

LAS PRIMERAS PATENTES DE HORMIGÓN ARMADO. ALGUNAS PATENTES ESPAÑOLAS.*THE FIRST REINFORCED CONCRETE PATENTS. SOME SPANISH PATENTS.*

Fco. J. Domouso de Alba

Escuela Superior de Arte y Arquitectura de la Universidad Europea de Madrid

Resumen.

El desarrollo industrial de Europa en la segunda mitad del siglo XIX, y la progresiva concentración de fábricas en la periferia de ciudades, obligó a constructores y técnicos a buscar una alternativa a las estructuras tradicionales (madera, fábrica o metálicas).

La concentración de edificios industriales que se produjo en las periferias urbanas, unida a una incipiente falta y/o especulación de suelo, obligó a construir edificios en altura, con estructuras y forjados capaces de soportar con seguridad cargas importantes.

Este crecimiento urbano implicó, además, una nueva escala de las infraestructuras urbanas, que se adecuaron al tamaño y necesidades de las nuevas ciudades. Los materiales utilizados hasta el momento para su construcción no podían asumir ese reto: Era necesario inventar el hormigón armado.

Parafraseando a uno de los principales impulsores del hormigón armado en Europa a finales del siglo XIX, François Hennebique, era necesario levantar estructuras que estuviesen dimensionadas y construidas para: "Soportar grandes cargas, ser rígidas, ser duraderas y resistir cargas de fuego importantes".

Se describen e ilustran las primeras patentes españolas de hormigón armado.

1. La invención del hormigón armado: la intuición.

La intuición constructiva jugó un papel fundamental en la invención del hormigón armado, sobre todo en sus primeras cuatro décadas de existencia (aproximadamente entre 1860 y 1900).

Summary.

Industrial development in Europe in the second half of the nineteenth century and the gradual concentration of factories in the outlying areas of cities obliged builders, architects and engineers to seek an alternative to traditional structures (wood, masonry or metal).

The concentration of industrial buildings in the outskirts of urban areas, together with an incipient lack of land and/or land speculation, made it necessary to erect high buildings with structures and floor slabs able to safely support significant loads.

This urban growth also involved a new scale of municipal infrastructures, which were adapted to the size and needs of the new cities. The construction materials used up until then could not measure up to this challenge, so the need for reinforced concrete arose.

To paraphrase one of the main promoters of reinforced concrete in Europe in the late nineteenth century, François Hennebique, there was a need to erect structures dimensioned and built to: "Bear great loads, be rigid and durable and withstand significant fire loads".

The first Spanish patents for reinforced concrete are described and illustrated.

1. The invention of reinforced concrete: intuition.

Intuition in building-related matters played a key role in the invention of reinforced concrete, especially in the first four decades of its existence (approximately from 1860 to 1900).

En este contexto, las patentes fueron una herramienta decisiva para el desarrollo del nuevo material.

El trabajo simultáneo de dos materiales de características resistentes contrarias pero complementarias no es nuevo en la historia de la construcción. Tradicionalmente, el hierro ha reforzado otros materiales, como el barro, la madera o la piedra. En el siglo XVIII era habitual que el hierro cosiese despieces complejos de sillares de piedra, asumiendo, además de funciones de trabazón, los esfuerzos de tracción generados en el elemento estructural al que pertenecía.

La primera experiencia conocida y divulgada de cemento armado data de 1849. Joseph-Louis Lambot fabricó una barca de cemento armado, que presentó en la Exposición Universal de París de 1855. La barca tuvo una gran publicidad, y dió pie a que se empezase a extrapolar con el "nuevo material" y sus posibles aplicaciones en la construcción (Figura 1).



Figura 1 (figure 1).

Pero se considera a Joseph Monier (1823-1906, Jardinero de Versailles) el inventor "oficial" del hormigón armado. Sus primeras aportaciones al nuevo material consistieron en la fabricación de jardineras de cemento, reforzadas con tela metálica (Figura 2). La misión de la tela metálica era, según Monier, dar continuidad al cemento, que constituía la base material de los recipientes.

In this context, patents were a decisive tool in the development of this new material.

The simultaneous work of two materials whose strength characteristics are opposing yet complementary was not new in the history of construction. Traditionally, iron was used to reinforce other materials, such as clay, wood or stone. In the eighteenth century, iron was often used to link ashlar in complex configurations; in addition to joining them, it took on the tensile stresses generated in the structural member of which it formed a part.

The first known and published experience with reinforced cement dates back to 1849. Joseph-Louis Lambot manufactured a boat from reinforced cement, which he presented at the 1855 World's Fair in Paris. The boat received great publicity and, as a result, the possible applications of this "new material" to construction began to be explored (Figure 1).

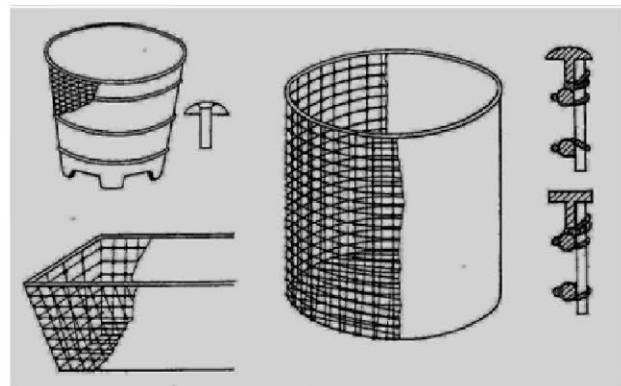


Figura 2 (figure 2).

However, Joseph Monier (1823-1906, gardener at Versailles) is considered to be the "official" inventor of reinforced concrete. His first contributions to the new material consisted of manufacturing cement flower boxes reinforced with wire mesh (Figure 2). According to Monier, the role of the wire mesh was to give continuity to the cement, the base material for the containers.

Monier fue un personaje intuitivo y un constructor eficaz, aunque no consiguió entender el funcionamiento del hierro o el acero dentro del cemento ¹.

A raíz de estas primeras experiencias, Joseph Monier registró en 1865 su primera patente de un procedimiento constructivo de cemento armado, dando pie, involuntariamente, a una industria muy lucrativa que permitiría un rápido desarrollo del hormigón armado ².

Joseph Monier patentó posteriormente sistemas de tuberías (1868), de paneles de hormigón (1869), de puentes (1873), de escaleras (1875), de vigas (1878) y de cubiertas (1880). Monier vendió sus patentes en Bélgica, Holanda, Austria, Alemania, Suiza y España.

Fue sobre todo la empresa alemana Wayss und Freytag la que desarrolló sus patentes con éxito comercial, dotándolas, además, del suficiente soporte técnico y teórico.

2. Las patentes y las empresas: la implantación del hormigón armado.

En mi opinión la construcción moderna tiene a la empresa constructora como uno de sus protagonistas principales. Son las empresas las que desarrollan los sistemas y procesos constructivos necesarios para acometer la construcción de proyectos de edificación y de obras civiles, relegando a un segundo plano la inventiva renacentista de arquitectos e ingenieros, que, individualmente, inventaban, desarrollaban e implantaban sistemas constructivos.

En sus orígenes el hormigón armado fue un producto, un invento, no una técnica.

1: En 1849 Joseph Monier construye las primeras jardineras para rosales en cemento armado, empleando una tela metálica recubierta de una masa fluida de cemento. En 1855 Joseph Monier patenta sus jardineras de hormigón armado.

2: Paradójicamente, Joseph Monier murió en la ruina. El estado francés, por mediación de Hennebique, le otorgó la concesión de un estanco a principios del siglo XX para que pudiese subsistir económicamente los últimos años de su vida.

Monier was an intuitive person and an efficient builder, although he never managed to understand how the iron or steel worked within the cement ¹.

As a result of these initial experiments, Joseph Monier registered his first patent for a building procedure for reinforced cement in 1865, involuntarily giving rise to a very lucrative industry that would give rise to the speedy development of reinforced concrete ².

Joseph Monier later patented systems for pipes (1868), concrete panels (1869), bridges (1873), stairs (1875), beams (1878) and roofs (1880). Monier sold his patents in Belgium, the Netherlands, Austria, Germany, Switzerland and Spain.

The German company Wayss und Freytag in particular achieved commercial success in developing his patents, and also arrived at technical and theoretical explanations for the principles behind them.

2. The patents and the companies: reinforced concrete takes root.

Private enterprise play a key role in modern construction, developing the building systems and procedures necessary to undertake building construction and civil engineering projects. It has taken the place of Renaissance-style architects and engineers who single-handedly invented, developed and implemented building systems.

Reinforced concrete was originally a product or an invention, not a technique.

1: In 1849, Joseph Monier built the first reinforced cement flower boxes for rose bushes, using wire mesh covered with a fluid mass of cement. In 1855, he patented his reinforced concrete flower boxes.

2: Paradoxically, Joseph Monier died in financial ruin. Through the mediation of Hennebique, the French government granted him a concession to operate a tobaccoist's in the early twentieth century so that he could earn a living in the last years of his live.

El término "hormigón armado" era a la vez la definición de un proceso de construcción y de un material. Como tal producto, el hormigón armado necesitaba para su desarrollo e implantación del soporte financiero e industrial que podía darle la empresa (constructora o concesionaria).

La patente fue la herramienta necesaria para preservar la exclusividad del conocimiento y permitir la experimentación del nuevo material. Las empresas que se arriesgaban en el desarrollo del hormigón armado protegían con patentes una "sabiduría" (no reglada aun desde el punto de vista normativo), que garantizaban el retorno económico de las inversiones realizadas.

Las patentes tuvieron importancia en el desarrollo del hormigón armado por dos motivos fundamentales:

- En los primeros pasos del hormigón armado se empleaban sistemas y procesos constructivos que la experiencia corroboraba que funcionan, pero que tenían un escaso soporte científico.
- Las patentes financian la prueba-error del sistema constructivo y del material, ya que los derechos económicos derivados del empleo de una patente suponían aproximadamente el 20% del coste de la obra.

En Europa, la implantación como alternativa estructural del hormigón armado en la construcción se realizó de una manera muy rápida. En cinco años (entre 1890 y 1895 aproximadamente), los promotores/constructores de estructuras de hormigón armado pasaron de ser meros "inventores" a interlocutores creíbles y válidos para ejecutar las estructuras proyectadas por ingenieros y arquitectos.

