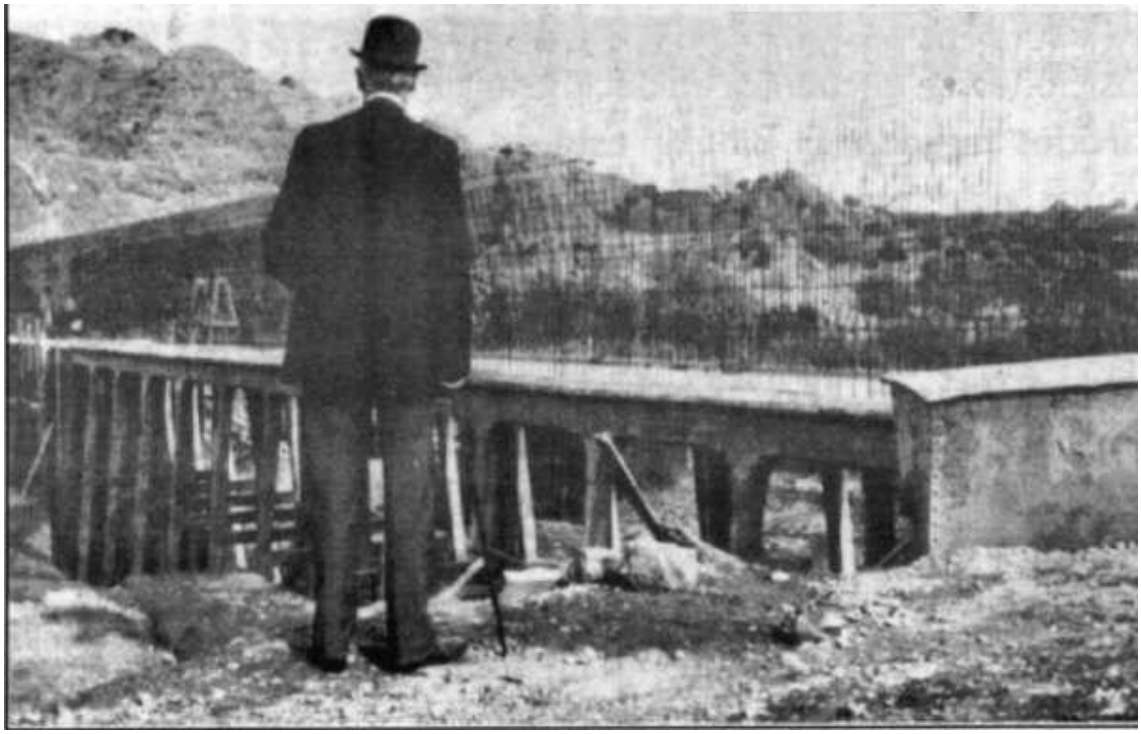
Universidad de Granada

Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería

Tesis doctoral

LOS ORÍGENES DEL HORMIGÓN ARMADO EN ESPAÑA



Doctorando: Antonio Burgos Núñez

Director de la tesis: Dr. Juan Calatrava Escobar

Granada, febrero de 2009

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: Antonio Burgos Núñez
D.L.: GR. 2077-2009
ISBN: 978-84-692-2731-2

LOS ORÍGENES DEL HORMIGÓN ARMADO EN ESPAÑA

Universidad de Granada

Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería

Tesis doctoral

LOS ORÍGENES DEL HORMIGÓN ARMADO EN ESPAÑA

Doctorando: Antonio Burgos Núñez

Director de la tesis: Dr. Juan Calatrava Escobar

Granada, febrero de 2009

INDICE

INDICE

Introducción 13

Primera parte

Capítulo I: El nacimiento del hormigón armado 19

1.- Roma, el hormigón en la Antigüedad. 21

2.- El tapial, precedente del hormigón. 26

3.- La recuperación de la construcción hormigonada.
Invención del cemento hidráulico artificial y nacimiento de la industria del cemento.. 32

4.- Los comienzos de la construcción con hormigón. 44

5.- La invención de Joseph Lambot 53

6.- El hormigón aglomerado de François Coignet. 56

7.- La evolución hacia el hormigón armado. Construcciones de hormigón y primeras construcciones de hormigón reforzado con hierro..... 68

8.- Las construcciones de hierro y cemento de Joseph Monier. 76

9 .- Monierbau, el desarrollo del hormigón armado en Alemania. 85

10.- La fiebre del hormigón armado a finales del siglo XIX. 94

11.- El impulso trascendental de la organización Hennebique. 147

12.- La evolución paralela del hormigón armado en los Estados Unidos..... 165

13.- La consolidación del hormigón armado en la primera década del siglo XX: desarrollo del conocimiento teórico y primeras normativas. 185

14.- La incorporación del hormigón armado por las vanguardias de la arquitectura y la ingeniería en el primer tercio del siglo XX. 202

Notas del capítulo primero 217

Capítulo II: La construcción en España a la llegada del hormigón armado 229

1.- Economía y construcción en España a principios del siglo XX. 231

2.- Los profesionales de la construcción. 234

3.- Materiales y tecnologías en la construcción arquitectónica. 238

4.- Los nuevos materiales en la arquitectura del cambio de siglo. 244

5.- Las instalaciones industriales y mineras. 250

6.- Las obras públicas 257

7.- Difusión técnica en el mundo de la construcción. 262

Notas del capítulo segundo 270

Capítulo III: Los inicios de la industria del cemento y sus derivados 273

1.- El cemento natural en España. 275

2.- Piedra artificial y derivados del cemento. 285

3.-Introducción del cemento Portland y principios de su fabricación en España. 290

Notas del capítulo tercero 307

Segunda parte

Capítulo IV: Orígenes del hormigón armado en España 313

1.- Los precursores. 315

2.- Francesc Macià, Claudio Durán y el sistema Monier. 324

3.- José Eugenio Ribera Dutaste. 336

4.- La organización Hennebique en España. 382

5.- Ricardo Martínez Unciti. 399

6.- La Compañía del Hormigón Armado de Sestao. 406

7.- Juan Manuel de Zafra. 429

8.- Gabriel Rebollo Canales. 443

9.- Mauricio Jalvo Millán. 450

10.- Eduardo Gallego Ramos. 456

11.- Mariano Luiña. 462

12.- Construcciones y Pavimentos. 466

13.- Otros protagonistas de la etapa inicial. 479

14.- La consolidación en la segunda década del sigo XX. 493

15.- El hormigón armado en el Protectorado español de Marruecos. 508

16.- La consagración del hormigón armado en la década de los veinte. 521

17.- El hormigón armado y los arquitectos e ingenieros de la generación del 27. 537

Notas del capítulo cuarto 555

Anejos del capítulo cuarto 577

Anejo 1.- La base teórica y experimental. 579

Anejo 2.- Procedimientos de ejecución. 591

Anejo 3.- Normativa y cuestiones reglamentarias. 605

Bibliografía 613

INTRODUCCIÓN

El hormigón armado empezó a utilizarse en España hacia 1900. Aunque las construcciones de hormigón (en masa, sin armaduras) eran conocidas desde por lo menos cincuenta años antes, la utilización de este nuevo material, fuera de algunas aplicaciones en la ingeniería civil, era poco frecuente en nuestro país.

