

Las primeras patentes depositadas en España que desarrollaron la prefabricación y la industrialización en el hormigón armado: 1886-1906

Francisco José Domouso de Alba

LAS PATENTES DE HORMIGÓN ARMADO

El hormigón armado nace en el siglo XIX como una invención, y las invenciones en la segunda Revolución Industrial fueron la razón de ser de las patentes.¹

Las patentes tuvieron una gran importancia en el desarrollo inicial del hormigón armado por dos motivos fundamentales: el producto y el negocio.

Por un lado, el producto. Las patentes ofrecían uno que funcionaba. Las primeras estructuras o aplicaciones de hormigón armado no se calculaban y construían siguiendo una reglamentación, se compraban. Y el resultado de esta compra solía ser en la mayoría de los casos satisfactorio para el uso demandado. Las patentes vendían sistemas estructurales cuyo funcionamiento estaba corroborado por la experiencia, pero con escaso o nulo soporte científico, o al menos eso parecía.²

Por otro lado, el negocio. El negocio es la principal razón de ser de las patentes. Esta ha sido la primera vez en la historia de la construcción que la invención de un material permitía ganar dinero a gran escala a sus explotadores, que eran muchos. Y lo permitió porque el desarrollo de la segunda Revolución Industrial afianzó las bases jurídicas de la protección intelectual, y porque el hormigón armado, como veremos más adelante, era necesario inventarlo. Además, el mercado al que accedía era prácticamente ilimitado. Será, desde este momento, el material estructural más extendido, aplicándose a construcciones y objetos de todo tipo.

En poco tiempo los emprendedores, inventores, constructores, arquitectos e ingenieros vieron la posibilidad de conseguir un beneficio económico vendiendo sistemas estructurales de hormigón armado, completos o parciales, cuyo funcionamiento interno solo conocían o intuían ellos.

Las patentes sirvieron para costear la prueba-error de un sistema constructivo con escaso soporte teórico en sus primeros momentos.³ Pero también para financiar un modelo publicitario basado en mostrar las virtudes del material a base de ensayos de todo tipo, de pruebas de carga imposibles, de resistencia a fuego, etc. Estos ensayos, documentados con abundante información gráfica (fotografías y planos),⁴ y certificados por los científicos o técnicos de la época vinculados (o no) a la patente, eran la mejor tarjeta de presentación para conseguir futuros clientes.

España se incorporó a la técnica del hormigón armado con más de dos décadas de retraso respecto a Francia o Alemania. En 1890, en Europa, se construían ya estructuras de hormigón armado de cierta envergadura y complejidad. En España hubo que esperar hasta 1893 para la primera obra en hormigón armado, que fue un sencillo depósito descubierto en Puigverd (Lérida), ejecutado por el ingeniero militar Francesc Macià con patente Monier.

En 1898, de la mano de Hennebique, se empezó la construcción de los dos primeros edificios con estructura de hormigón armado en España. Fueron dos obras puntuales, con proyectos importados de Fran-

cia, pero necesarias para introducir de manera definitiva el nuevo material.

En paralelo, en París, se estaban edificando en hormigón armado la mayoría de los pabellones de la Exposición Universal de 1900⁵. En el cambio de siglo, las construcciones de hormigón armado habían alcanzado ya la madurez proyectual y técnica en Europa.

A pesar de esta incorporación tardía, se puede constatar por las obras ejecutadas que, en un periodo corto de tiempo, entre 1900 y 1906, se alcanzó en España prácticamente el mismo nivel técnico y constructivo que tenían el resto de los países que fueron pioneros en el empleo del hormigón armado.

Las patentes fueron fundamentales en el desarrollo inicial del hormigón armado en España: ofrecían un producto que funcionaba. Las primeras estructuras de hormigón armado no se calculaban y se construían siguiendo una reglamentación, se compraban. Y el resultado de esa «compra» solía ser, en la mayoría de los casos, satisfactorio. Las patentes vendían sistemas estructurales cuyo funcionamiento estaba corroborado por la experiencia y la pericia de su inventor.

Las patentes sobre cemento y hormigón armado depositadas en España entre 1884 y 1906 fueron uno de los factores que proporcionaron a los técnicos y a las empresas españolas una pericia constructiva sólida en el empleo del hormigón armado (Domouso 2016), y fueron una de las razones constructivas que explican su rápida evolución e implantación en un periodo de tiempo breve: 1900-1906.

LAS PRIMERAS PATENTES DE HORMIGÓN ARMADO DEPOSITADAS EN ESPAÑA QUE AYUDARON A DESARROLLAR LA PREFABRICACIÓN Y LA INDUSTRIALIZACIÓN EN EL HORMIGÓN ARMADO

El número de patentes depositadas en España vinculadas al hormigón armado en el periodo 1884-1906 asciende a 114. Entre ellas destacan 11 que ayudaron a desarrollar la prefabricación y la industrialización del hormigón armado. Son las primeras referencias a la prefabricación y a la técnica del hormigón pretendado en España.