Francia fue pionera en el desarrollo del hormigón armado. En la última década del siglo XIX, dos constructores franceses compitieron en la implantación de construcciones de hormigón armado: Edmond Coignet y Francois Hennebique.

The term "reinforced concrete" was the definition of both a building procedure and of a material. As a product, reinforced concrete needed the financial and industrial support that the (construction or licensee) company could provide so that it could develop and become established.

Patents were the tool through which the exclusivity of the knowledge could be preserved, making it possible to experiment with the new material. The companies who took a risk on developing reinforced concrete protected "know-how" (not yet subject to regulations) with patents, which ensured the financial return on the investments made.

Patents were important in the development of reinforced concrete for two chief reasons:

- During the early stages of reinforced concrete, building systems and procedures were used that experience showed could work, but which had little scientific basis.*
- Patents financed the trial and error of the building system and of the material, as the economic rights arising from the use of a patent represented approximately 20% of construction costs.*

In Europe, reinforced concrete very quickly became established as a structural alternative in construction. In five years (from 1890 to 1895, approximately), the status of developers/builders of reinforced concrete structures shifted from that of mere "inventors" to credible, bona-fide authorities in the execution of structures designed by engineers and architects.

France was a pioneer in the development of reinforced concrete. In the last decade of the nineteenth century, two French builders competed in establishing the use of reinforced concrete in structures: Edmond Coignet and François Hennebique.

La empresa Coignet estaba solidamente implantada en Francia. Entre 1892 y 1893, introdujo el hormigón armado en obras civiles, ejecutando, por ejemplo, lotes importantes del acueducto de Acheres.

Por otro lado, desde 1880, François Hennebique experimentaba con forjados de cemento armado reforzados con redondos de hierro.

Las dos empresas patentaron sus sistemas de construcciones empleando el hormigón armado en 1892.

Pero no fue el sistema constructivo patentado lo que diferenció a las dos empresas, sino su modelo de negocio.

Edmond Coignet explotó directamente sus patentes, mientras que Hennebique creó una red de "franquiciados" para la utilización de sus patentes y sistemas.

El fuerte desarrollo de Hennebique, obligó a Coignet a asociarse con Aimé Bonna en 1898 y fundar la "Sociedad para la construcción en cemento armado"³.

La firma alemana Wayss und Freytag fue el contrapunto centroeuropeo a Hennebique. Esta firma estuvo presente en Alemania, Austria y Centro Europa. Explotó desde 1893 las patentes de Monier, que mejoró sensiblemente. Al contrario que sus competidores franceses, dió gran importancia al desarrollo teórico del cálculo de las estructuras de hormigón armado.

The Coignet Company was firmly established in France. Between 1892 and 1893, it introduced reinforced concrete in civil engineering projects, using it, for example, for significant parts of the Achères aqueduct.

Meanwhile, François Hennebique had been experimenting with floor slabs made of cement reinforced with round iron bars since 1880.

The two companies patented their building systems using reinforced concrete in 1892.

However, the main difference between the two lay less in the patented building systems than in their respective business models.

Edmond Coignet exploited his patents himself, while Hennebique created a network of "franchisees" for the use of his patents and systems.

The rapid develop of Hennebique's business forced Coignet to form an association with Aimé Bonna in 1898 and found the "Society for Construction with Reinforced Cement"³.

The German firm Wayss und Freytag was Hennebique's Central European counterpart. This firm worked in Germany, Austria and Central Europe. It exploited Monier's patents from 1893 onwards and significantly improved them. Unlike its French competitors, it placed great importance on the theoretical development of the analysis of reinforced concrete structures.

3: La rivalidad entre las dos empresa llegó incluso al ámbito de la investigación. En la investigación del nuevo material, la iniciativa privada jugó un papel fundamental, y pudo financiarse gracias al beneficio económico obtenido por la explotación de los sistemas propios de construcción en hormigón armado protegidos por las patentes. En 1898, Hennebique pone en marcha un importante programa de ensayos, que recoge y publicita convenientemente en su revista "Beton Armé".

3: *The rivalry between the two companies even extended into the field of research. Private initiative played a key role in the research into this new material, and this research was financed through the profits obtained from the use of the reinforced concrete building systems protected by patents. In 1898, Hennebique implemented a major testing programme, which he conveniently published in his journal Beton Armé.*

En la última década del siglo XIX, aparecieron muchas patentes de procedimientos constructivos en hormigón o cemento armado en Europa, pero los dos sistemas que consiguieron una mayor implantación y desarrollo fueron los de François Hennebique (Francia) y los de Wayss und Freytag (Alemania).

La Exposición de París de 1900 supuso el lanzamiento internacional del hormigón armado, construyéndose en este material la mayoría de los edificios de esta exposición.

3. De la divulgación a la reglamentación: el ocaso de las patentes.

El hormigón armado evolucionó entre la normalización y reglamentación. Esta evolución se produjo a lo largo de 50 años (aproximadamente entre 1855 y 1906), aunque fue en la última década del siglo XIX y la primera del siglo XX cuando se produjeron los avances más significativos. Se pasó en pocos años del "sistema", soportado por patentes particulares, al "material", regulado por normativas ministeriales.

En este proceso, podemos distinguir dos etapas en el ámbito de las patentes: Las patentes de sistemas de hormigón armado y las patentes de procesos constructivos.

Las patentes de sistemas de hormigón armado las encontramos en la primera época del material. Se patentaron muchos diseños de piezas de hormigón armado, en los que se proponían múltiples geometrías y soluciones de armado. Había, en todo caso, cierto consenso entre los "inventores" en considerar que el hormigón trabajaba a compresión y tenía una resistencia aproximada de 25 Kg/cm². Lo que no se tenía claro era cuál debía ser la posición y el papel del acero dentro del hormigón.

Cada "inventor" proponía un sistema patentado distinto, algunos ciertamente descabellados.

In the 1890s, many patents appeared in Europe for building procedures using reinforced concrete or cement, but the two systems that succeeded in becoming most widely established and further developed were those of François Hennebique (France) and Wayss und Freytag (Germany).

The 1900 World's Fair in Paris saw the international launch of reinforced concrete, as most of the buildings at this exhibition were made from this material.

3. From development to regulation: the decline of patents.

Reinforced concrete evolved in the period between its standardization and its regulation. This development took place over 50 years (approximately between 1855 and 1906), although the most significant advances were made in the two decades sandwiching the turn of the twentieth century. In just a few years, the "system", backed by private patents, evolved towards the "material", regulated by ministerial orders.

In this process, there are two periods clearly distinguished by the type of patent predominating in each: patents for reinforced concrete systems and patents for building procedures.

Patents for reinforced concrete systems prevailed in the first stage. Many designs for reinforced concrete elements were patented in which a variety of geometries and reinforcement solutions were proposed. In all cases, there was a certain consensus among the "inventors" that concrete bore compression stress well up to approximately 25 kg/cm². What was not so clear was what the position and role of the steel inside the concrete should be.

Each "inventor" proposed a different patented system, some of which were quite preposterous.

Como pronóstico en 1897 Napoleón de Tedesco, redactor jefe de la revista "Le Ciment": "Los distintos sistemas o patentes de hormigón o cemento armado, tenderán a igualarse" (hecho constatado y certificado años después por Armand Considere, miembro y responsable de la "Comisión del cemento armado" del ministerio de "Travaux Publics" francés).

Las publicaciones especializadas jugaron un papel fundamental, tanto en la divulgación como en la puesta en cuestión de muchas.

No se puede obviar la influencia que ejerció la revista "Le Ciment", promovida por los fabricantes franceses de cemento, en la implantación del hormigón armado entre 1896 y 1900.

Durante la fase de explotación de las principales patentes, publicaciones como "Le Ciment", jugaron el papel de auténticos foros de debate de sistemas faltos, aun, de un soporte científico. A pesar de las buenas intenciones iniciales, esta publicación no fue todo lo objetiva que debiera, y apoyó unas patentes o sistemas más que a otros.

En 1898 Hennebique lanzó su propia revista "Beton Armé", con el ánimo de dar publicidad a su empresa y difundir las estructuras de hormigón armado construidas con sus sistemas patentados. Una de las claves del éxito de las estructuras de hormigón armado de Hennebique fue la difusión que alcanzaron gracias a una agresiva política de publicaciones técnicas. Estas publicaciones recogían memorias explicativas del sistema Hennebique, procedimientos constructivos, tipologías estructurales y fotografías de ejecución.

Por otro lado, en 1902, el ingeniero vienés Fritz von Emperger lanza la revista "Beton und Eisen", publicación dedicada únicamente al hormigón armado, con un carácter, quizás, mas científico y menos tendencioso que "Le Ciment".

Napoleon de Tedesco, chief editor of the journal Le Ciment, predicted in 1897 that "the different systems or patents for reinforced cement or concrete will tend to converge" (a fact proven and verified years later by Armand Considere, member and official of the "Reinforced Concrete Commission" of the French Ministry of Public Works).

Trade publications played a key role in both spreading the news of these systems and raising doubts about many of them.

The influence exercised by the journal Le Ciment, sponsored by French cement manufacturers, in helping reinforced concrete take hold between 1896 and 1900 cannot be overlooked.

During the stage when the main patents were being exploited, publications like Le Ciment acted as veritable forums for discussing systems, although there was still no scientific backing. Despite its good initial intentions, this publication was not as objective as it should have been, and it supported some patents or systems more than others.

In 1898, Hennebique launched his own journal, Beton Armé, with the aim of publicizing his company and disseminating information on reinforced concrete structures built using his patented systems. One of the keys in the success of Hennebique's reinforced concrete structures was the attention they received in technical publications, which contained descriptive reports on the Hennebique system, building procedures, structural types and photographs of the construction process.

Elsewhere, in 1902, the Viennese engineer Fritz von Emperger started the journal Beton und Eisen, a publication devoted exclusively to reinforced concrete. It was perhaps more scientific and less biased than Le Ciment.

Paralelamente en España, la Revista de Obras Públicas se convirtió en un preciso e inmediato altavoz, que recogió y transmitió a los técnicos españoles las principales experiencias en hormigón armado realizadas en Europa.

Entre 1880 y 1900 se barajaron distintas teorías estructurales sobre el comportamiento del hormigón armado. Se discutió acaloradamente desde el punto de vista teórico cual debía de ser la posición de cálculo de la fibra neutra en vigas de hormigón armado. En esta discusión participaron los principales ingenieros y científicos de la época.