Por entonces, en varios países de Europa y en Norteamérica ya llevaban años haciéndose construcciones de hormigón armado. Singularmente en Francia y Alemania el nuevo material de construcción estaba siendo objeto de una verdadera fiebre.

El hormigón armado no había surgido ni en un momento concreto, ni en un lugar determinado, como consecuencia de los trabajos de algún afortunado inventor. Su aparición fue el resultado de una evolución larga, en la que intervinieron diversos actores en diferentes escenarios.

Con los ojos puestos en las antiguas obras romanas, el hormigón volvió de nuevo a emplearse en Francia e Inglaterra en la segunda mitad del siglo XVIII. En este último país, la invención del cemento artificial y el desarrollo de su producción industrial, en el primer tercio del XIX, impulsó notablemente la construcción hormigonada. También se hicieron considerables progresos en Francia, donde el punto de partida fue la popular técnica del tapial.

A lo largo del siglo XIX se le fueron añadiendo mejoras, fruto de la práctica habitual con un material cuyo uso empezaba a generalizarse. Y en la época de expansión del hierro en la arquitectura y la ingeniería, resultó ciertamente inevitable que surgieran los primeros intentos de reforzarlo con elementos metálicos.

Se multiplicaron las experiencias en ambos países, no tardando en incorporarse otros como Alemania y los Estados Unidos. Todos contribuirían al nacimiento del nuevo material de construcción.

A finales del XIX, todavía sin estar consolidada la nueva técnica constructiva, tendría una irrupción fulgurante en el mundo de la construcción. La propia indefinición científica del hormigón armado dio lugar a la aparición de múltiples sistemas, cada uno patrocinado por una firma comercial que pretendía prosperar en el fabuloso mercado que se atisbaba.

Gracias principalmente al impulso expansivo de una de ellas llegó a España en los años finales del XIX. Nuestro país ofrecía inmensas posibilidades para la nueva técnica, pues se encontraba al principio de una fase de expansión económica en la que el sector de la construcción, tanto arquitectónica como industrial y de ingeniería, se vería ampliamente potenciado.

Simultáneamente se desarrollaría la industria nacional del cemento artificial o Portland, inexistente hasta esas fechas. La tradicional producción de cales hidráulicas y cementos naturales, que había dado lugar en nuestro país a un floreciente sector industrial en la segunda

mitad del siglo XIX pronto sería sustituida por la fabricación a gran escala del cemento, el material básico para la elaboración del hormigón.

Pronto España se situó en las primeras posiciones en el desarrollo de la nueva tecnología, multiplicándose el número de construcciones de hormigón armado de las más variadas características.

En todos los países, la extraordinaria difusión que estaba teniendo el hormigón armado en esta etapa de vinculación a las empresas atrajo a muchos técnicos, que iniciaron su estudio científico. Comenzaron las primeras investigaciones encaminadas a conseguir su formulación racional, que empezarían a fructificar con la aparición de las primeras normativas y tratados científicos.

A partir de entonces tomaría el hormigón armado verdadera carta de naturaleza. En las décadas siguientes, las nuevas generaciones de arquitectos e ingenieros sabrían desarrollar al máximo sus posibilidades, ampliando su campo de utilización con innovadoras construcciones. El progreso fue particularmente rápido en los campos de la construcción industrial y la ingeniería civil, donde sería admitido con entusiasmo desde sus comienzos. En el ámbito de la arquitectura su aceptación tardaría más en llegar, siendo los renovadores del Movimiento Moderno los responsables de su implantación definitiva.

En su introducción en España tuvieron, pues, mucho que ver las “multinacionales” del hormigón armado. Entre ellas, particularmente la firma francesa Hennebique que, si bien no fue la primera que entró en nuestro país si fue la que lo hizo con más fuerza.

No obstante, pronto se vería desplazada por empresas nacionales. Dos de ellas, la del ingeniero de caminos Ribera y otra creada en Sestao se disputarían en la primera década del siglo el liderazgo de la construcción con hormigón armado en nuestro país. Aunque no serían las únicas. Hubo otras casas importantes que también lograrían hacerse un hueco en el naciente mercado del nuevo material de construcción.

El empleo del hormigón armado se extendería con rapidez principalmente en las regiones industrializadas del Norte, pero también de forma notable en Madrid y Andalucía. Este imparable crecimiento no se vería interrumpido ni siquiera por sucesos tan terribles como el hundimiento del *Tercer Depósito* del Canal de Isabel II, que no obstante acarrearía una gran incertidumbre sobre su evolución.

Pero, por otro lado, terminaría de concienciar a todos los que confiaban en el nuevo material en la imperiosa necesidad de darle la legitimación científica que, apartándolo definitivamente de las caprichosas patentes, lo consolidara como un material de construcción plenamente válido. Muchos técnicos ya lo estaban haciendo en el extranjero. En España ese papel lo desempeñaría principalmente el ingeniero de caminos Juan Manuel de Zafra, pionero de su estudio teórico y el primero que impartió su enseñanza en España.

La segunda década del siglo vería llegar la consolidación del nuevo material en España. Su empleo se popularizó, merced en parte al impulso de grandes empresas constructoras que lo conviertieron en la base de su actividad. Pero también gracias a los numerosos técnicos que, formados ya oficialmente en la nueva técnica de construcción y contando con una potente base teórica y reglamentaria, lo utilizarían ampliamente tanto en proyectos modestos como en obras de gran envergadura.

En la década de los veinte el hormigón armado alcanzó el papel hegemónico en la construcción. Como sucedería en el resto de países, primero arraigó con fuerza en el mundo de la ingeniería civil y más tarde en el de la arquitectura. Finalmente, la extraordinaria generación de arquitectos e ingenieros del 27 sería la que lo consagrara de forma definitiva.