Análisis constructivo

Las patentes que aportan conocimiento relevante en la prefabricación y la industrialización del hormigón

Fig. 3.

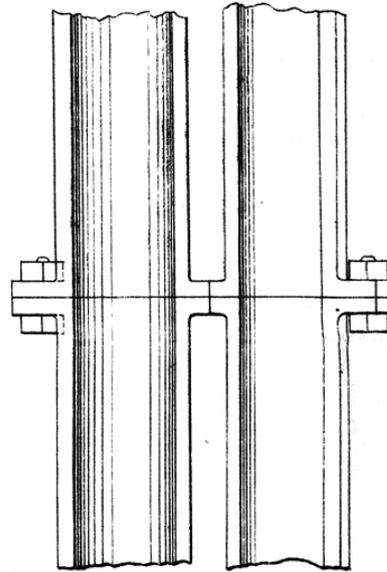


Fig. 4.

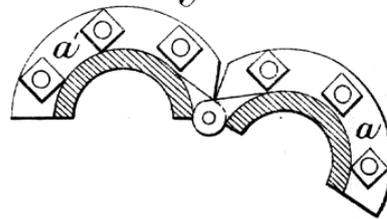


Figura 1

Wilson, patente española número 5787, detalle plano 1/5, 1886

armado se sitúan en dos franjas temporales que se corresponden con el inicio y el final del periodo estudiado.

Aunque proporcionalmente son pocas (11 sobre 114, solo suponen el 9,6% del total), está clara polarización temporal permite distinguir su importancia relativa para el hormigón armado en España. Cabría esperar que el concepto de prefabricación e industrialización tardara en plasmarse en las patentes, ya que implica una industrialización y una tecnificación ma-

Año	Nº de patente	Título	Inventor	País de origen
1886	5787	Perfeccionamientos introducidos en la fabricación de toda clase de postes, columnas, pilares, tubos y demás objetos análogos, propios para ferrocarriles, construcciones y otros usos	Wilson, David	Reino Unido
1886	6156	Perfeccionamientos introducidos en las traviesas para ferrocarriles, recipientes de todas clases y construcciones en general de hierro y cemento	Monier, Joseph	Francia
1891	12301	Objetos de materia plástica, con armazón metálica, compuesta de tejidos de alambre u otros	Cottancin, Paul	Francia
1900	25990	Un nuevo resultado industrial que consiste en un sistema de construcción en hormigón de cemento armado, particularmente aplicable a los muros de sostén de los muelles de carga de las vías férreas y demás	Hennebique, François	Francia
1901	28475	Perfeccionamientos en la construcción de pisos de hormigón armado	Parcy, Paul Victor	Francia
1903	31097	Una viga de celosía	Visintini, Franz	Suiza
1903	31622	Un nuevo sistema de bloques y dovelas de argamasa o cemento armado para toda clase de construcciones	Isoard, Denis	Francia
1904	33301	El procedimiento para preparar piezas para construcción, moldeados por presión formados con pasta-mortero u hormigón de cemento hidráulico y reforzadas con armaduras metálicas exteriores atirantadas o sin atirantar	Granda Callejas, Bernardo de	España
1906	37371	Una construcción de hormigón armado	Lavanchy, Oscar	Suiza
1906	38624	Un techo de hormigón armado	Bayer, Hans	Alemania
1906	39541	Un sistema de construcción de hormigón armado con armaduras rectas de tracción sobreextendidas	Sacrez, Edmond Joseph	Bélgica

Tabla 1

Patentes que ayudaron a desarrollar la prefabricación y la industrialización del hormigón armado

mayor que la necesaria para las realizaciones de hormigón in situ. Sin embargo, en los años iniciales del periodo estudiado ya se plantean propuestas de cómo usar la prefabricación en hormigón armado.

Cuando se analiza la procedencia de estas patentes se aprecia que, aunque estas provienen de cinco países (Reino Unido, Francia, España, Bélgica y Suiza), la mayoría son de origen francés (prácticamente el 50%).

Una de las primeras patentes seleccionada, la de Wilson de 1886, tiene por objeto la fabricación de tubos, representando y describiendo un desarrollo muy elaborado de moldes y sistemas de desmoldeo.

Como puede apreciarse la definición es muy exhaustiva y de carácter técnico, acorde a las mejores

definiciones industriales de la época. El objeto de la patente no es estructural, sino que tiene como finalidad la sustitución de tuberías de acero por otras de cemento armado.

La primera patente en la que aparece la intención de resolver las juntas constructivas entre piezas, que es sin duda uno de los aspectos más relevantes a solucionar en un sistema de prefabricación de hormigón, es la de Cottancin de 1891. En mi opinión, su aportación más importante es la propuesta que realiza para las uniones entre piezas.