En 1884 Edmond Coignet y Tedesco publicaron el primer "Método de Dimensionamiento Elástico de Secciones de Hormigón Armado"⁴. Hubo que esperar a los primeros años del siglo XX para consensuar unas teorías de cálculo de piezas de hormigón armado que serían la base de las futuras normativas.

Hasta la normalización de las estructuras de hormigón armado, se emplearon métodos de cálculo sencillos pero eficaces (corroborados principalmente por la experiencia), pero muy seguros desde el punto de vista del análisis estructural (por ejemplo, Hennebique adoptaba para sus vigas como momento de cálculo habitual: $M = q l^2/10$)⁵.

A partir de 1900 se empezaron a sentar las bases para la elaboración de normas de aplicación en el cálculo y ejecución de las estructuras de hormigón armado.

4: En 1856 Francois Coignet patenta unas barras de Tracción de hierro, envueltas en masas de cemento. En 1861 Francois Coignet publica "Betons Agglomérés", y estudia por primera vez el papel que corresponde al hormigón y al acero como partes integrantes del hormigón armado.

5: Hennebique diría: "Hemos aplicado en todo (obras de hormigón armado) nuestras formulas simples" (en efecto, en el caso de Hennebique, la geometría estructural empleada, así como las luces y formulación simplificada de cálculo, han estado siempre del lado de la seguridad).

In parallel, the Revista de Obras Públicas in Spain became a reliable and immediate vehicle that compiled the main experiences with reinforced concrete in Europe and transmitted them to Spanish technicians.

From 1880 to 1900, different structural theories about the behaviour of reinforced concrete were considered. Heated theoretical discussions arose over what the calculated position of the neutral axis should be in reinforced concrete beams. Some of the leading engineers and scientists of the era took part in this discussion.

In 1884, Edmond Coignet and Tedesco published the first "Elastic Design Method for Reinforced Concrete Sections"⁴. A consensus on calculation theories for reinforced concrete members; that would be the basis for the future regulations, was not reached until the early twentieth century.

Until reinforced concrete structures were standardized, simple but effective calculation methods were used (mainly corroborated by experience). Such methods proved to be very reliable from a structural analysis standpoint (for example, Hennebique used $M = q l^2/10$) as the usual design moment for his beams⁵.

Starting in 1900, the fundamentals for the development of standards applicable to the analysis and construction of reinforced concrete structures were established.

4: In 1856, Francois Coignet patented some iron tensile bars surrounded by a mass of cement. In 1861, Francois Coignet published Betons Agglomérés, and for the first time studied the role played by the concrete and the steel as components of reinforced concrete.

5: Hennebique would say: "We have applied our simple formulas to everything (reinforced concrete construction)." (Indeed, in Hennebique's case, the structural geometry used, as well as the spans and simplified calculation formulas, always erred on the side of safety.)

En Francia, el ministerio de "Travaux Publics" creó en diciembre de 1900 una comisión encargada de estudiar el empleo del hormigón armado. Se trataba de crear una reglamentación de aplicación general que fuese una alternativa sólida a los dispersos (y a veces erróneos) sistemas particulares patentados empleados hasta la fecha.

Esta comisión, capitaneada por Armand Considere, se creó con la voluntad de establecer una cooperación entre la administración y la empresa privada, que tenía una mayor experiencia en el campo del hormigón. En esta comisión participaron entre otros Coignet y Hennebique.

El 20 de octubre de 1906 se publicó la circular ministerial. Desde ese momento, los ingenieros ya no pedirían a los constructores especializados anteproyectos de estructuras de hormigón. Es el comienzo de la separación entre proyectista (o calculista) y constructor.

La aproximación científica y reglada se impone a la intuición. Es el final de las patentes de sistemas de hormigón armado. A partir de este momento, solo sobrevivirán las patentes de procesos constructivos, aunque limitadas en su aplicación por la generalización del empleo del hormigón armado y el empuje de las empresas constructoras.

La primera década del siglo XX fue el ocaso de las patentes de hormigón armado.

4. Las primeras patentes de hormigón armado España.

La influencia técnica y constructiva que recibe España en la última década del siglo XIX es principalmente francesa, y el seguimiento por parte de arquitectos e ingenieros españoles de los nuevos materiales y procedimientos constructivos se realiza a través de publicaciones francesas y la transcripción de estas en revistas españolas especializadas, como por ejemplo, la Revista de Obras Públicas.

In France, the Ministry of Public Works created a commission in December 1900 to study the use of reinforced concrete. The aim was to create generally applicable regulations as a solid alternative to the variety of (sometimes erroneous) private patented systems in use until then.

The commission, headed by Armand Considère, was created in an effort to establish cooperation between the government and private enterprise, which had more experience in the field of concrete. Coignet and Hennebique were among the members of this commission.

On 20 October 1906, the departmental circular was published. As of that moment, engineers would no longer ask specialized builders for preliminary designs for concrete structures. This was the start of the separation between designers (or draughtsmen) and builders.

The regulated, scientific approach prevailed over intuition. This was the end of the patents for reinforced concrete systems. From that moment onwards, only patents for building procedures would survive, although they would be of limited application because of the widespread use of reinforced concrete and the strength of the construction companies.

The first decade of the twentieth century saw the decline of reinforced concrete patents.

4. The first reinforced concrete patents in Spain.

French influence predominated in late nineteenth century Spanish construction technique and engineering. Spanish architects and engineers kept abreast of new materials and building procedures through French publications and reprints of their articles in Spanish trade magazines, such as, for example, the Revista de Obras Públicas.

El hormigón armado se introduce en España a través de Cataluña, la Cornisa Cantábrica y el País Vasco, zonas de fuerte desarrollo industrial en la última década del siglo XIX.

Parece que la primera experiencia en cemento armado en España data de 1891, cuando José Nicolau (ingeniero de caminos), empleó el hormigón para proteger y conservar mejor los perfiles metálicos en obras civiles en Cantabria.

En 1893, el ingeniero militar Francesc Macia y el arquitecto Claudio Durán⁶, compran las patentes Monier y crean la primera empresa española para la ejecución de obras de hormigón armado ("La Sociedad en Comandita"). Esta empresa se dedica a la construcción de redes de saneamiento, alcantarillado, depósitos de agua y tuberías. Todas las obras que ejecutan son con financiación privada, ya que el estado era reacio a financiar trabajos realizados con materiales y sistemas que no estaban normalizados.

El empleo en España del hormigón armado, entendido como material estructural (tal y como lo concebimos hoy en día), se produce por primera vez entre los años 1897 y 1898 de la mano de François Hennebique y el ingeniero de caminos Eugenio Rivera (1864-1936, primer representante de Hennebique en España), con su patentado "sistema completo" de construcción en hormigón armado (la patente de Hennebique permitía ejecutar completa la estructura de un edificio). Eugenio Ribera, era además ingeniero del Estado, con amplia influencia en los círculos profesionales y empresas constructoras de obras civiles y edificación.

Reinforced concrete was introduced in Spain through Catalonia, the Cantabrian coast and the Basque Country, areas with a high level of industrial development in the 1890s.

It appears that the first experience with reinforced concrete in Spain dates from 1891, when José Nicolau (a civil engineer) used concrete to protect and better preserve metal shapes in civil engineering projects in Cantabria.

In 1893, military engineer Francesc Macia and architect Claudio Durán⁶ bought Monier's patents and created the first Spanish company for the construction of reinforced concrete structures (a limited partnership). This company built sewage and drainage systems, water tanks and pipes. All of its projects were privately financed, as the government was reluctant to finance work performed with non-standardized materials and systems.

Reinforced concrete was first used as a structural material (as it is regarded today) in Spain between 1897 and 1898. François Hennebique and civil engineer Eugenio Rivera (1864-1936, Hennebique's first representative in Spain) implemented Hennebique's patented "complete system" of reinforced concrete construction (the patent was for the construction of the entire building structure). Eugenio Ribera was also a government engineer, with a great deal of influence in professional circles and construction companies working on civil engineering and building projects.

6: El arquitecto Claudio Duran es considerado por el ingeniero francés Berger Guillaume en su tratado de "Cemento Armado" de 1904, como el autentico precursor del cemento armado en España.

6: In his 1904 treatise "Reinforced Cement", French engineer Berger Guillaume points to architect Claudio Durán as the true forerunner in the field of reinforced cement in Spain.

Posteriormente, en 1899, representó en España a la empresa Hennebique el ingeniero de caminos Ramón Grotta, sustituido un año más tarde por Gabriel Rebollo. Fue Gabriel Rebollo el encargado de ejecutar entre 1900 y 1901 el puente sobre el río Caudal en Mieres (Asturias), siguiendo sistemas y procedimientos Hennebique. Este puente recibió honores en el 6º Congreso de la Empresa Hennebique en 1902, y fue publicado por la revista "Béton Armé". Gabriel Rebollo depositó dos patentes, una de ellas, un "Sistema de arcos en hormigón armado" (1902), de notable calidad (esta patente se ilustra más adelante).

A finales del siglo XIX existían ya en España alrededor de 30 patentes de procedimientos de construcción en hormigón armado. A lo largo de la primera década del siglo XX, se superaron las 100 patentes, aunque los principales sistemas empleados en España fueron⁷:

Sistema Monier (comercializado por la "Sociedad en Comandita", representada por el arquitecto Claudio Duran en Barcelona) (Figura 3):

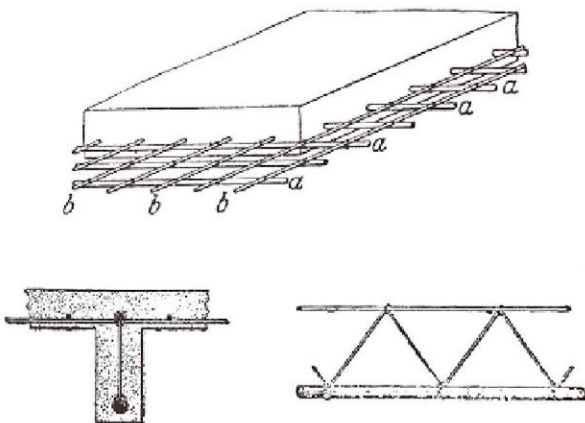


Figura 3 (figure 3).

7: 1994. AAVV. "Los orígenes del hormigón armado y su introducción en Biskaia. La fabrica Ceres. C.O.A.A.T. de Biskaia.

