes y conexión con cimientos
2. Construcción de losa de cimientos
3. Construcción de losas de piso separadas por láminas de plástico

4. Colocación de gatos hidráulicos en lo alto de los soportes
5. Elevación una a una de las losas endurecidas; y posterior conexión a los soportes.

6. El posible fallo de un cable puede causar serias lesiones a los operarios, o daños irreversibles en los soportes o a las losas inferiores.

Sistema americano lift-slab muy empleado en las décadas de los 50 y 60

Fuente: Esbozo del autor, 2012

El "lift-slab" quedó superado a finales de los años '60 por las losas postesas hechas in situ, que permitían construir con más seguridad y a velocidades similares o superiores. Vale la pena destacar que el desarrollo y la implantación del "lift-slab" y de la losa postensada fueron en gran medida impulsados por empresas industriales y no por universidades ni por técnicos liberales, es decir que fueron guiadas principalmente por criterios de eficiencia técnica y de rentabilidad económica del promotor y de la industria. (Bondy, 2001)



Losa postensada en proceso de construcción, con las vainas colocadas antes de verter el hormigón. Edificio de oficinas en Gandía (Valencia), con luces de hasta 13 m con cantos de 35 cm. Fuente: Freyssinet, 2012

A partir de los '70 el postensado in situ se fue consolidando: en el periodo 1965-1985 se quintuplicó el volumen de negocio, y desde mediados de los '80 hasta mediados de los '00 ha tenido un crecimiento anual medio del 8% (Post-Tensioning Institute, 2006).

La losa postensada es actualmente una de las tipologías constructivas dominantes en EE.UU. para equipamientos, aparcamientos en altura y usos terciarios (hasta 30 plantas). Por ello, allí las luces más habituales para estos usos están actualmente entre los 10 y los 16 m, y ya que se han abandonado las luces de 7 a 10 m.

En el proceso de consolidación del postensado, ha tenido un liderazgo especial el Post-Tensioning Institute (PTI), fundado en 1976 por los ingenieros y empresas industriales líderes en la tecnología en ese momento. Su influencia ha sido fundamental en muchos aspectos (Bondy, 2001): contribuyendo a la difusión de la técnica entre los ingenieros y constructores gracias a edición de manuales de referencia, influyendo en la redacción de normativas técnicas, definiendo pliegos de condiciones de ejecución, haciendo marketing, etc.

El PTI es, junto con las empresas de postensado internacionalesⁱⁱⁱ, el principal referente mundial en esta tecnología, pero en cambio no tiene un equivalente en Europa donde el postensado in situ para edificación no ha arraigado todavía con suficiente fuerza.

En cambio, en todo el mundo hay varios países que se han inspirado en el modelo del PTI americano para fundar asociaciones de postensado. Reino Unido (PTA, 2007), Australia (PTIA, 2006) y Sudáfrica (SAPT, 1987) tienen una asociación de este tipo, gracias a la cual son actualmente líderes en su continente en la implantación de esta tecnología en edificación.

Aparte de estos países de influencia anglosajona directa, la técnica se está expandiendo bastante rápidamente por todo el mundo: en la última década tanto en Asia (Japón, China, Corea) como en América Latina y en Oriente Medio se observan incrementos muy notables en el uso del hormigón postensado in situ.

En Europa, en cambio sí que hay un incremento del uso de esta tecnología pero todavía muy tímido teniendo en cuenta el nivel medio de desarrollo del continente. Actualmente, aparte del Reino Unido sólo Francia (2004) tiene una asociación de postensado de una cierta entidad que está empezando a reclamar cambios normativos para hacer viable el postensado en edificación.

En nuestro país, desde la Asociación de Calculistas de Estructuras (ACE) -formada sobretodo por arquitectos-, actualmente también se está empezando a impulsar una comisión sobre postensado con una vocación similar a las asociaciones de postensado anglosajonas.