El primer elemento que encontramos con un claro carácter estructural es la patente de Hennebique de 1900, «Un nuevo resultado industrial que consiste en

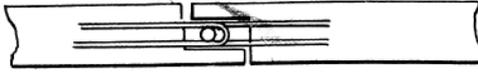


Figura 2
Cottancin, patente española número 12301, detalle plano 1/1, 1891

un sistema de construcción en hormigón de cemento armado, particularmente aplicable a los muros de sostén de los muelles de carga de las vías férreas y demás». En ella se patenta un muro de hormigón armado prefabricado para resolver el empuje de tierras en el salto que se produce en los andenes de las estaciones de ferrocarril. El muro prefabricado incorpora un rail metálico para evitar que se desportille la cabeza de hormigón por el impacto de los vagones a su paso por el andén.

Hennebique, al contrario que Cottancin, no define las uniones entre muros, pero sí proyecta una forma que responde a las acciones a las que está sometida la pieza.

Sin embargo, la realización de este elemento tridimensional requeriría un tipo de molde muy complejo además de un sistema de desmolde muy laborioso que parece que no se ha tenido en cuenta en la elaboración de la propuesta. Tampoco se contempla algún sistema de guía de montaje o de agarre para elevar o manipular los muros.

Al año siguiente, en 1901, Parcy presenta una patente que tiene por objeto la construcción de losas

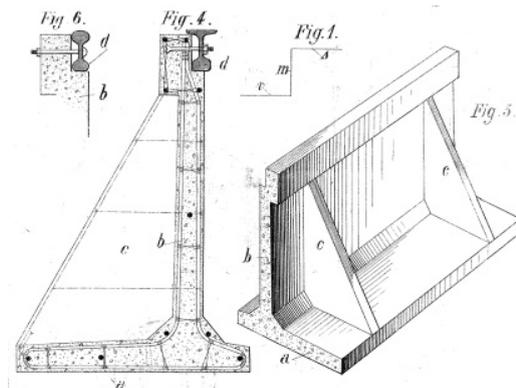


Figura 3
Hennebique, patente española número 25990, detalle plano 1/1, 1900

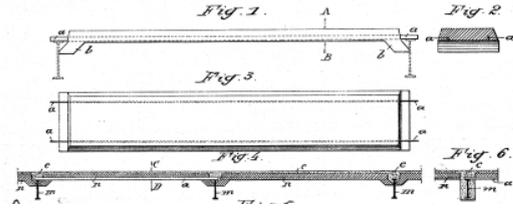


Figura 4
Parcy, patente española número 28475, detalle plano 1/1, 1901

prefabricadas. Proyecta unas placas de pequeño espesor de hormigón prefabricado apoyadas entre vigas metálicas. Parcy, al contrario que Hennebique, tiene muy en cuenta la unión entre placas, que hace coincidir con las vigas metálicas, generando una junta abierta que se hormigona in situ junto a la capa de compresión que da cohesión al conjunto.

Resolver las uniones entre piezas es fundamental en un sistema prefabricado y Parcy detalla los encuentros de forma que queda claro el proceso constructivo y de montaje.

En esta patente no se dibujan las armaduras, que se entiende que irán en función del cálculo, sino que se centra en la clave de la prefabricación que son las juntas, la forma adecuada para la correcta extracción de las piezas de los moldes y su manipulación posterior. Por tanto, muestra las piezas en sus aspectos constructivos. Estos elementos, aunque espaciales, están diseñados para apilarse y transportarse sin grandes problemas. Su dimensión es adecuada al manejo de los medios auxiliares de la época. La realiza-

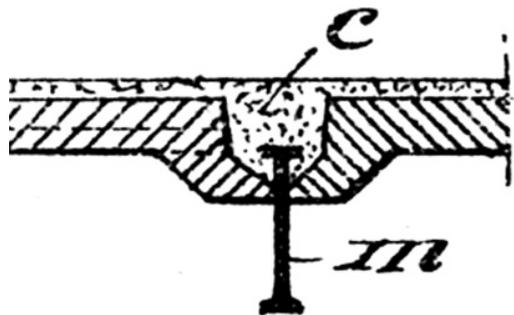


Figura 5
Parcy, patente española número 28475, detalle plano 1/1, 1901

ción de esta estructura parece insinuar o apuntar el futuro desarrollo de estructuras mixtas de hormigón y acero.

En 1903 se depositó una patente relevante para la prefabricación. Se trata de una cercha prefabricada de hormigón proyectada por Visintini, arquitecto suizo. Presenta tres variantes: la cercha Warren, la cercha Pratt y una cercha en celosía o doble Warren.