Later, in 1899, civil engineer Ramón Grotta represented Hennebique's company in Spain; he was replaced a year later by Gabriel Rebollo. Gabriel Rebollo was responsible for building the bridge over the Caudal River at Mieres (Asturias) in 1900 and 1901, using Hennebique's systems and procedures. This bridge received honours at the Sixth Conference of the Hennebique Company in 1902, and appeared in the journal Béton Armé. Gabriel Rebollo filed two patents, one of them for a "Sistema de arcos en hormigón armado" [System of reinforced concrete arches] (1902), whose quality is remarkable (this patent is illustrated below).

At the end of the nineteenth century, there were already around 30 patents in Spain for reinforced concrete construction procedures. During the first decade of the twentieth century, the number rose to over 100, although the main systems used in Spain were the following⁷:

Monier System (marketed by the limited partnership represented by architect Claudio Durán in Barcelona) (Figure 3):

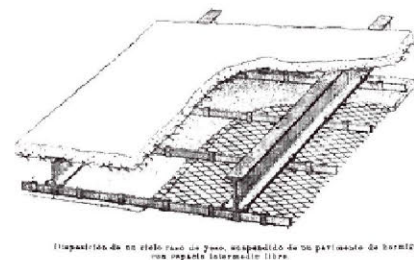
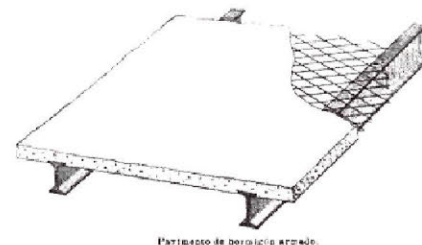


Figura 4 (figure 4).

7: 1994. Various authors. Los orígenes del hormigón armado y su introducción en Bizkaia. La fabrica Ceres. C.O.A.A.T. de Bizkaia.

Las características de la patente del sistema Monier empleado en España son:

- El forjado es solidario entre viguetas y losa.
- Armadura de las viguetas: Dos barras redondas, una superior y otra inferior, colocándose la más gruesa en la zona de tracción o inferior de la viga.
- Armadura de la losa: Se sitúa en la parte inferior de la misma a modo de malla. Las del estrato inferior se denominaban *varillas de resistencia* (separadas entre sí de 5 a 10 cm), las del estrato superior se llamaban *de reparto*. El diámetro de las barras oscilaba entre 3 y 6 milímetros.
- Todas las varillas se ataban entre sí con alambre.

-

Sistema Metal Deployé o Golding (Figura 4):

Desarrollado por el ingeniero americano Golding. Solo se empleaba en losas, permitiendo una mayor separación entre vigas o viguetas.

Sistema Blanc o Poutre-Dalle de la compañía de Sestao-Bilbao (Figura 5):

La armadura de vigas estaba formada como mínimo por 3 barras longitudinales. El forjado estaba siempre enlazado con la viga. Era un sistema que proporcionaba estructuras muy rígidas.

The characteristics of the Monier system patent used in Spain are:

- *The joists are embedded in the floor slab.*
- *Joist reinforcement: two round bars, one top and one bottom, with the thicker one being placed in the beam's tensile zone (underside).*
- *Slab reinforcement: placed on the lower side, in a two-way system. The bars on the lower layer were called the main reinforcement bars (separated 5 to 10 cm from each other) while those in the upper layer were called distribution reinforcement bars. The diameter of the bars ranged from 3 to 6 millimetres.*
- *All of the bars were wired together.*

Expanded Metal (Expamet) or Golding System (Figure 4):

Developed by the American engineer Golding. Only used in slabs, it made it possible to space the beams or joists further apart.

Blanc or Poutre-Dalle System from a company in Sestao (Bilbao) (Figure 5):

The reinforcement in the beams was made up of at least three longitudinal bars. The floor slab was always tied to the beam. It was a system that produced very rigid structures.

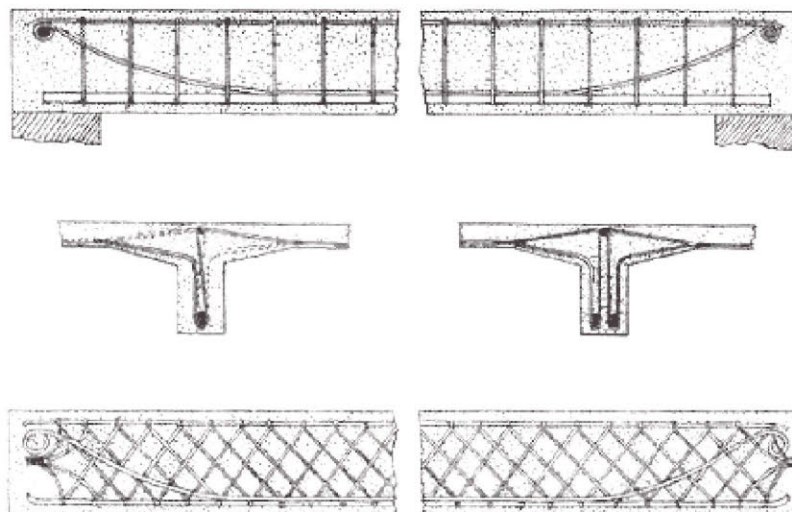


Figura 5 (figure 5).

Las características de la patente del sistema Hennebique empleado en España son:

- Jácenas y vigas de hormigón con tirante o redondo traccionado en la cara inferior.
- Estribos de llanta de hierro, acabados en forma de cola de carpa, que abrazan los redondos o tirantes horizontales inferiores. Se colocaban mayor número de estribos en la cercanía de los pilares.
- Refuerzo con barras inclinadas a cortante en la proximidad de pilares para estructuras con cargas importantes.
- Pies derechos o pilares, armados con hierros redondos verticales, mantenidos a distancia por riostras de palastro.

The characteristics of the Hennebique system patent used in Spain are:

- *Concrete girders and beams with a tie rod or round tension bar on the bottom.*
- *Flat iron stirrups, split at the end to form a fish tail, that fit around the round horizontal round bars or ties at the bottom. More stirrups were placed in areas near columns.*
- *Slanted shear reinforcement in the area near the columns in structures with significant loads.*
- *Uprights or columns, reinforced with vertical round iron bars, spaced via sheet metal braces.*

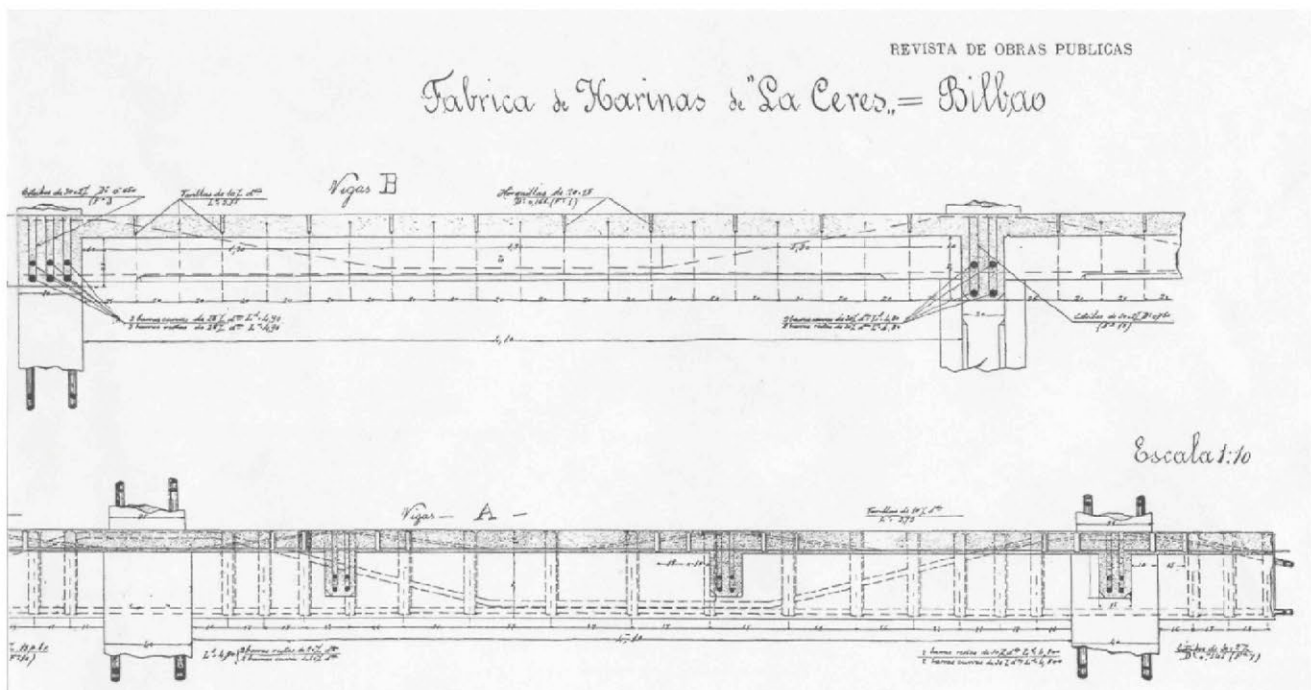


Figura 6 (figure 6).

Sistema Ribera:

Las características de este sistema son (se ilustra más adelante):

- Vigas: armadura simétrica, la inferior de diámetro superior.
- Uso de tela metálica o "metal deployé", tejida a 45°, para absorber esfuerzos a cortante (más tupidas en los extremos).

Ribera System:

This system's characteristics are as follows (illustrated below):

- *Beams: symmetrical reinforcement, larger in diameter at the bottom.*
- *Use of wire mesh or expanded metal, woven at a 45° angle, to absorb shear stresses (tighter weave at the ends).*

- Pilares: 4 barras de hierro. En caso de tener que resistir esfuerzos transversales se envolvía en malla.

- *Columns: four iron bars. If they had to withstand lateral forces, they were wrapped in mesh.*

Con el comienzo del siglo XX, el empleo del hormigón armado se generalizó en toda España.

At the beginning of the twentieth century, the use of reinforced concrete became widespread throughout Spain.

La normalización del hormigón armado en España corrió a cargo, fundamentalmente, del ingeniero de caminos Juan Manuel Zafra.

The standardization of reinforced concrete in Spain may be primarily attributed to civil engineer Juan Manuel Zafra.