CAUSAS DE LA LENTA E INCOMPLETA DIFUSIÓN DEL PRETENSADO EN LA ARQUITECTURA EUROPEA

A continuación se indican las causas más probables, que se ordenan de más generales a más particulares:

- El hecho de que en la gran mayoría del sector de la construcción Europeo -y mundial- haya una división tan marcada entre las funciones del arquitecto y las del ingeniero no favorece que la ambición estética y la ambición técnica vayan de la mano al proyectar.
- La devastación de la 2ª Guerra Mundial y la posterior Guerra Fría causaron un atraso relativo de Europa respecto de los EE.UU. y la Unión Soviética en el período 1945-1991, al detener el flujo de tecnología Este-Oeste incluso dentro de Europa.
- La necesidad de reconstrucción acelerada de viviendas en la posguerra favorece mucho la utilización del prefabricado. Como el pretensado se difunde justamente en ese momento, su uso queda encasillado en el prefabricado y en particular en el que tiene la armadura pretesa. La tendencia a seguir usando el pretensado exclusivamente en los prefabricados a pesar del paso de las décadas puede tener dos motivos: por un lado que muchos de los países más punteros de Europa (Reino Unido, Escandinavia, Alemania, etc.) tienen climas muy fríos que favorecen el uso de prefabricados y de estructuras de acero frente al hormigón in situ, y por otra que el conocimiento de la técnica es muy especializado y se concentra sobre todo en ingenieros vinculados a la prefabricación, que no tienen interés en difundirla hacia otros agentes que puedan usar el pretensado para la construcción in situ (Francia y otros países mediterráneos).
- La lenta y todavía muy incompleta integración europea favorece un clima de espera en el periodo que va de 1993 hasta la actualidad. En particular, en el campo de las estructuras, entre 1991 y 1998 se publica la versión provisional de los Eurocódigos: normas comunes de diseño y cálculo de estructuras. La versión definitiva aparece en 1998, pero no entra en vigor hasta 2010 -en España de manera muy incompleta-. Debido a la no ratificación de la Constitución Europea en 2005, algunos países -como España- siguen editando nuevas normativas estatales, y la normativa común progresa poco, quedando atrasada respecto a normativas de otras economías más dinámicas.
- En 1998 se constituye la Federación Internacional del Hormigón (FIB), al fusionarse el Comité Euro-Internacional del Hormigón (CEB) y la Federación Internacional del Pretensado (FIP). Todos ellos organismos con sede en Francia. En mi opinión, esta concentración causa un déficit de atención al pretensado, lo que afecta especialmente al pretensado con armadura postesada. En EE.UU., en cambio, se mantiene la diversificación entre la ACI (American Concrete Institute) (1904), el PPCI (Prestressed / Precast Concrete Institute) (1954) y el PTI (Post-Tensioning Institute) (1976).

PROPUESTAS PARA MEJORAR LA TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO DE OTRAS CIENCIAS Y ARTES A LA ARQUITECTURA

El ejemplo del postensado sirve para poder plantear con cierto realismo mejoras generales al sistema de formación y a la regulación de la práctica profesional, todo ello con la intención de mejorar la transferencia de tecnología a la arquitectura y en definitiva de mejorar el servicio ofrecido a la sociedad.

Se hacen 5 propuestas en total. La primera centrada en el concepto de mestizaje entre arquitectura y otras áreas de conocimiento, y las otras cuatro pivotando alrededor del concepto de arquitecto especialista:

- Favorecer el mestizaje de la arquitectura con otras disciplinas, para enriquecerse de ellas. De la misma manera que un ingeniero de edificación puede hacer un máster de proyectos de arquitectura o de alguna otra especialidad de arquitectura, también se propone favorecer que lo haga un ingeniero industrial, un ingeniero de caminos, o uno de materiales o de robótica. Y más allá de los ingenieros, que también lo hagan graduados en bellas artes, en química, en física o en otras disciplinas relacionadas directamente con la arquitectura. Lo fundamental, sin embargo, será que más allá de los conocimientos propios de la especialidad, el graduado no arquitecto adquiera durante el máster la aptitud de proyectar arquitectónicamente, que debe ser el denominador común de todo técnico vinculado a la arquitectura. El fin último de esta propuesta es poder obtener profesionales altamente especializados y polivalentes que, además, sean capaces durante el 3^o ciclo de hacer aportaciones de alta calidad y profundamente innovadoras.
- Reconocer que la profesión de arquitecto es lo suficientemente compleja como para que requiera de especialistas para ofrecer un servicio de verdadera calidad, como ocurre por otra parte en otras profesiones liberales como la de médico o la de abogado. Hay que reconocer también que la arquitectura de calidad requiere de la interacción de todos estos especialistas y, por tanto, se hace necesaria una cultura de la cooperación y el trabajo en equipo. Esta arquitectura se entiende pues como una obra coral: como una película de cine, donde los títulos de crédito pueden ser muy extensos pero el resultado es una obra única e integradora.