El estudio de los comienzos de la utilización del hormigón armado en España incluye diversos aspectos que se han agrupado en dos partes principales. En la primera se analizan, por así decirlo, las cuestiones previas a su introducción en nuestro país. Resulta, pues, imprescindible empezar con un capitulo en el que se describe cómo se fue originando la nueva técnica constructiva, en diferentes países, a lo largo del siglo XIX.

En el siguiente capítulo se tratan las condiciones en que se encontraba el mundo de la construcción española cuando llegó el hormigón armado, intentando situar el contexto en el que tuvieron lugar los acontecimientos que constituyen el tema principal de la tesis.

Termina esta primera parte introductoria con un estudio sobre la formación de la industria nacional del cemento artificial, el elemento fundamental y principal factor que daría lugar al desarrollo del hormigón armado.

Del tema fundamental de la tesis se ocupa la segunda parte, en la que se describen los principales hechos relacionados con la introducción del hormigón armado en España. Se ha dado preferencia al discurso histórico, organizado en capítulos dedicados a los distintos protagonistas. Las cuestiones generales (normativa, cálculos, procedimientos de ejecución) se han tratado de forma resumida en anejos.

PRIMERA PARTE

CAPÍTULO PRIMERO:

EL NACIMIENTO DEL HORMIGÓN ARMADO

1. Roma, el hormigón en la Antigüedad.

Desde las primeras etapas de su evolución, el hombre fue utilizando todo tipo de materiales para sus construcciones. Los primitivos lugares de habitación, situados principalmente en cuevas y abrigos rocosos, se hicieron con huesos de animales, ramas y pieles. Estos materiales dieron paso en el Neolítico a las primeras construcciones duraderas, hechas con piedra. Por su solidez y durabilidad este material era el preferido para las construcciones importantes, como los grandes dólmenes megalíticos.

Sin embargo, en las primeras grandes civilizaciones del Oriente Próximo, la construcción se desarrolló a partir del barro, único material de construcción disponible. En Mesopotamia, ya desde el III milenio a.C. los sumerios construyen sus templos y palacios con adobe. Más tarde incorporarán el ladrillo, que se convertirá en el gran protagonista de la arquitectura mesopotámica, de la que los *ziggurat* son la muestra más conocida.

En Egipto, la inmensa mayoría de las construcciones se hicieron con adobe. La piedra, también muy escasa, se reservaba para templos y grandes monumentos funerarios, que se pretendía que duraran eternamente.

Los precedentes del hormigón, una verdadera “piedra artificial” formada a partir de piedras pequeñas, argamasa y agua, quizá habría que buscarlos en estas dos grandes civilizaciones. No obstante, donde verdaderamente esta idea tomó cuerpo fue en Roma.

En las primeras construcciones romanas, de inspiración etrusca, predomina el adobe. Se utiliza también la piedra, principalmente en los templos, que muestran una cada vez más marcada influencia de las formas griegas. Sin embargo, a partir del siglo II a.C., el desarrollo de la técnica del arco y la bóveda, y la incorporación del hormigón iban a revolucionar la arquitectura romana.

Frente a las tradicionales construcciones adinteladas, los nuevos edificios romanos con estructura de bóvedas de hormigón suponían una nueva concepción arquitectónica, que ponía el acento en la valoración del espacio interior.

Aparecía por primera vez la distinción entre elementos resistentes y ornamentales. La estructura de hormigón, libre de las rígidas reglas de composición griega, permitía nuevas configuraciones para los edificios.

Por fuera, el revestimiento de piedra o ladrillo intentaba mostrarse fiel a los cánones estéticos griegos.



Figura 1. Teatro Romano de Mérida. El hormigón que forma el cuerpo de los muros queda al descubierto tras el paramento de sillería.

La técnica del *opus caementicium* permitió la creación de nuevas tipologías arquitectónicas. Junto con las termas, quizás las más representativas sean los grandes edificios para espectáculos públicos, teatros, circos y anfiteatros, levantados sobre una complicada estructura de galerías abovedadas de hormigón.



Figura 2. Bóveda de rosca de sillería y trasdós de hormigón en el teatro de Baelo Claudia (Cádiz)

En el siglo II d.C. la construcción con hormigón alcanza la madurez. Apolodoro de Damasco construye las Termas y los Mercados de Trajano. Estos últimos constituyen un buen ejemplo de las posibilidades que la técnica de bóvedas de hormigón ofrecía para resolver complicados problemas de arquitectura e ingeniería.



Figura 3. Mercados de Trajano. Roma, siglo II d.C. Apolodoro de Damasco, arquitecto. Edificio de hormigón con revestimiento de ladrillo que salva la acusada pendiente entre el Foro de Trajano y el Quirinal.

Poco después, bajo el gobierno de Adriano, se levanta otra de las obras cumbres de la arquitectura romana: el Panteón, imponente templo de planta circular con una cúpula de cuarenta y tres metros de diámetro. Estas obras muestran ya el amplio repertorio de recursos estructurales que formará la base de la construcción romana de hormigón de la época imperial, cuya culminación llegará con las Termas de Diocleciano y la Basílica de Majencio y Constantino.

El hormigón romano se formaba mezclando áridos de muy diversa naturaleza con un aglomerante, arena y agua.

Como aglomerante se usaba cal viva, obtenida quemando en horno calizas naturales, mezclada con arena. Empíricamente se sabía que algunas calizas proporcionaban cales de mejor calidad. También se conocían las propiedades de la puzolana, piedra volcánica procedente de *Pozzuoli*, en los alrededores del Vesubio. Vitruvio la menciona en su famoso tratado de arquitectura, escrito en la época de Augusto: *"el polvo de Puzol mezclado con la cal y la piedra machacada, no sólo consolida toda clase de edificaciones, sino que incluso las obras que se hacen bajo el agua del mar tienen solidez"*[1]. En cuanto a la arena, se preferían las de cantera, utilizándose también a menudo las de río.

Como áridos o *caementa* se aprovechaban todo tipo de elementos pétreos: cascotes, ladrillos rotos, cantos rodados, etc. Las piedras pesadas y macizas se reservaban para cimientos y las más ligeras para las bóvedas[2].



Figura 4. Ruinas del Puente Romano de Porcuna (Jaén). Hormigón de relleno de la pila. Para construir el hormigón del cuerpo de la pila y estribos se aprovecharon los cantos rodados del río, algunos de gran tamaño

El hormigón romano no se fabricaba como el actual, mezclando previamente el mortero con los áridos, sino que se formaba disponiendo por separado tongadas sucesivas de mortero y áridos[3]. En ocasiones estas tongadas se apisonaban enérgicamente, cuando el hormigón se empleaba en cimentaciones y como núcleo de muros de gran potencia, rellenando el espacio entre dos paramentos de sillería.