Juan Manuel Zafra fue un ingeniero de perfil teórico, con amplios conocimientos matemáticos. Abordó el cálculo del hormigón armado desde el rigor, la normativa y los estudios existentes al respecto en Europa (sobre todo en Francia).

Zafra was an engineer with a background in theory and extensive knowledge of mathematics. He approached the structural analysis of reinforced concrete from the perspective of accuracy and European regulations and studies on the subject (especially those in France).

En 1910 crea el primer curso de hormigón armado en la escuela especial de ingenieros de caminos de Madrid. En 1911 escribe "Construcciones de hormigón armado", un tratado fundamental de cálculo y construcción en hormigón armado.

In 1910, he created the first course on reinforced concrete at the special school for civil engineers in Madrid. In 1911, he wrote "Construcciones de hormigón armado" [Reinforced concrete construction], a key treatise on reinforced concrete construction and its structural analysis.

Zafra ya no habla de patentes de hormigón armado, sino de método constructivo, aunque el mismo patentó sistemas de hormigón armado, como se ilustrará mas adelante.

By Zafra's time the focus was not on reinforced concrete patents but on building methods, although he himself patented reinforced concrete systems, as illustrated below.

A continuación relacionaremos e ilustraremos algunas de las patentes registradas en España que considero más significativas. Esta selección de patentes abarca desde 1894 a 1908. Se depositaron en el departamento de "Patentes de Invención", del ministerio de Fomento. Por regla general, estas patentes se solicitaban por 20 años.

A list of some of the most significant patents registered in Spain follows, along with some illustrations. This selection of patents encompasses the period from 1894 to 1908. They were filed at the "Invention Patents" department of the Ministry of Public Works. As a rule, applications were filed for a 20-year period.

Antonio Macia Llusá patentó en 1894 un sistema de construcción "armazones" para la ejecución de depósitos, cloacas y tubos (Figura 7).

***Antonio Macia Llusá** patented a "framework" building system in 1894 for the construction of tanks, sewers and pipes (Figure 7).*

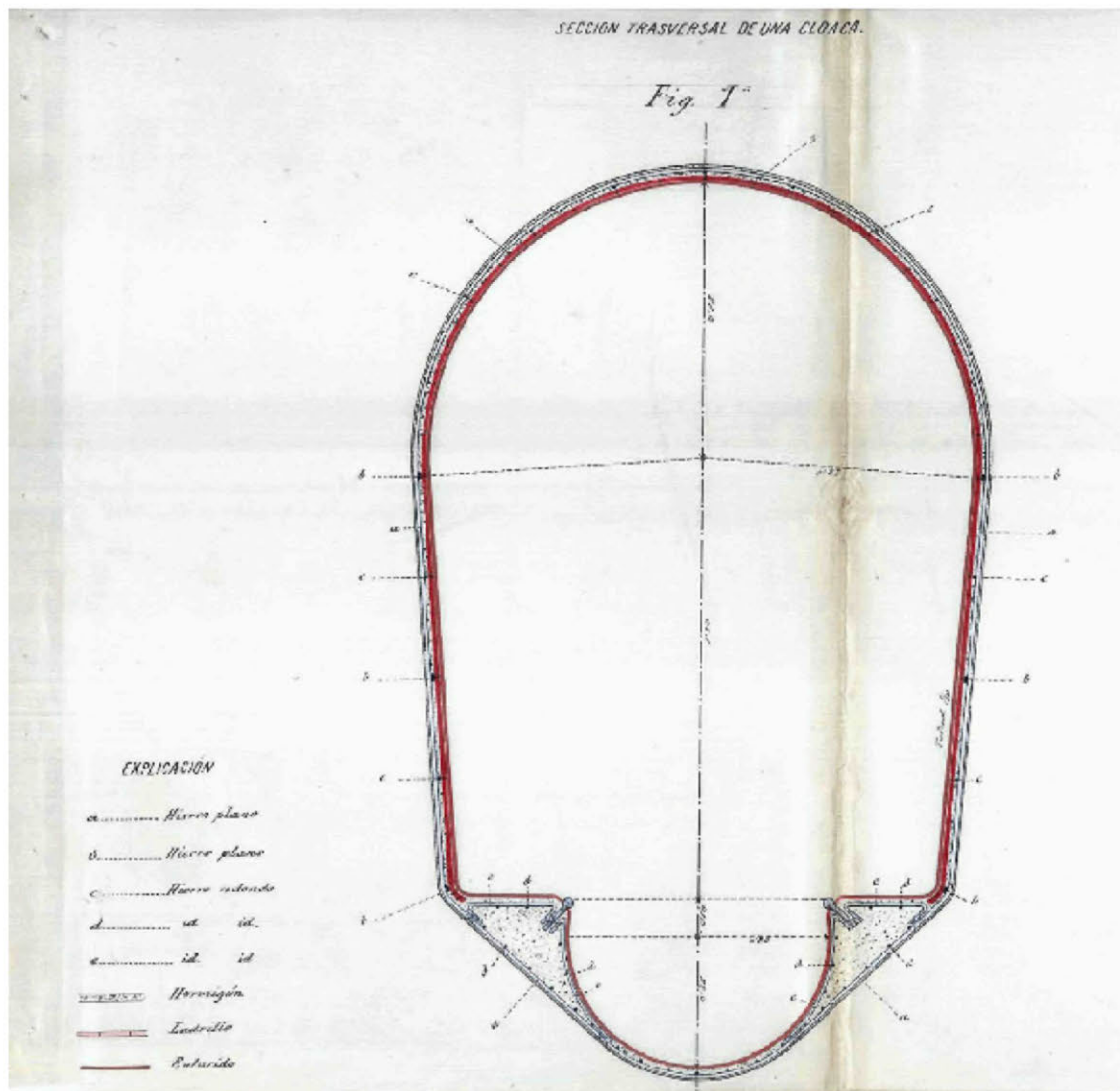


Figura 7 (figure 7).

François Hennebique depositó en España entre 1899 y 1908 siete patentes, una de ellas asociado con Gaston Liebeaux.

En estas patentes se hace especial hincapié en el proceso constructivo. Están dentro del ámbito de la ingeniería civil (ferrocarriles, contención de tierras, tuberías para redes de saneamiento). Hennebique no patentó en España ningún sistema propio de edificación.

François Hennebique filed seven patents in Spain between 1899 and 1908, one of which was in association with Gaston Liebeaux.

Special emphasis was placed on the building process in these patents, which applied to civil engineering (railways, earth retention, pipes for sewage systems). Hennebique did not patent any of his own building systems in Spain.

Como las patentes se centran en elementos singulares empleados en la construcción civil, y necesarios para el desarrollo de las infraestructuras de la época (el ferrocarril, los puertos y las presas). Ya no son patentes que inventan sistemas de hormigón armado. En todas ellas es patente el conocimiento y la experiencia de la casa Hennebique en estructuras de hormigón.

Considero especialmente destacables las aportaciones a los procesos constructivos que hace Hennebique en sus patentes de muros para obras hidráulicas y muros de contención.

Estas patentes son:

Patente 24.475 (1899): "Mejoras en las traviesas de hormigón armado o reforzado para vías férreas" (Figura 8).

Patente 25.990 (1900): "Sistema de muro de contención aplicable los muelles de carga de las vías férreas y demás" (Figura 9).

As the patents focused on specific members for civil construction required to build the infrastructures of the era (railways, harbours and dams), they are not patents for the invention of reinforced concrete systems. The Hennebique Company's knowledge and experience with concrete structures is evident in all of them.

Especialty worthy of note are the contributions Hennebique made to building procedures in his patents for walls for water works and retaining walls.

These patents are:

Patent 24,475 (1899): "Mejoras en las traviesas de hormigón armado o reforzado para vías férreas [Improvements in reinforced concrete sleepers for rail lines] (Figure 8).

Patent 25,990 (1900): "Retaining wall system applicable to loading bays for rail lines and others" (Figure 9).

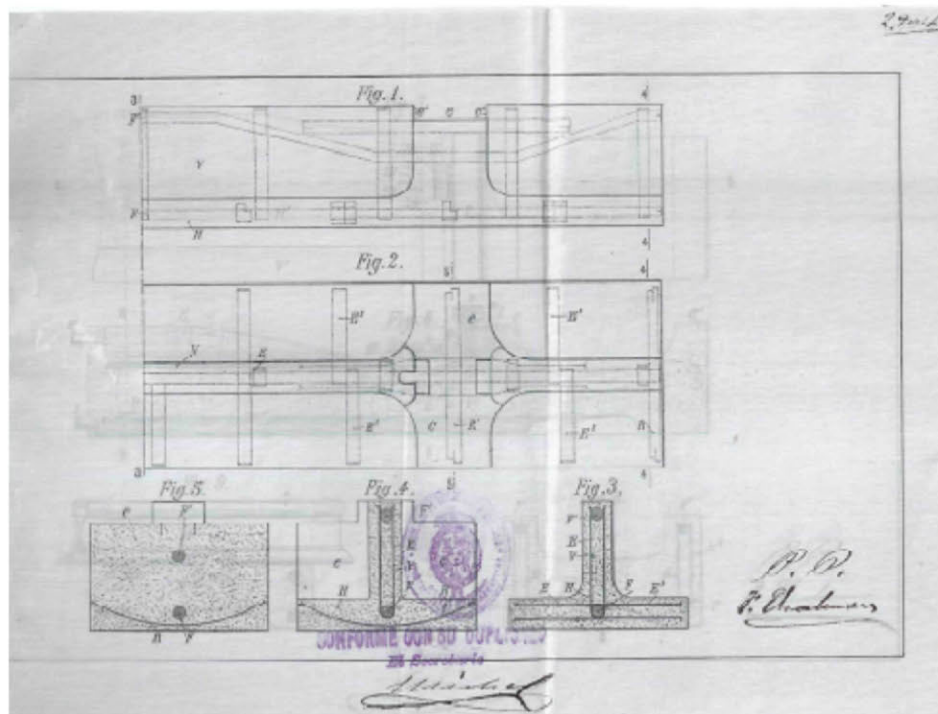


Figura 8 (figure 8).