Como una indicación de las posibles especialidades de la arquitectura que se podrían llegar a reconocer se indican a continuación los principales tipos de servicios que puede ofrecer el arquitecto según la Unión Internacional de Arquitectos. Se han introducido en cursiva varias propuestas de mejora:

Especialidades de diseño:

- Diseño de edificios *de nueva planta*
- Diseño de infraestructuras *de nueva planta*
- Diseño urbano y ordenación del territorio
- Diseño y *mantenimiento* de paisaje
- Diseño y *mantenimiento* de interiores
- Diseño y *conservación* de estructuras

- Diseño y *mantenimiento* de instalaciones
- *Diseño y conservación de condicionamientos, de sistemas de cerramientos y acabados (= Diseño y conservación sostenibles)*
- *Conservación de edificios: Restauración, rehabilitación, durabilidad y mantenimiento*
- *Conservación de infraestructuras: Restauración, rehabilitación, durabilidad y mantenimiento*

Otras especialidades:

- Control de costes y plazos de ejecución
- Dirección y gestión de obras
- Consultoría pericial
- Tasaciones y valoraciones
- Legalizaciones

- Para lograr una convergencia con Europa que favorezca un servicio de alta calidad se propone hacer que la figura del arquitecto especialista sea intercambiable hasta cierto punto con una figura que se podría llamar "ingeniero arquitectónico". Esta propuesta tiene como objetivo dar una respuesta de calidad a dos dicotomías fundamentales: arquitecto versus ingeniero, y modelo español versus modelo europeo mayoritario. El modelo español de arquitecto comparado con la mayoría de modelos europeos es omni-competente tanto a nivel de formación como de competencias reales. Gracias a ello en España no hay un divorcio entre la estética y la técnica. A cambio, el arquitecto resulta ser de formación y vocación generalista y acaba siendo incapaz de alcanzar un conocimiento completo y actualizado de todas las vertientes de la profesión. La figura de arquitecto especialista español, que es claramente compatible con la aplicación de los criterios de Bolonia, tiene la capacidad de casar estética y técnica y a la vez permitir un nivel técnico muy elevado dentro de cada especialidad. Además, gracias a "Ley Ómnibus" Europea^v, siempre que pueda acreditar su calificación^v podrá ejercer su especialidad en el resto de Europa ofreciendo un servicio de consultoría técnica potente y con sensibilidad estética, lo que lo diferencia de la gran mayoría de consultores europeos actuales, que son ingenieros sin formación estética. A fin de promover en Europa la noción de técnico especialista con sensibilidad proyectual (ingeniero arquitectónico), se propone favorecer que ingenieros europeos realicen másteres en facultades de arquitectura donde la actitud proyectual y creativa tengan una especial centralidad, de una manera similar a los Másteres de Arquitectura de la UPC. De esta manera se consolidaría en Europa el modelo de arquitectura de calidad vigente aquí, dándole validez y posición de liderazgo a nuestro modelo.

- Favorecer la creación de asociaciones de arquitectos especialistas y consolidar las existentes, convirtiéndolas en foco de investigación. Deberían tener todas una estrecha relación entre ellas -posiblemente amparadas por los colegios de arquitectos y de ingenieros- además de tener una fuerte vinculación a la universidad y a la industria, y estar abiertas a la sociedad para responder a sus necesidades. Por otro lado, como que en aplicación de la "Ley Ómnibus", para ejercer en un Estado miembro puede ser necesario un certificado de calidad emitido por una agencia de certificación de calidad o una "carta de calidad" emitida por un "organismo profesional a nivel europeo"^{vi}, se podría llegar a delegar en estas asociaciones de especialistas el arbitraje de sistemas de control de competencias bien exigentes.