En los elementos habituales el hormigón no se apisonaba. Los muros más livianos tenían un cuerpo de hormigón levantado entre paramentos de ladrillo o piedra, evitándose el uso de encofrados.

Las bóvedas se construían sobre cimbras. Las más primitivas se formaban con un primer arco de piedras alargadas dispuestas radialmente a modo de dovelas, cuyo trasdós se rellenaba con hormigón.



Figura 5. Cueva de los siete palacios, Almuñecar (Granada). Primitivas bóvedas romanas de hormigón sobre arco de lascas dispuestas radialmente.

En un grado de depuración mayor se construyeron a partir de roscas de ladrillo. El final de esta secuencia evolutiva fue la bóveda concrecionada, vertida simple y directamente sobre el encofrado y la cimbra[4]



Figura 6. Termas de Diocleciano. Roma, 300 d.C. Bóvedas de hormigón paramentadas con roscas de ladrillo.

2. El tapial, precedente del hormigón.

Uno de los ámbitos donde se experimentó un mayor retroceso como consecuencia de la caída del Imperio Romano fue el de la construcción. Gran parte de las técnicas, como la del hormigón, se perdieron, quedando los logros romanos como hitos que no fueron superados hasta el siglo XIX.

Durante este largo periodo la construcción predominante fue la de piedra y ladrillo. Las iglesias y palacios no se concebían con otro material que no fuera la piedra, casi siempre en forma de sillería finamente tallada. En edificios de menor entidad, se usaba la mampostería y el ladrillo. La construcción con este último material era predominante en las zonas donde la piedra escaseaba. Se siguió utilizando el adobe, pero no se consideraba un material digno para los edificios importantes.

En gran parte de España fue muy popular otra técnica de construcción con tierra, la del tapial. Consistía en levantar muros apisonando tierra arcillosa mezclada con piedra menuda y algo de cal, vertida previamente sobre un encofrado de tableros de madera que se iba deslizando a medida que progresaba la construcción.

Por tanto, si bien en cuanto a su constitución el tapial no guarda mucha relación con el hormigón (se trata de barro apisonado, sin aglomerante), en lo que concierne a su forma de ejecución si que puede considerarse como su antecedente, pues en ambos casos se trata de conformar los elementos constructivos a partir de moldes o encofrados.

En las zonas de tradición islámica la construcción con tapial alcanzó gran desarrollo, aplicándose incluso en obras de gran envergadura. Así, la mayoría de las fortificaciones de la España Musulmana están hechas con tapial. No sería menor su importancia para la arquitectura doméstica, utilizándose, sólo o combinado con otros materiales (ladrillo, mampostería), en muros y cimentaciones.

También se utilizaba comúnmente en los reinos de Aragón y Castilla, desde donde fue implantado, con gran aceptación, en el Nuevo Mundo.



Figura 7. Torres construidas en tapial de la Alcazaba de la Alhambra, Granada. Siglos XIII-XIV.

Fuera de España, el tapial era muy popular en la región francesa de Lyon, donde era conocido como *Pisé*. Aquí también se había alcanzado un gran nivel de perfeccionamiento, empleándose en todo tipo de construcciones.



Figura 8. Vivienda tradicional francesa hecha con pisé (tapial). Región de Lyon.

A finales del siglo XVIII, las dificultades económicas que surgieron tras la Revolución Francesa estimularon la búsqueda de nuevos procedimientos de construcción alternativos a las costosas fábricas tradicionales de ladrillo y piedra. Comenzó entonces a reivindicarse el tapial por algunos téoricos de la construcción. Por ejemplo, en su famoso *Tratado del arte de construir* (publicado en 1812) Jean Rondelet lo describía como *"un procedimiento económico para formar edificios sólidos al abrigo de los incendios, que merecería ser propagado en todos los demás departamentos* [de Francia] *donde se construye en madera, sobretodo para las granjas y otros edificios rurales"*.

No escatimaba elogios Rondelet para esta técnica constructiva, que podría constituir la base para la recuperación de la edificación hormigonada romana: *"cuando los muros de tapial están bién hechos forman una sola pieza y, si son revestidos por el exterior con un buen enfoscado, pueden durar varios siglos; […] este tipo de construcción parece haber sido practicado en esta región* [de Lyon] *desde hace un tiempo inmemorial, siendo conocida por los antiguos Romanos"*[5].