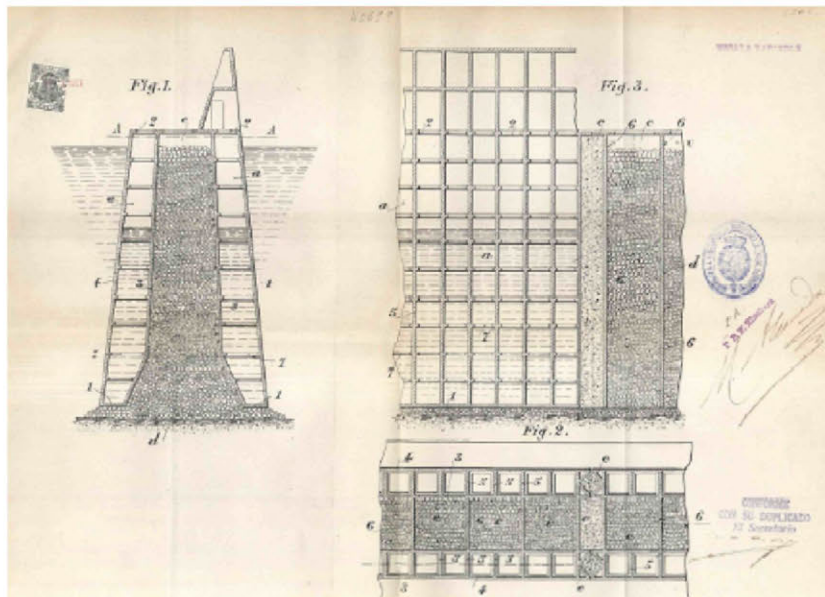


Figura 9 (figure 9).

Patente 27.610 (1901): "Procedimiento para construir en hormigón armado muros en malecones (...) y otras obras que se edifiquen en el agua".

Patent 27,610 (1901): "Procedure for building reinforced concrete walls at jetties (...) and other underwater construction".

Patente 33.400 (1904): "Procedimiento para fabricar tubos (...) de hormigón de cemento" (Figura 10).

Patent 33,400 (1904): "Procedure for manufacturing cement concrete (...) pipes" (Figure 10).

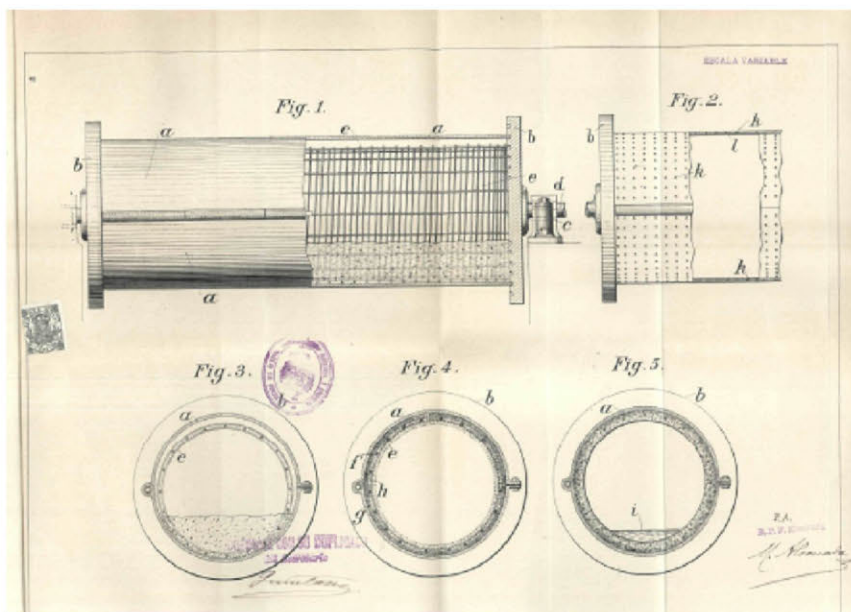


Figura 10 (figure 10).

Patente 40.620 (con Gaston Liebeaux) (1907):
"Nueva traviesa de hormigón de cemento
armado para ferrocarriles y tranvías, y su
forma de colocarla" (Figura 11).

Patent 40,620 (with Gaston Liebeaux) (1907):
"New reinforced cement concrete sleeper for
railways and tramways, and method for laying
it" (Figure 11).

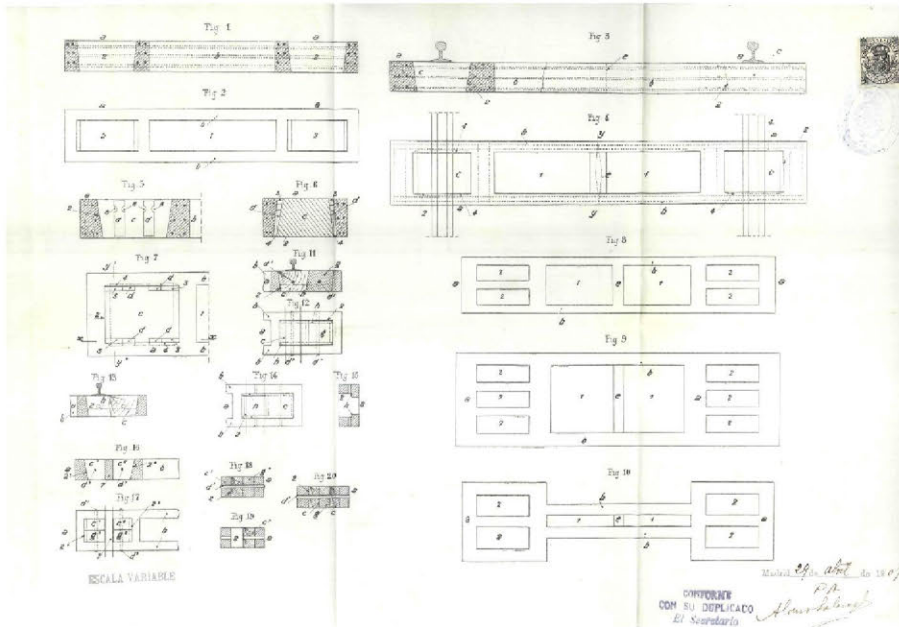


Figura 11 (figure 11).

Patente 40.699 (1907): "Sistema de
construcción de muros de hormigón armado
para obras hidráulicas" (Figura 12).

Patent 40,699 (1907): "System for building
reinforced concrete walls for water works"
(Figure 12).

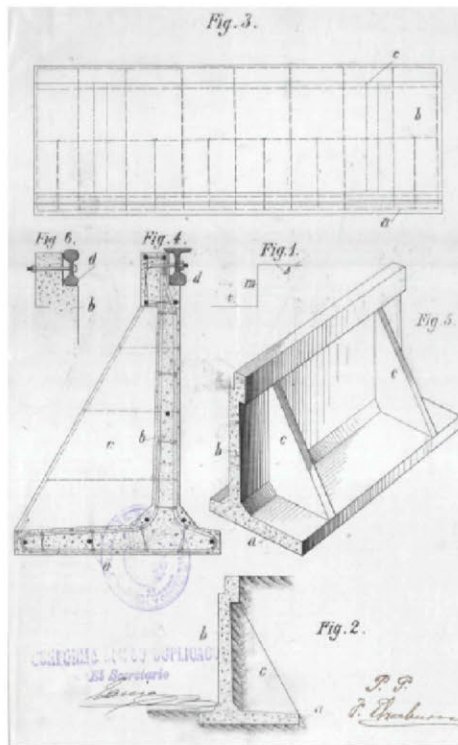


Figura 12 (figure 12).

Patente 43.329 (1908): "Nueva traviesa de hormigón de cemento armado para ferrocarriles y tranvías, y su forma de colocarla" (Figura 13).

Patent 43,329 (1908): "New reinforced cement concrete sleeper for railways and tramways, and method for laying it" (Figure 13).

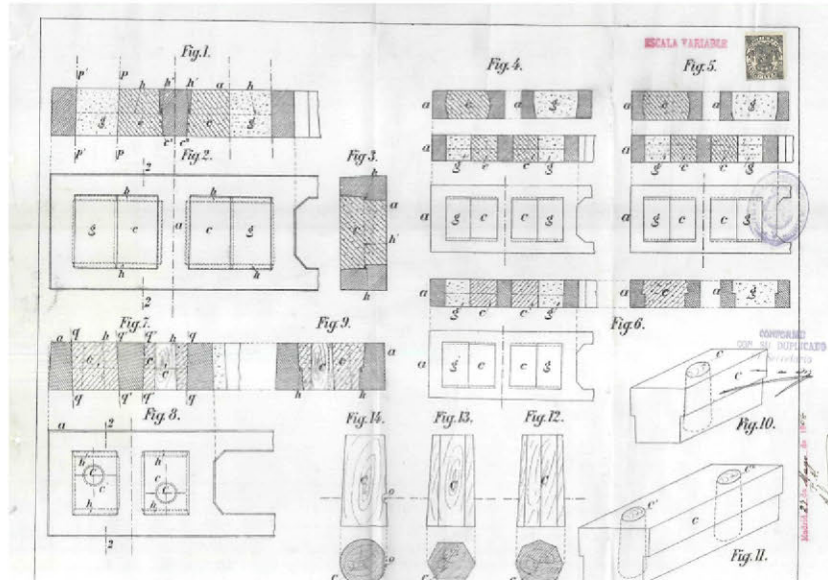


Figura 13 (figure 13).

José Eugenio Ribera tiene depositadas tres patentes de invención. Se le considera el introductor del hormigón armado en España.

Terminó la carrera de ingeniero de caminos en 1887. Trabajó como ingeniero al servicio del Estado durante 12 años en Oviedo ("allí desarrolló intenso trabajo, redactando proyectos y liquidaciones de puentes, carreteras y puertos por valor de 32 millones de pesetas, según la cuenta detallada que tuve la curiosidad de llevar").

Adquirió una gran experiencia en estructuras metálicas, escribiendo entre los años 1895 y 1897 tres tratados sobre puentes de estructura metálica.

En 1897 viaja por Europa, sobre todo por Francia y Suiza (nota 8), estableciendo contacto con François Hennebique, siendo su primer representante en España, relación que no llegó a durar más de un año.

8: En agosto de 1897, en el congreso de Estocolmo de la "Asociación Internacional para el Ensayo de Materiales", en el que se debatía la idoneidad del empleo del cemento Pórtland o Laitier (cemento de escoria), Eugenio Ribera actuó en nombre y representación del Gobierno español.

José Eugenio Ribera filed three invention patents. He is considered to be the person who introduced reinforced concrete in Spain.