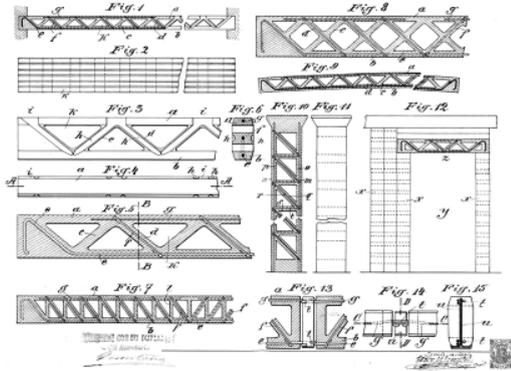


Figura 6
Visintini, patente española número 31097, plano 1/1, 1903

Los elementos de la cercha que se supone que trabajan a tracción van armados, y los que se supone que trabajan a compresión no tienen ninguna indicación de armado. Aunque desde el punto de vista conceptual el planteamiento es correcto, lo que nos da a entender es que Visintini no previó la alternancia de cargas ni los estados intermedios de esfuerzos generados durante el proceso de montaje, como por ejemplo una grúa que las elevara de unos puntos muy diferentes a los previstos para los apoyos, con lo que las vigas trabajarían al revés, y nos encontraríamos con barras a tracción sin armadura. Por tanto, aunque la propuesta de cerchas prefabricadas es un avance interesante, que será elaborado con más detalle en años posteriores (Domouso 2011, 239-335), la propuesta de esta patente no ha tenido en cuenta algo tan fundamental como su montaje en obra.

El mismo año, 1903, Isoard presenta otra patente que recoge un forjado prefabricado junto a un conjunto de piezas heterogéneas (como es, por ejemplo, un sistema de muro armado de diferentes espesores).

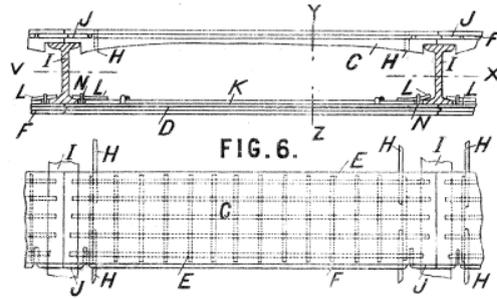


Figura 7
Isoard, patente española número 31622, forjado prefabricado, detalle plano 1/1, 1903

Esta patente, aunque posterior a la de Parcy, no acomete casi ninguno de los aspectos importantes de la prefabricación: facilidad de fabricación, moldeo y desmolde, uniones, montaje, cohesión de las piezas una vez colocadas, etc.

En 1905, Lavanchy, de origen suizo, depositó una patente de vigas y forjados prefabricados. Esta muestra reflexiones interesantes en la línea de las que realizaban los principales tratadistas del momento.

En primer lugar, realiza una reflexión sobre la necesidad de fortalecer la rugosidad entre el hormigón y el acero, de forma que se garantice una mayor adherencia entre ambos materiales, y que esta sea más duradera. En los dibujos aparecen con claridad los redondos de acero, que podrían ser de hierro dulce, enlazados como si fueran cadenas.

Parece evidente que la armadura no se coloca de manera adecuada, pero resulta interesante la propuesta sobre el armazón. Asimismo, desarrolla varias propuestas mediante la inclusión de mallas metálicas como armado. Esta patente, a pesar de ser posterior,

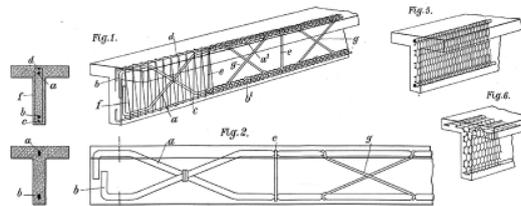


Figura 8
Lavanchy, patente española número 37371, disposición de armadura, detalle plano 1/1, 1906

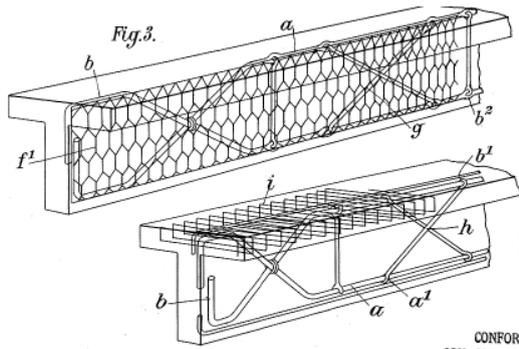


Figura 9
Lavanchy, patente española número 37371, disposición de armadura, detalle plano 1/1, 1906

es menos avanzada técnicamente que la de Parcy; muestra desconocimiento estructural y no plantea la mayoría de los problemas sustanciales de la prefabricación.

A pesar de todo, esta patente sí que presenta unas tipologías que posteriormente serán de uso habitual en la prefabricación. Intuye una tipología de forjado, a base de T y T invertidas que será desarrollada profusamente en años posteriores.

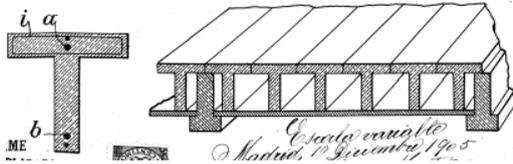


Figura 10
Lavanchy, patente española número 37371, tipología de forjado, detalle plano 1/1, 1906

Las dos primeras patentes de hormigón pretensado: 1904 y 1906

Se depositaron dos patentes, en mi opinión, pioneras en la disciplina del hormigón pretensado: la patente del ingeniero de caminos español Bernardo de Granda y Callejas (1904) y la patente del ingeniero belga Edmond Joseph Sacrez (1906).