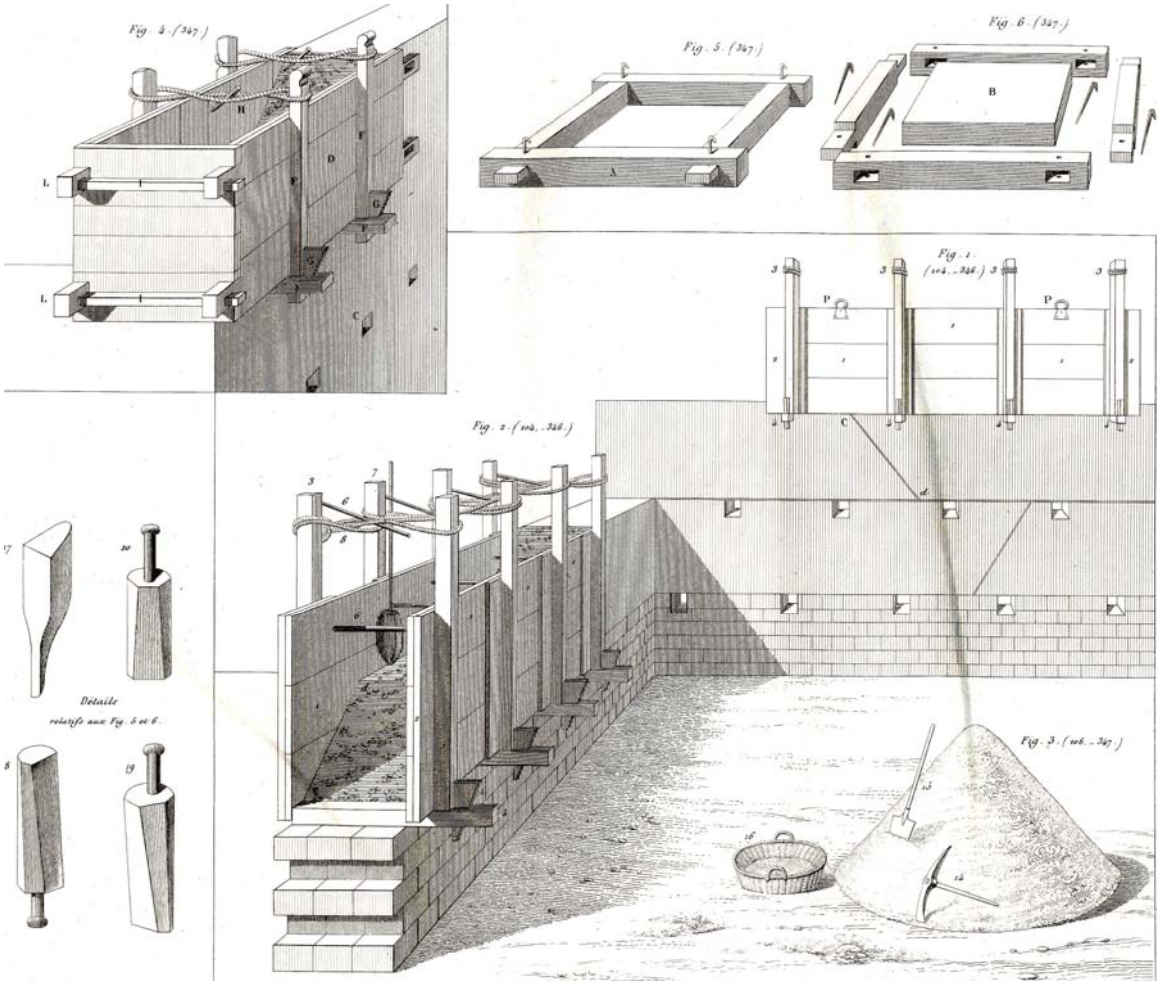
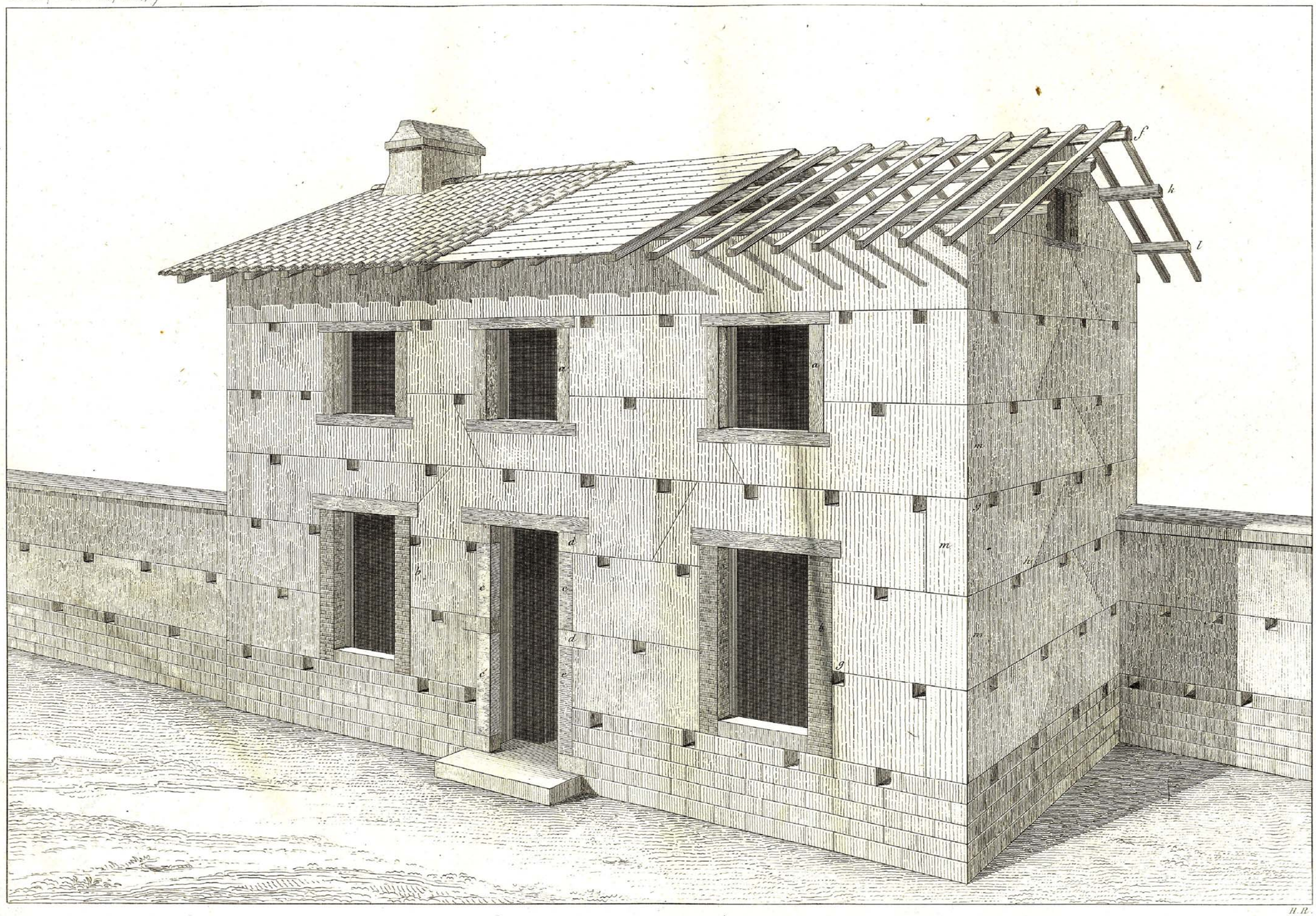


Figura 9. La técnica de construcción con tapial según el *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir* de Jean Rondelet. Principios del siglo XIX. Biblioteca Pública de León.

TRAITÉ DE L'ART DE BÂTIR, LIVRE IER IRE SECTION, *Chap. 2.*

N° 5. *(Tome 1er pag. 107 et 347.)*

Pl. V.



H.R.

CONNAISSANCE DES MATÉRIAUX.

Pisé

Vivienda construida con tapial o "pisé"

En Rondelet, Traité théorique et pratique de l'art de bâtir. Biblioteca Pública de León

El primer paso en esta evolución del tapial a la construcción hormigonada lo daría François Cointeraux, un maestro de obras de Lyon posteriormente autotitulado "profesor de arquitectura rural". En 1785, mientras trabajaba en la construcción de un convento en Grenoble, tuvo conocimiento de que la Academia de Amiens, ante la conmoción creada por los terribles incendios del año anterior, había convocado un concurso y ofrecía un premio a quien propusiera un medio de construir simple y económico con el que prevenir los incendios y evitar sus desastrosos efectos sobre los edificios.