- Reconocer y regular la función del arquitecto especialista con el objetivo de incrementar su prestigio y admitirle una competencia especialmente elevada para ejercer su función especializada y para asumir su responsabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Bondy Kenneth B.** Post-Tensioned Concrete Buildings. Past and Future. An Insider's View. [Publicación periódica] // PTI Journal. - Diciembre de 2006. - págs. 91-100.
- Bondy Kenneth B.** Post-Tensioned Concrete: Five Decades of American Building Construction [Publicación periódica] // Concrete Construction. - Diciembre de 2001.
- Freyssinet Eugène** Procédé de fabrication de pièces en béton armé [Patente]. - France, 2 de octubre de 1928.
- Freyssinet Eugène** Système d'ancrage de câbles sous tension destinés à la réalisation de construction de béton précontraint [Patente]. - France, 26 de août de 1939.
- Nawy Edward G.** Prestressed Concrete: A fundamental approach [Book]. - [s.l.] : Pearson, 2009.
- Post-Tensioning Institute** Post-Tensioning Manual/Sixth Edition [Book]. - Phoenix : Post-Tensioning Institute, 2006. - ISBN 0 9778752 0 2.
- Tassin Daniel M.** Jean M. Muller: Bridge Engineer with Flair for the Art Form [Publicación periódica] // PCI Journal. - March-April de 2006. - págs. 88-101.
- Unión Internacional de Arquitectos** [En línea]. - 03 de 2012. - <http://www.uia-architectes.org>.
- Universidad de Granada** Libro Blanco. Grado en Ingeniería de Edificación [Informe]. - Madrid : ANECA, 2004.
- Universidad Politécnica de Madrid** Libro Blanco. Titulaciones de Ingeniería Rama Industrial [Informe]. - Madrid : ANECA, 2006.
- Universidad Politécnica de Madrid** Libro Blanco. Título de Grado de Arquitectura [Informe]. - Madrid : AENCA, 2005.
- Universidad Politécnica de Madrid** Libro Blanco. Título de Grado en Ingeniería Civil [Informe]. - Madrid : ANECA, 2004.

NOTAS AL FINAL

ⁱ La expresión "hormigón postensado" actualmente no se considera como técnicamente rigurosa, pero se utiliza a lo largo del texto por su concisión y porque es el término más extendido para designar este concepto. La expresión correcta es "hormigón pretensado con la armadura postesa". Esta terminología, que es fiel a la original de Freyssinet, se basa en el hecho de concebir que el "pretensado" (al hormigón o a cualquier otro material) es una acción que se aplica a un elemento estructural previamente a su entrada en servicio. En cambio, cuando decimos que unas armaduras son "pretesas" o "postesas" estamos indicando que se han tensado antes o después del momento de hormigonar, y por tanto ya no nos estamos refiriendo al momento de entrada en servicio. La confusión terminológica viene de utilizar dos términos muy similares para hablar del pretensado del hormigón y del tesado de las armaduras. Estas dificultades no se presentan en otras lenguas, ya que tienen términos bastante diferentes para nombrar los dos conceptos. Por ejemplo, en francés el pretensado (del hormigón) es *précontrainte*, y el pretensado y postensado de la armadura es *prétension* y *post-tension*. En inglés: *prestress*, *pretension* y *post-tension*, y en mexicano (más rico que el castellano en este campo): *preesforzado*, *pretensado* y *postensado*.

ⁱⁱ En este contexto predeformar se puede considerar equivalente a pretensar siempre que el material pretensado trabaje en régimen elástico, cosa mayoritariamente cierta en hormigón pretensado. En este caso se

ha usado la aproximación al pretensado usando el concepto de predeformación, y no directamente el de pretensado, por el hecho de considerar esta aproximación más visual y, por tanto, más adecuada al público no especialista en estructuras al que se dirige este artículo.

ⁱⁱⁱ Curiosamente las tres empresas de postensado más potentes del mundo son empresas fundadas y actualmente con sede en Europa: Freyssinet (Francia), VSL (Suiza) y Dywidag (Alemania).

^{iv} “Ley Ómnibus” es el nombre por el que se conoce la Directiva 2006/123/CE del Parlamento Europeo y el Consejo del 12 de diciembre de 2006.

^v Según el artículo 26.1 de esta ley, se permite que los prestadores de servicios puedan garantizar la calidad de sus servicios mediante organismos independientes de control de calidad o mediante una carta de calidad elaborada por organismos profesionales (colegios o similares) que sean de ámbito europeo.

^{vi} Este organismo a nivel europeo debería ser una especie de federación de colegios de arquitectos europeos.