La primera patente es de Granda y Callejas, ingeniero de caminos, profesor de materiales de la Escue-

la de Ingenieros de Caminos de Madrid. En ella se adivina por primera vez en España el concepto de pretensado que más adelante desarrollará Freyssinet junto a otros autores.

Bernardo de Granda y Callejas fue profesor de Mecánica Aplicada en la primera década del siglo XX y, posteriormente, de Resistencia de Materiales, clase que impartiría durante toda su carrera docente (Fraile Mora 2003). En 1940 fue nombrado por Franco presidente del Consejo de Obras Públicas a propuesta del ministro del ramo Alfonso Peña Boeuf.

Autor de varias publicaciones docentes, destaco su clásico y constantemente reeditado *Materiales aglomerantes. Exposición elemental*⁶ (De Granda y Callejas, 1904), libro de cabecera de muchos ingenieros de caminos y arquitectos en España.

A pesar de no tratar como material el hormigón armado (solo menciona «los morteros o los hormigones, con los materiales ferrosos convenientemente dispuestos, dan origen al hormigón armado»), el conocimiento que el autor tenía de los cementos era importante.

El conocimiento de los cementos artificiales es ya muy amplio y se estudian en profundidad en la Escuela de Caminos. El principal cemento artificial estudiado es el Portland (De Granda y Callejas, 1904, 65-117), explicándose con todo detalle su proceso de fabricación e ilustrándose con la maquinaria necesaria para dicho proceso.

En este manual se destacan tres aspectos, que bien, sin tener un amplio desarrollo, resultan de especial importancia para el hormigón armado (De Granda y Callejas 1904, 115-117):

- Adherencia: la adherencia de los morteros de cemento con los materiales de construcción sigue siendo una asignatura pendiente o al menos poco estudiada. Este es un apartado breve (De Granda y Callejas 1904, 115-116) es donde se hace referencia a las conclusiones de Coignet y Tedesco o de Bauschinger. Según Coignet y Tedesco, la adherencia entre el cemento Portland y el árido (o las «piedras», como indica textualmente De Granda) es de 25 kg/cm². Según Bauschinger, la adherencia de los morteros de cemento Portland con el hierro es de 40 kg/cm².
- Estabilidad de volumen: se indica que los cementos Portland de buena calidad no ven afectada

tado su volumen por las variaciones de humedad, sequedad, frío o calor. Se hace referencia a que responden a la ley física de la dilatación y que su coeficiente es igual al del hierro, si se trata de pastas (cemento con agua), e inferior si son morteros (cemento con arena).

- Resistencia a las influencias atmosféricas: los morteros de cemento Portland no son heladizos y pueden someterse a saltos térmicos importantes de temperatura sin que sufran alteraciones de resistencia.
- Hormigones (De Granda y Callejas 1904, 195): definición del hormigón (o «nuégado» o «derretido de piedras»): es una fábrica compuesta por mortero ordinario o hidráulico y piedra partida o canto rodado de dimensiones máximas 0,06 o 0,07 m. Se emplea el hormigón en masa principalmente en cimentaciones y grandes macizos, ejecutándose por capas sucesivas.

En 1904, Granda y Calleja depositó la patente número 33301, «El procedimiento para preparar piezas para construcción, moldeados por presión formados con pasta-mortero u hormigón de cemento hidráulico y reforzadas con armaduras metálicas exteriores atirantadas o sin atirantar».

El objeto de la patente son viguetas transportables de hormigón de cemento con armaduras metálicas

«atirantadas» previamente. En mi opinión el autor quiere patentar una idea o concepto más que un sistema constructivo. Tiene carácter de ejercicio teórico más que de invención con fines comerciales. Propone 12 soluciones formales de diferentes de vigas y dos soluciones de losas. Las propuestas formales, salvo una de losa, no aportan novedad y varias son réplicas de perfiles metálicos, pero por primera vez aparece un gato o mandril para tensar los redondos antes del fraguado.

Esta patente no tuvo curso, posiblemente por lo insólito de la propuesta para un temprano 1904, aunque, en mi opinión, esta puede ser una de las primeras referencias conocidas de hormigón pretensado.

En la memoria de la patente se indica que la armadura metálica se «atirantarán» de manera que «las tensiones que nazcan influyan de modo favorable en la repartición de las acciones mecánicas y deformaciones que las viguetas puedan sufrir cuando estén puestas en obra». Las armaduras pretensadas se mantienen en tensión durante el fraguado de las viguetas. La patente no aporta datos de cálculo, pero describe con acierto el funcionamiento estructural de la pieza y las consecuencias favorables para la misma de la aplicación del «atirantado» previo de las armaduras.