Decidido a presentarse, enseguida pensó en el tapial como la solución idónea, pero hasta entonces esta técnica sólo se había aplicado a la construcción de muros. Tenía, pues, que encontrar *"el medio de hacer los techos, las cubiertas y los forjados al abrigo de los incendios"*. Para ello compró un terreno cerca de Grenoble, con la intención de establecer un taller para *"guardar las nuevas máquinas y útiles que iba a construir, y preparar sus nuevos morteros, cementos y tapiales".*

El propio edificio del taller debía servir de prueba para la nueva construcción, y así comenzó a construirlo con tapial. Los muros se levantaron sin ninguna dificultad, pero en la bóveda que tenía que servir de cubierta fue imposible hacer una buena compactación, quedando *"el tapial bien hecho hasta la mitad de la curvatura, pero la tierra en la parte superior de la bóveda no pudo ser bien compactada".*

Entonces decidió hacer bloques de tapial prensados en el suelo, con los cuales después formaría las bóvedas y los muros. No sin dificultades construiría así un pequeño edificio que utilizaría como modelo de su procedimiento constructivo, al que llamaría *"nouveau pisé sortant de la main de l'ouvrier"* (nuevo tapial salido de la mano del obrero) para destacar su facilidad de construcción y bajo coste.

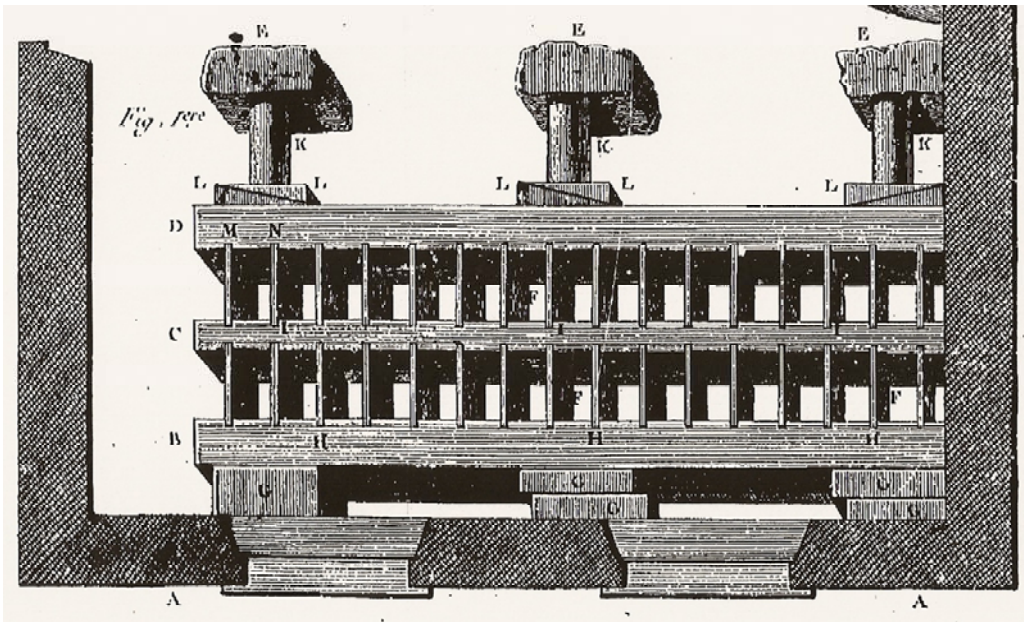


Figura 10: Procedimiento para la fabricación de bloques de tapial. Vista en planta. En Cointeraux, *Quatrième Cahier d'Architecture Rurale.* 1891. Bibliothèque Nationale de France.

Cointeraux no negaba al antiguo tapial su utilidad, pero su *"nouveau pisé"* tenía todavía más, porque se le podía dar *"toda clase de curvaturas y toda especie de formas y figuras, mientras que el procedimiento antiguo no se empleaba más que para hacer muros derechos".* Con sus bloques podían hacerse incluso pilares y columnas. Independientemente, el *"nouveau pisé"* podía ser fabricado en cualquier época del año, por lo que podía ser un medio de mantener ocupados a los campesinos y jornaleros cuando estos no tenían nada que hacer.