He finished his civil engineering studies in 1887. He worked for 12 years as an engineer for the government in Oviedo ("the pace of work there was intense. I did designs and extended payment certificates for bridges, roads and harbours valued at 32 million pesetas, according to the detailed accounts I kept out of curiosity").

He gained a great deal of experience with steel structures, and from 1895 to 1897 wrote three treatises on bridges with this type of structure.

In 1897, he travelled around Europe, particularly in France and Switzerland (Note 8), and became acquainted with François Hennebique. He was the Hennebique's first representative in Spain, although this relationship only lasted a year.

8: In August 1897, at the conference of the "International Materials Testing Association" held in Stockholm, at which the suitability of the use of Portland or slag cement was discussed, Eugenio Ribera represented and acted on behalf of the Spanish government.

En 1899 deja el Estado y funda la empresa "J. Eugenio Rivera y C^a", que más adelante será la "Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles".

Eugenio Ribera patentó su sistema para construcciones en hormigón armado, que recogió en su libro de 1902: "Hormigón y cemento armado: Mi sistema y mis obras". El sistema Ribera es deudor directo de las patentes de Hennebique.

Estas patentes son:

- Patente 28.287 (1901). "Procedimiento de construcción propio y nuevo aplicable a pisos, bóvedas y pilares de hormigón armado" (Figura 14).

In 1899, he left government employment and founded the company "J. Eugenio Rivera y C^a", which would later be known as "Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles".

Eugenio Ribera patented his system for reinforced concrete construction, which he included in his 1902 book: Hormigón y cemento armado: Mi sistema y mis obras. Ribera's system was a direct descendant of Hennebique's patents.

Ribera's patents are:

- *Patent 28,287 (1901). "New and unique building procedure applicable to reinforced concrete floors, vaults and columns" (Figure 14).*

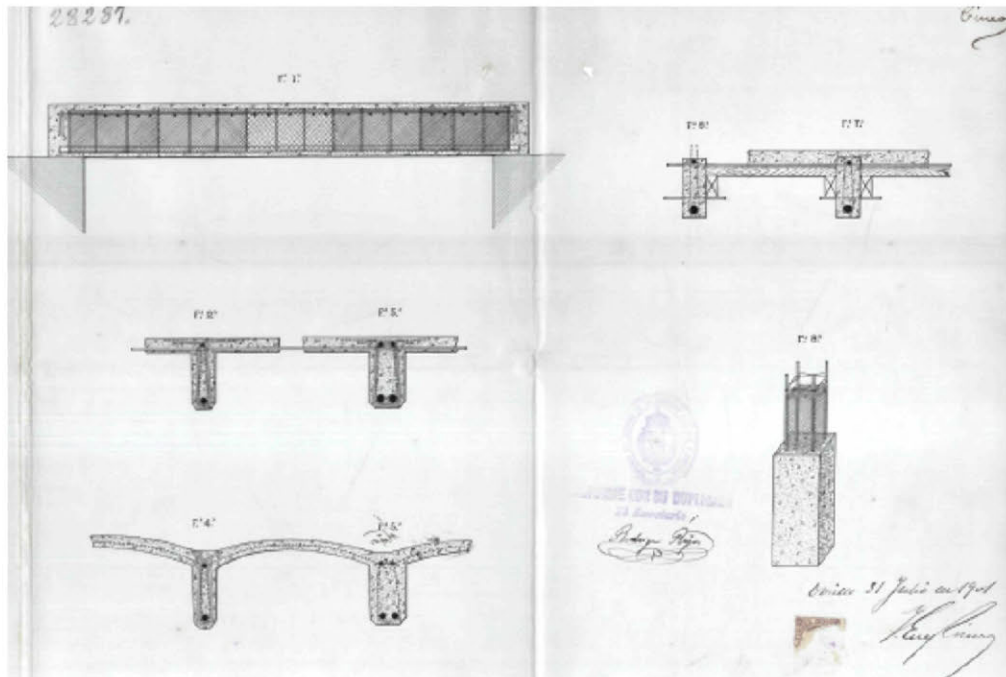


Figura 14 (figure 14).

- Patente 28.861 (1901). "Mejoras a la patente original de Procedimiento de construcción propio y nuevo aplicable a pisos, bóvedas y pilares de hormigón armado" (Figura 15).

- Patente 29.936 (1902). "Procedimiento de construcción propio y nuevo aplicable a bóvedas y puentes de hormigón armado" (Figura 16).

- *Patent 28,861 (1901). "Improvements to the original patent for a new and unique building procedure applicable to reinforced concrete floors, vaults and columns" (Figure 15).*

- *Patent 29,936 (1902). "New and unique building procedure applicable to reinforced concrete vaults and bridges" (Figure 16).*



Figura 15 (figure 15). Ribera. 1901.

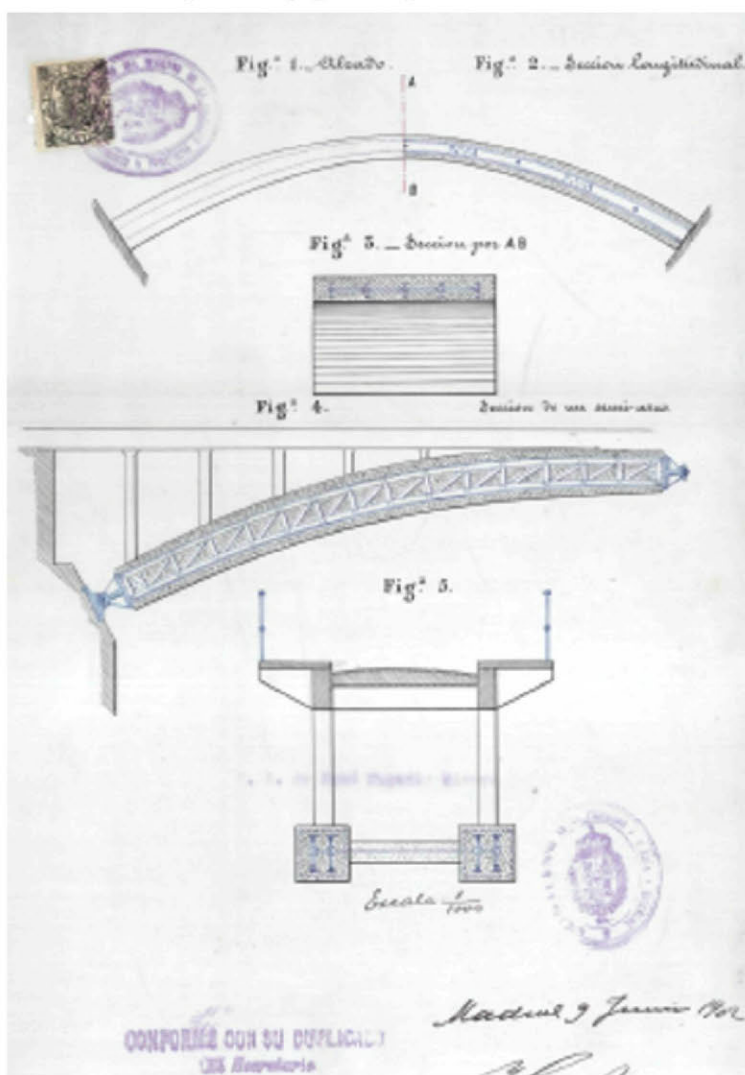


Figura 16 (figure 16).

Juan Manuel Zafra tiene depositadas cuatro patentes de invención. Recogen sistemas propios de hormigón armado. La calidad técnica y constructiva de estas patentes es indudable, intuyéndose el camino posterior que seguiría el hormigón armado.

Estas patentes son:

- Patente 29.864 (1902). "Un sistema de piezas de hormigón armado para trabajar a compresión" (Figura 17).
- Patente 29.865 (1902). "Un sistema de vigas suelo de hormigón armado" (Figura 18).

Juan Manuel Zafra filed four invention patents, all related to proprietary reinforced concrete systems. The quality of the engineering and the applicability of these patents is unquestionable, and they foreshadow the course that reinforced concrete would later take.

Zafra's patents are:

- Patent 29,864 (1902). "A system of reinforced concrete compression members" (Figure 17).
- Patente 29,865 (1902) "A system of reinforced concrete floor beams" (Figure 18).

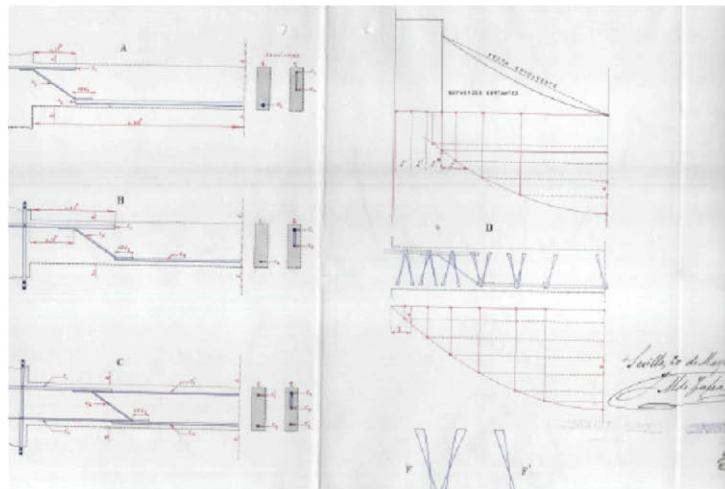


Figura 17 (figure 17).

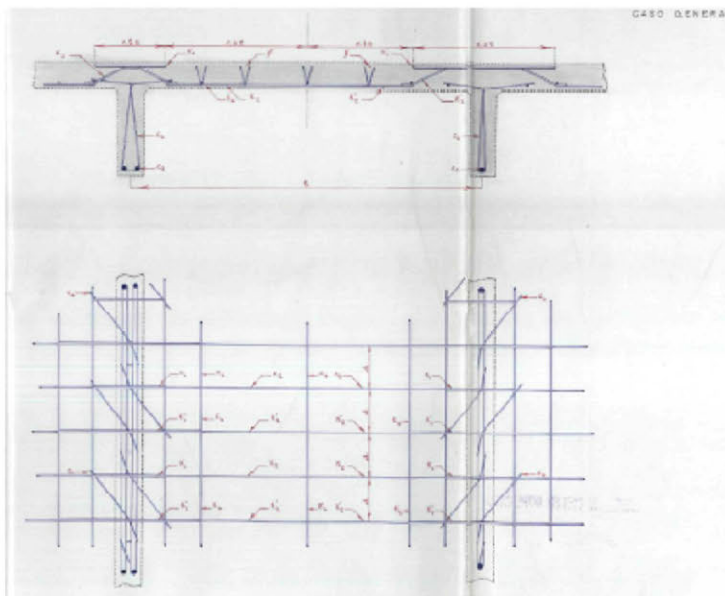


Figura 18 (figure 18).