Aunque la patente es parca en su definición técnica, considero que la aparición del concepto de pretensado en esta época, 1904, es un hecho relevante

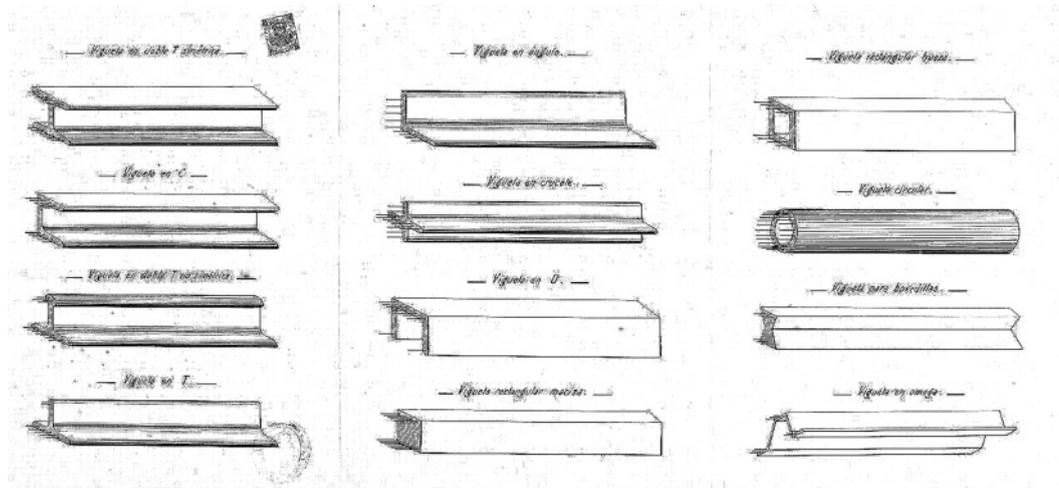


Figura 11
Granda Callejas, patente española número 33301, plano 1/2, 1904

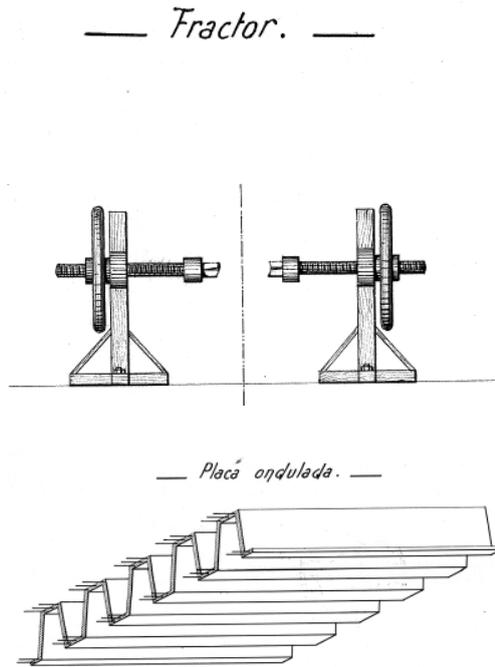


Figura 12
Granda Callejas, patente española número 33301, definición de elementos de tesado en vigas y losas prefabricadas de hormigón, detalle plano 2/2, 1904

desde el punto de vista técnico, además de suponer una novedad de la que no se tenía noticia.

La segunda patente de hormigón pretensado la deposita el ingeniero belga Edmond Joseph Sacrez en 1906, con número 39541, «Un sistema de construcción de hormigón armado con armaduras rectas de tracción sobre extendidas». Esta patente no fue puesta en práctica. De manera escueta y sencilla, introduce el concepto de pretensado. Se dice textualmente en la memoria: «Barras rectas, fuertes y numerosas que se ponen en tensión antes del hormigonado».

Al contrario que en la patente de Bernardo de Granda y Callejas, Sacrez sí parece que tiene experiencia en lo que está definiendo y destaca un punto esencial del pretensado: «Un elemento que genera una compresión desde sus dos extremos».

Es significativo que explique el apoyo de forma que toda la tracción va por las fibras inferiores, donde aplica la fuerza de compresión. También es significativo que dibuje la armadura de compresión y los

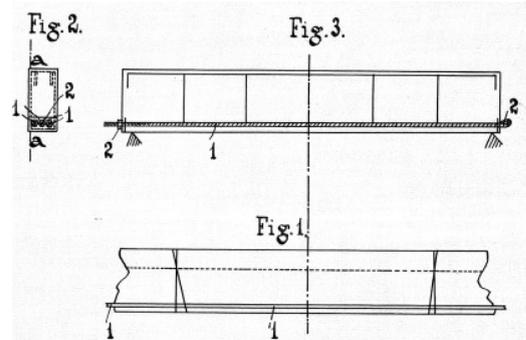


Figura 13
Sacrez, patente española número 39541, detalle plano 1/1, 1906

estribos, y que en la parte inferior del plano represente las gráficas de tensiones en las secciones.

La patente, sin embargo, es escasa en la definición de su proceso constructivo. Si las barras se ponen en tensión antes del hormigonado, el mandril necesitaría un anclaje firme, y el dibujo solo muestra un sistema de tuerca y contratuerca que transmite la compresión a la propia viga antes de hormigonarse. El sistema así representado podría quizá funcionar como postesado, pero nunca como pretensado. En el primer caso necesitaría unas vainas y una mayor complejidad, pero al menos transmitiría las fuerzas al hormigón. Si prescindimos de ese análisis y damos por bueno que el sistema se anclaría a una base resistente para tensarse (en cuyo caso el sistema de tuercas sería innecesario), por lo menos se conseguiría una mayor adherencia entre el hormigón y el acero como consecuencia de las muescas del conformado como tornillo de la barra.