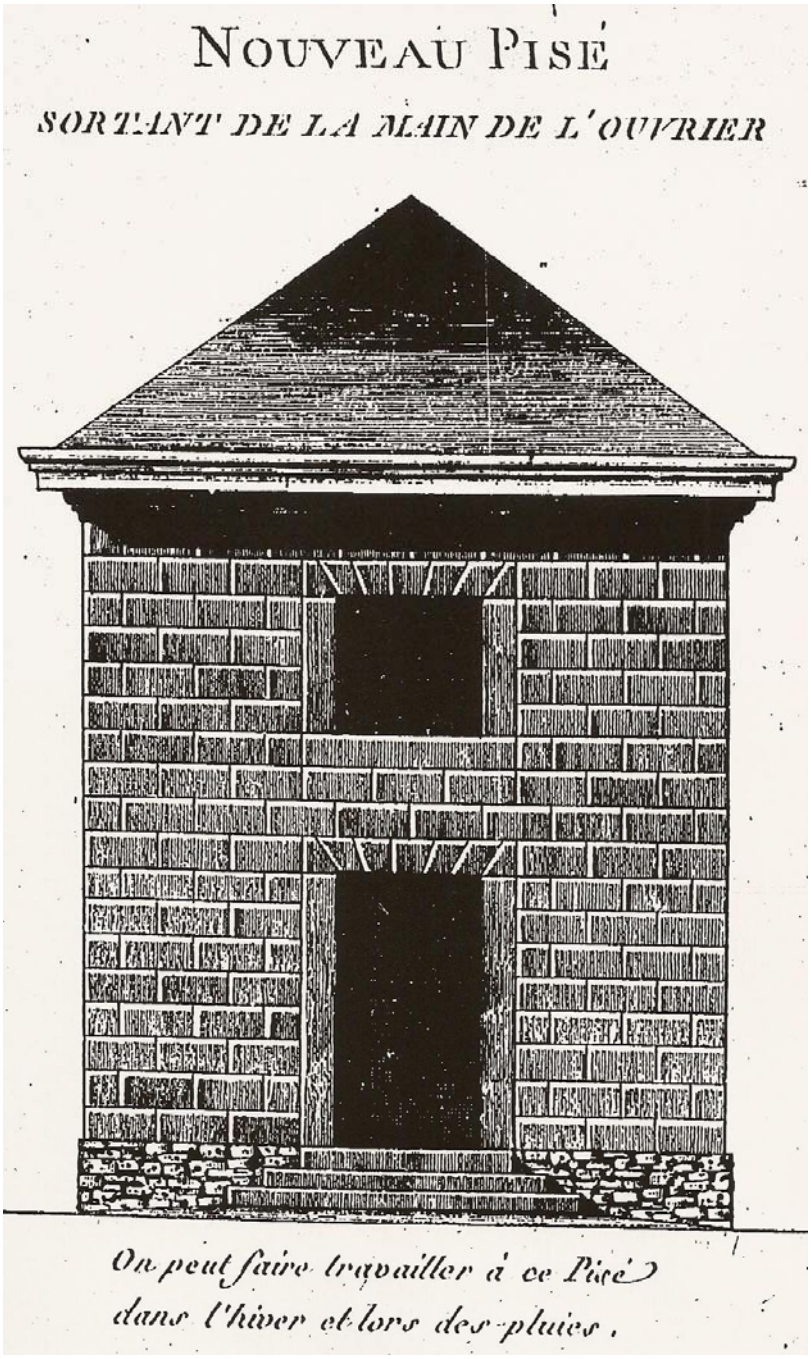


Figura 11: Portada del *Quatrième Cahier d'Architecture Rurale* representando un prototipo de vivienda realizada en "Nouveau pisé". François Cointeraux, 1891. Bibliothèque Nationale de France

Para concluir los experimentos se ocupó *"de buscar el medio de emplear por este arte toda clase de tierra",* probando diferentes amalgamas de cales y cementos. Sin embargo, no consiguió que en este aspecto su *"nouveau pisé"* aportara novedades respecto del antiguo.

Una vez definido el procedimiento, puso los resultados de sus trabajos en conocimiento de los miembros de la Academia, quienes, vivamente interesados, reclamaron su presencia en Amiens para explicarlo. Cointeraux se desplazó junto con uno de sus obreros y junto a esta ciudad montó otro taller de experiencias. Sus construcciones fueron muy celebradas y ganó el concurso, pero no consiguió que las autoridades financiaran la continuación de sus trabajos.

Así que decidió trasladarse a París, donde establecería un tercer taller. Le sobrevendrían allí los acontecimientos de la Revolución Francesa, que dejarían aparcadas, como tantas otras cosas, sus construcciones de *"Arquitectura Rural"*.

Cointeraux seguiría intentando el resto de su vida difundir su sistema. Lo describió en 1791 en sus *cuadernos de la Escuela de Arquitectura Rural,* que incluso vendía a distancia[6]. Serían los primeros de una larga lista de publicaciones con las que iría dando cuenta de las diferentes aplicaciones de su *"noveau pisé"*.

3. La recuperación de la construcción hormigonada. Invención del cemento hidráulico artificial y nacimiento de la industria del cemento.

La construcción con hormigón empezó a recuperarse a finales del siglo XVIII, aunque en cierto modo nunca había sido abandonada completamente. Algunas zonas conservaron la tradición del empleo de morteros y hormigones, confundido y entremezclado con técnicas del tapial. Pero donde el hormigón sobrevivió como tal fue en los trabajos de *Arquitectura Hidráulica*, como entonces se conocía a la construcción de obras en el mar.

Hormigones primitivos se usaban de vez en cuando, en ocasiones especiales y en ciertas regiones, en las cimentaciones de pilas de puentes, en canales y para la formación de diques y otras obras portuarias.

Para que fueran capaces de fraguar bajo el agua se usaba como aglomerante la misma *puzzolana* de los romanos, que se comercializaba en toda Europa. Por ejemplo, con ocasión de la construcción del puente de Westminster un comerciante de Plymouth la importó a Inglaterra desde Italia, aunque finalmente no se empleó en esa obra. En su lugar se empleó otra materia análoga, habitual para formar morteros hidráulicos: la *terrasse* o *tarras,* que se producía en Holanda con piedras procedentes de la zona del Rhin[7].

La primera aplicación documentada del empleo de hormigón a gran escala fue la construcción de unas dársenas nuevas en el puerto de Toulon (Francia), que tuvo lugar en 1748. Con la ayuda de una máquina especialmente diseñada para verter el hormigón a relativa profundidad, se hicieron los diques echando tongadas alternas de hormigón fabricado con puzolana y mampostería irregular. Este nuevo procedimiento de construcción fue descrito por Bertrand de Belidor en su tratado de *Arquitectura Hidráulica*, recomendando su aplicación *"principalmente en el mar Mediterráneo, así como en lagos y ríos en los que el fondo nunca esté seco y donde se quiera evitar el uso de ataguías y agotamientos"*[8].

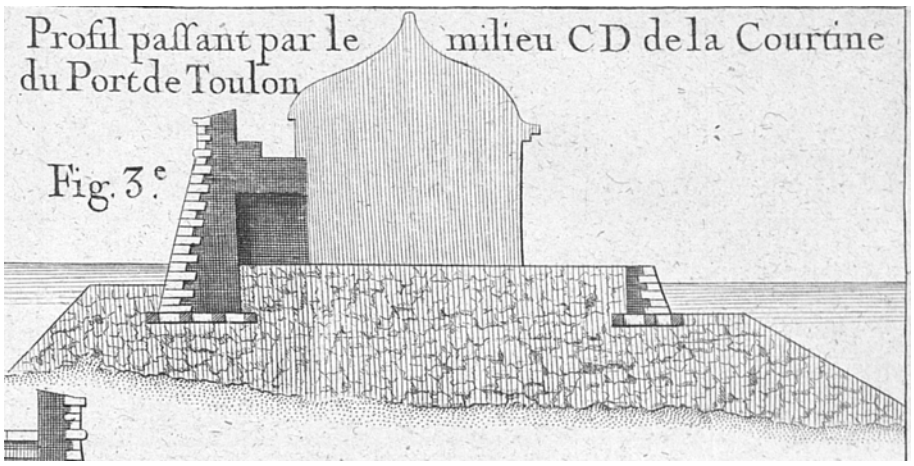


Figura 12. Nuevos diques del puerto de Toulon (Francia). Bertrand Belidor, ingeniero. 1748. En Belidor, *Architecture Hidraulique*. Biblioteca de la Universidad de Granada.