- Patente 29.866 (1902): "Un sistema de piezas de hormigón armado para trabajar por compresión" (Figura 19).
- Patente 29.863 (1902). "Un sistema de placas bombeadas de hormigón armado" (Figura 20).

- *Patente 29,866 (1902): "A system of reinforced concrete compression members" (Figure 19).*

- *Patent 29,863 (1902). "A system of domed reinforced concrete slabs" (Figure 20).*

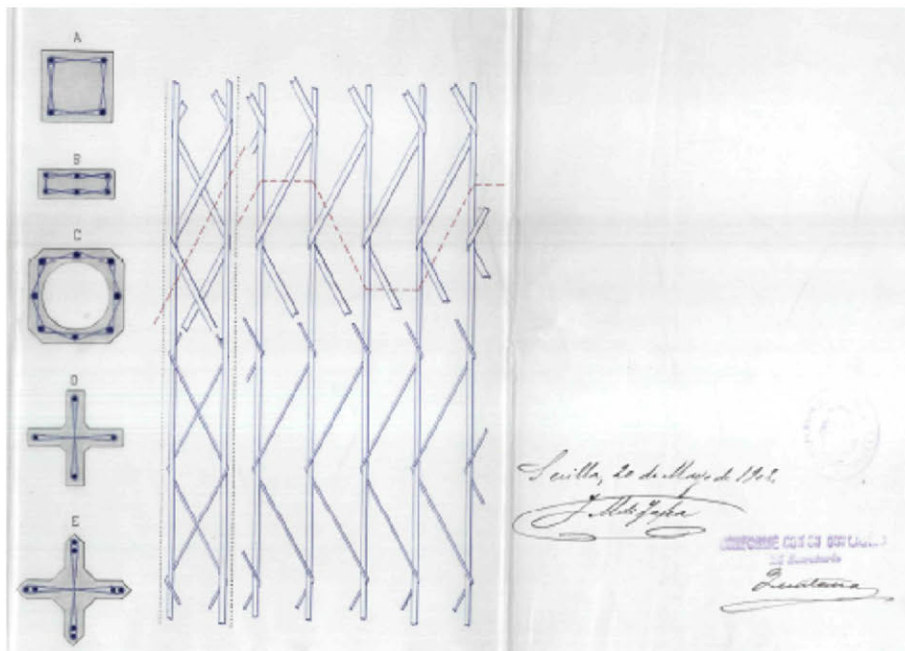


Figura 19 (figure 19).

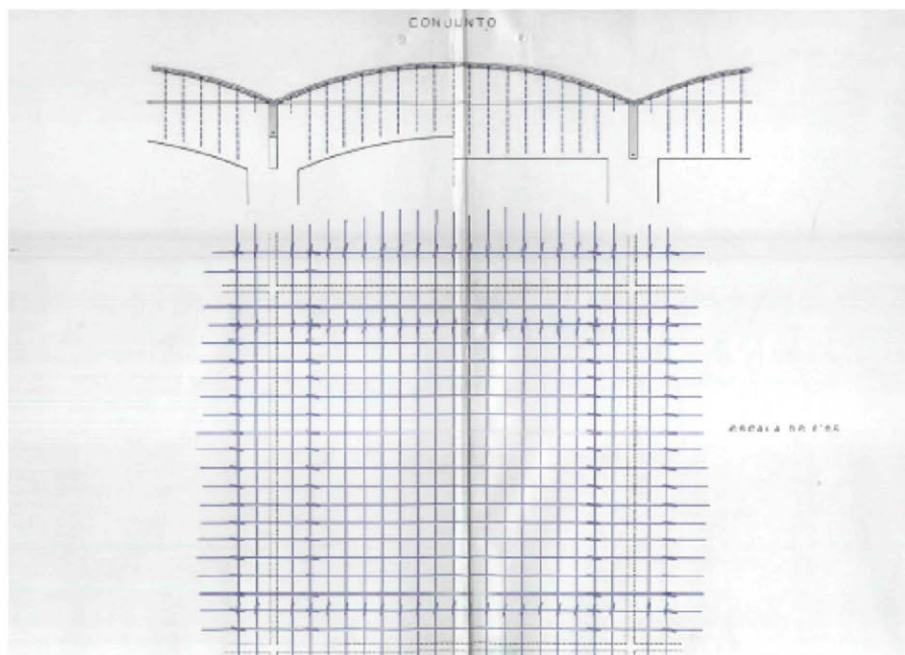


Figura 20 (figure 20). 29.863.

Para terminar, se recoge la única patente de **Mauricio Jalvo Millán**, consistente en “Un nuevo procedimiento de construcciones con hormigón armado” (1902), de dudosa eficacia, pero gran inventiva (Figura 21), y la antes mencionada de **Gabriel Rebollo** “un sistema de arcos en hormigón armado” (1902) (Figura 22).

Finally, **Mauricio Jalvo Millán** filed a single patent for “A new procedure for reinforced concrete construction] (1902), highly inventive but of doubtful effectiveness” (Figure 21), and **Gabriel Rebollo** invented “a system of reinforced concrete arches” (1902), mentioned earlier (Figure 22).

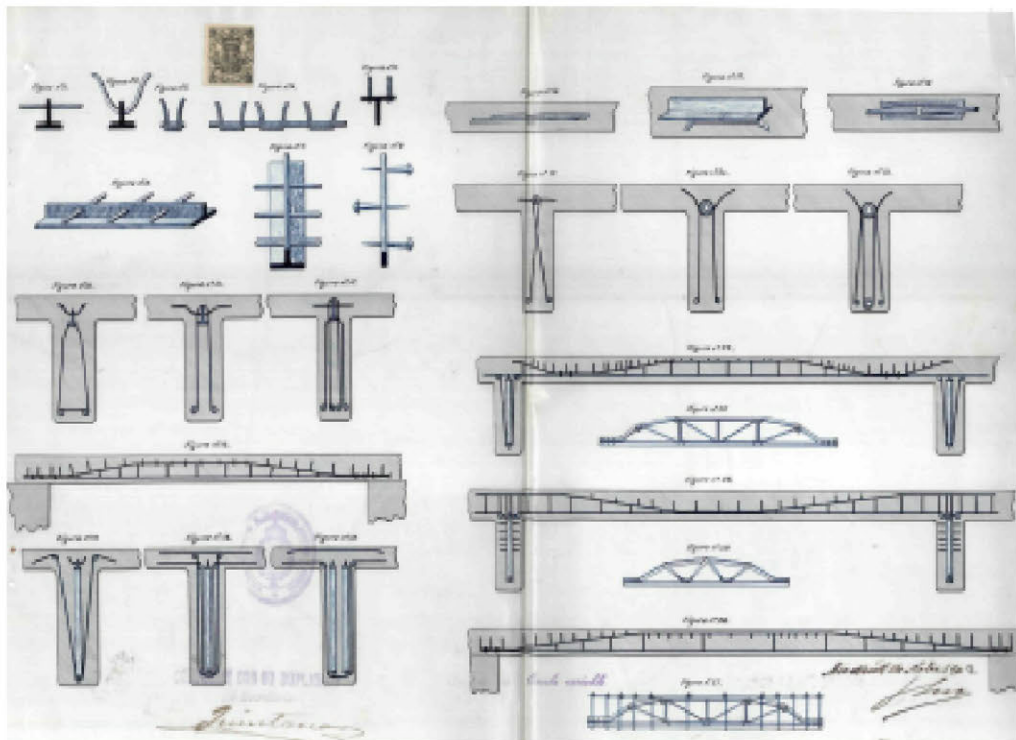


Figura 21 (figure 21).

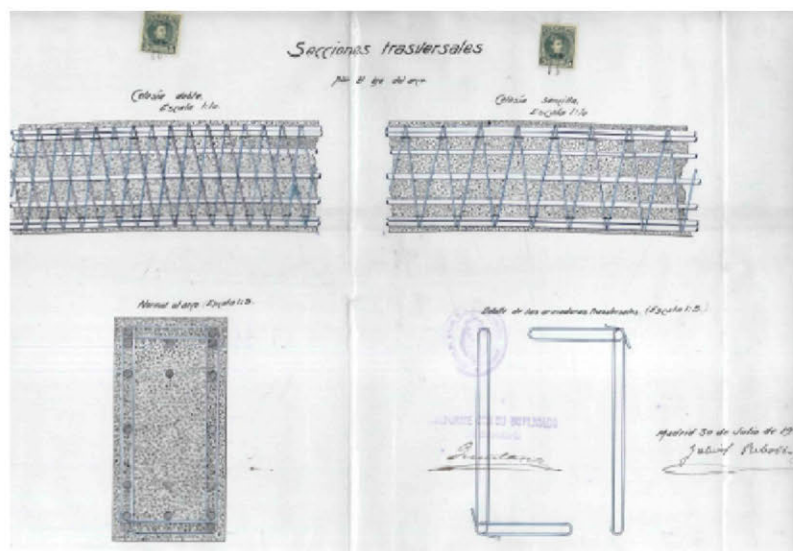


Figura 22 (figure 22).

5. Conclusión.

En la historia de la construcción, la innovación constructiva ha sido siempre un proceso lento en el que los materiales y sistemas constructivos han evolucionado con cautela. El hormigón armado ha sido una excepción.

En menos de 50 años, el hormigón armado revolucionó la construcción en Europa y Norteamérica, y en poco más de 15 años en España. Sin unas patentes eficaces, que permitieron financiar la implantación del hormigón armado, esto no hubiese sido posible.

5. Conclusion.

In the history of construction, innovation in building materials and systems has always taken place slowly and cautiously. Reinforced concrete was an exception.

In less than 50 years, reinforced concrete revolutionized construction in Europe and North America, while in Spain, this took place in a little over 15 years. Without effective patents, which made it financially possible for reinforced concrete to become established, this could not have occurred.