Sacrez está considerado uno de los pioneros del hormigón pretensado junto a Doehring y Cenen en Alemania, Lund en Suecia y Jackson y Steiner en Estados Unidos (Kind-Barkauskas, Causen, Polonia, Brandt, 2002). Habrá que esperar hasta 1928, momento en el que se inicia el desarrollo moderno del hormigón pretensado de la mano del ingeniero francés Eugène Freyssinet, que empezó usando como armadura para el pretensado alambres de acero de alta resistencia con un límite elástico de más de 12.600 kg/cm².

A pesar de las matizaciones que se puedan hacer desde la distancia temporal, la patente de Sacrez es

excelente y muy didáctica desde el punto de vista de la explicación del comportamiento estructural del resultado de la misma. En ella se recogen las siguientes reflexiones sobre el comportamiento del hormigón armado pretensado:

- El hormigón y el metal tienen coeficientes de elasticidad muy diferentes.
- La fibra neutra se encuentra siempre por encima de la altura media de la sección de la pieza con relación a las barras de tracción.
- A una determinada «altura de la pieza» (sección transversal), no responde más que una sola carga máxima y una sola proporción económica, capaces de hacer trabajar simultáneamente la armadura extendida y el hormigón a su límite extremo.
- El trabajo a compresión de la armadura, en piezas de grandes proporciones, no resulta económica.
- La posición de la fibra neutra será variable en función de los esfuerzos de pretensado y geometría de la pieza.

Se explica el comportamiento de la viga pretensada una vez puesta en carga y las ventajas que supone para la eficacia del trabajo del hormigón y de la armadura. Se establece que la longitud de las barras de la armadura, una vez aplicado el tesado, será $L = L + (L \cdot k) / 20.000$, siendo L la longitud inicial de las barras y k el «peso en kilogramos por milímetro cuadrado de sección de barra» que se aplicará como tesado. Una vez hormigonada la viga y fraguado el hormigón, se sueltan las «2 grapas» extremas. La adherencia de la armadura al hormigón circundante hace que el conjunto se equilibre en un punto intermedio.

El primer forjado colaborante

La patente de 1906 del ingeniero alemán Hans Bayer es modélica desde el punto de vista de la aportación tipológica a los forjados colaborantes construidos con vigas prefabricadas y hormigonados de pequeño espesor in situ.

Es la única patente de las 114 estudiadas que contempla un sistema de estructura «colaborante». La patente se denomina «Un techo de hormigón armado» y fue puesta en práctica en Madrid en 1908.

Desde el punto de vista geométrico, el diseño de las vigas prefabricadas es excelente, previendo la necesaria continuidad del hormigonado in situ para que este cumpla una función estructural. Desde el punto de vista del comportamiento estructural del conjunto, Bayer describe de forma gráfica y con acierto las ventajas de un forjado colaborante.

La representación gráfica de la patente, en perspectiva axonométrica, es excelente, incluyendo además la justificación gráfica de las ventajas del trabajo estructural del hormigón vertido in situ. El cálculo del reparto de las tensiones que realiza Bayer justifica esta solución. Se compara gráfica y matemáticamente el reparto de tensiones de una solución teórica de viga prefabricada de sección en T, autoportante y resistente, con la patentada, donde colabora estructuralmente la

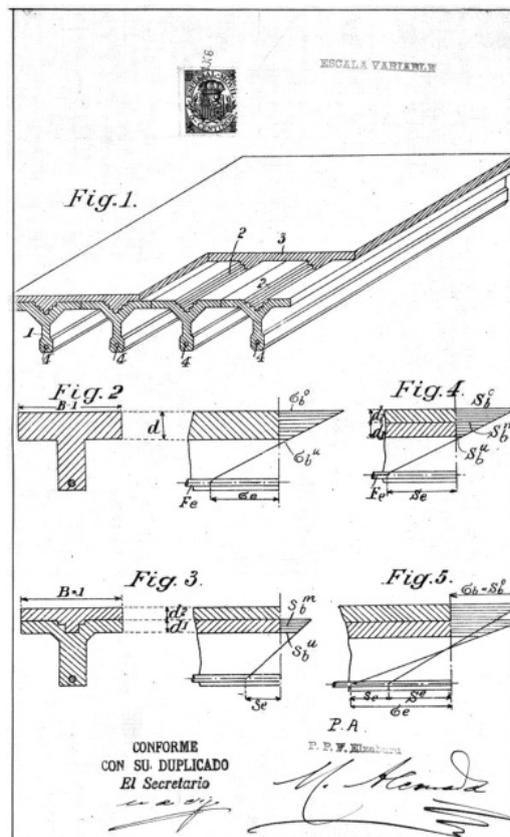


Figura 14 Bayer, patente española número 38624, plano 1/1, 1906

capa de hormigón ejecutada in situ. La solución aporta la novedad de que la capa superior de hormigón in situ colabora con la cabeza de compresión de la viga. De esta manera, la viga puede ser más ligera que en la solución de vigas autoportantes de sección en T. El autor demuestra de manera gráfica y matemática la ventaja de esta solución, en la que la cabeza de compresión está formada por el ala superior de la viga prefabricada y la capa hormigonada in situ.

En mi opinión, la puesta en práctica de esta patente aportó un conocimiento nuevo a las técnicas de hormigón armado empleadas en la época en España y, sobre todo, abrió las puertas a las tipologías mixtas de estructuras colaborantes que tanto desarrollo tuvieron posteriormente.

CONCLUSIÓN

La prefabricación en hormigón armado está presente en las patentes depositadas en España en el periodo 1886 a 1906. El 50% de las patentes vinculadas a la prefabricación son francesas. Este hecho es beneficioso para España, ya que la transferencia de tecnología y conocimiento se realiza desde el país con mayor desarrollo en prefabricación de Europa.

Las patentes de sistemas y elementos prefabricados aportaron al sector de la construcción conocimiento y procesos de fabricación complejos, e hicieron que los técnicos se planteasen desde el primer momento problemas como la continuidad entre elementos prefabricados, su comportamiento estructural, la disposición de las armaduras, etc.

Estas patentes aportaron tipologías estructurales nuevas, como los forjados colaborantes o técnicas desconocidas y poco divulgadas hasta el momento como el pretensado. Esta aportación fue fundamental para la evolución constructiva del hormigón armado en España y el desarrollo futuro de sus aplicaciones. En este sentido, destaca como novedad la figura de Bernardo de la Granda y Callejas, que patenta el primer sistema de hormigón pretensado español y posiblemente uno de los primeros del mundo.

NOTAS

1. Patente de invención. 1. f. Documento en que oficialmente se le reconoce a alguien una invención y los de-

rechos que de ella se derivan. Definición contenida en la edición número 23 (octubre de 2014), del Diccionario de la Real Academia Española.

2. En distintos momentos de esta investigación veremos que las patentes no solían ofrecer métodos de cálculo o indicaciones de los mismos. Esto alimentó en la época la creencia de que los sistemas patentados se basaban en cálculos empíricos. En muchos casos era cierto, pero no en otros como, por ejemplo, el caso de Hennebique, no es que fueran empíricos, es que no se recogían en las patentes.
3. Los derechos de explotación de una patente oscilaban entre el 15% y el 20% del coste total de la estructura.
4. Pionera en este sentido fue la revista *Le Béton Armé*, publicación mensual de carácter técnico y documental de la organización Hennebique. Fundada en 1898, fue un referente técnico y teórico de los primeros años del hormigón armado, además de ser el primer soporte gráfico profesional de obras en general y edificios. En la línea de la calidad de difusión de Hennebique, las fotografías de las realizaciones en hormigón armado publicadas en la revista estaban muy cuidadas y realizadas por fotógrafos profesionales. Se inició una tendencia gráfica que en algún momento se denominó como la imagen del hormigón, que dura hasta nuestros días.
5. La Exposición Universal de París de 1900 consagra al hormigón armado como nuevo material de construcción. Fue el material más empleado en las estructuras de los pabellones y los puentes ejecutados. Se hizo una gran propaganda de las bondades del hormigón armado y de sus posibilidades, encabezada, cómo no, por Hennebique.
6. Bernardo De Granda y Callejas, ingeniero de caminos, fue profesor de Materiales de construcción de la Escuela especial del Cuerpo. A pesar de su modestia «[...] he de consignar que ni en este volumen ni en los otros dos que, unidos a él, forman la asignatura de Materiales de construcción, se encontrará ninguna idea ni procedimiento debido al autor, cuyo único objeto ha sido reunir las materias tratadas por los demás libros o revistas y recopilarlas dándoles unidad», en este tratado demuestra que es un gran conocedor de los cementos artificiales y los hormigones, a los que dedica sendos capítulos.

LISTA DE REFERENCIAS

- De Granda y Callejas, B., 1904. *Materiales aglomerantes*, Madrid: Ed. Establecimiento tipográfico de Idamor Moreno.
- Domouso de Alba, F., 2016. «La introducción del hormigón armado en España: razón constructiva de su evolución

- (las primeras patentes de hormigón armado en España: 1888-1906)». Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Madrid.
- Domouso de Alba, F., 2011. Los modelos de puentes económicos de hormigón armado para caminos vecinales de Juan Manuel de Zafra y Esteban. En *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Santiago de Compostela 26-29 octubre 2011, editado por S. Huerta, I. Gil Crespo, S. García, M. Tain, 329-335. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Fraile Mora, J., 2003. *Evolución histórica, enseñanza, planes de estudio y profesorado de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Kind-Barkauskas, Kauhsen, Polónyi, Brandt, 2002. *Concrete Construction Manual*. Berlin: Ed. Walter de Gruyter GmbH & Co.KG.