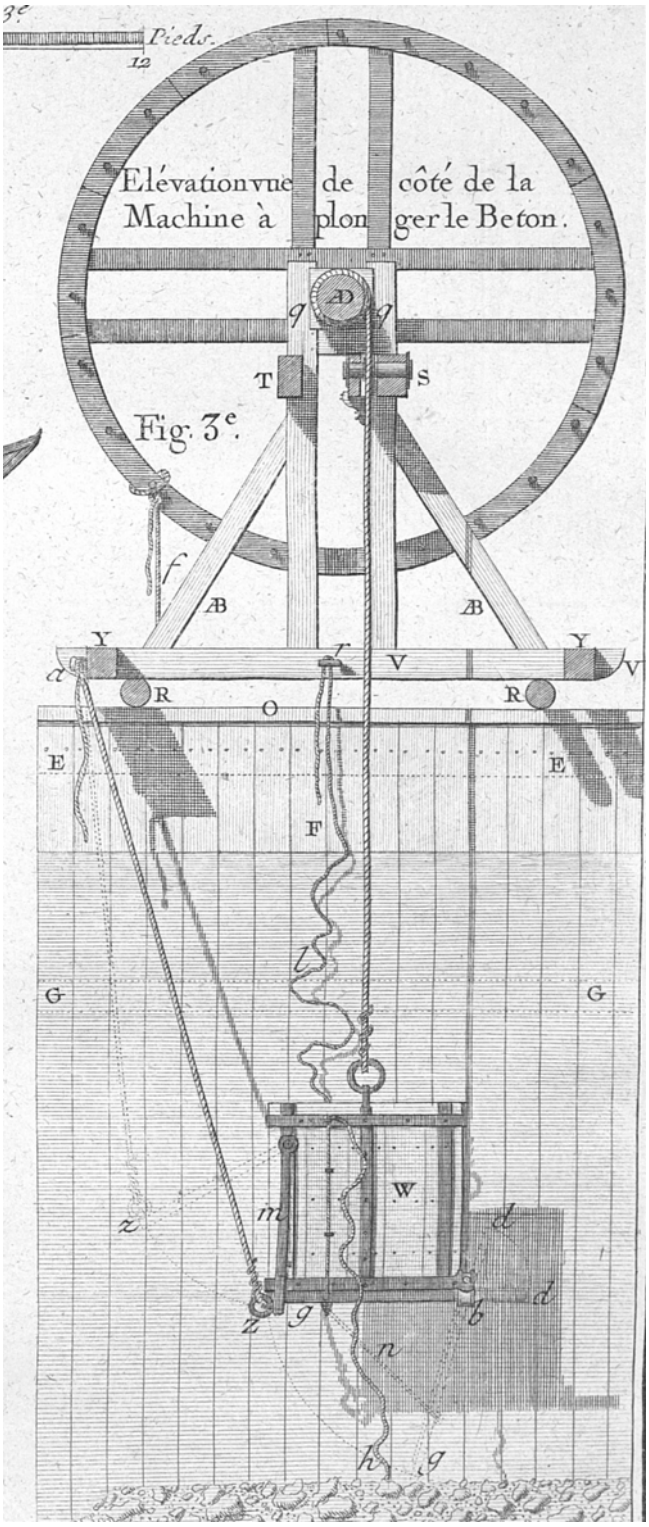


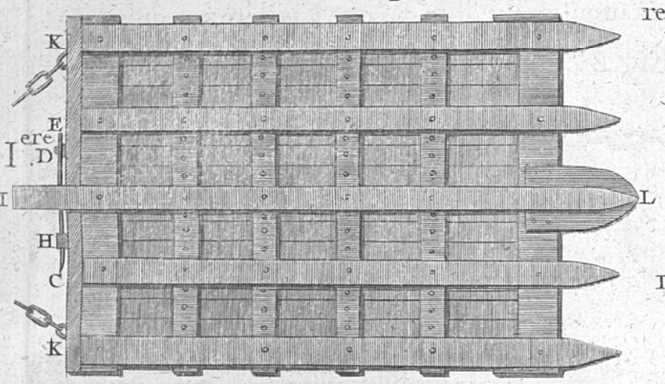
Figura 13. Máquina para verter el hormigón utilizada en el puerto de Toulon (Francia). Bertrand Belidor, ingeniero. 1748. En Belidor, *Architecture Hidraulique*. Biblioteca de la Universidad de Granada.

A mediados del siglo XVIII, pues, no eran desconocidos los morteros capaces de fraguar debajo del agua en obras hidráulicas. Como conglomerante se utilizaba preferentemente *puzzolana*, *tarras* u otros productos como la *cendrée* de Tournay[9]. También era frecuente el uso de polvo de tejas machacadas, *"empleado desde un tiempo inmemorial en las construcciones y la más antigua de las puzolanas artificiales conocidas"*[10].

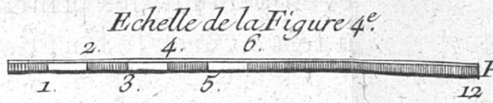
Developement des principales parties de la Machine qui fert à curer le Port de Toulon.

Plan du dessous de la Cuillére pour curer les Ports.

Fig I.ere



Echelle de la Figure 4.e



representation de cette Cuillére vue de côté.

Fig. 2.e

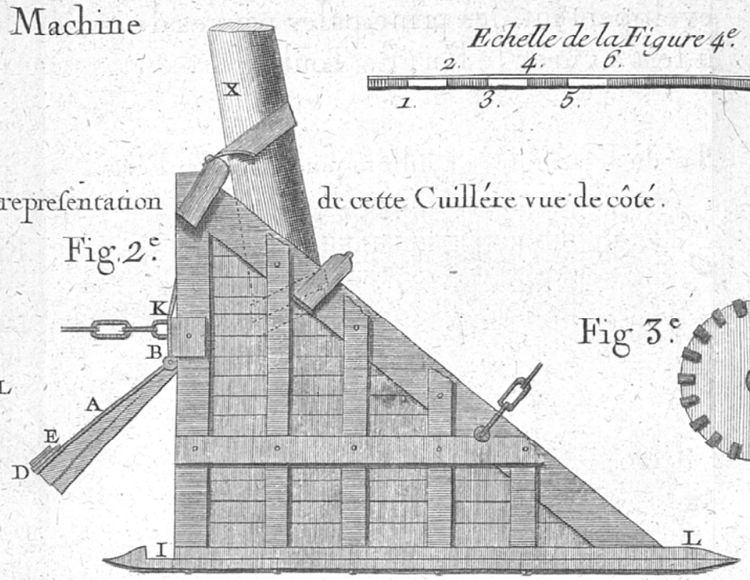
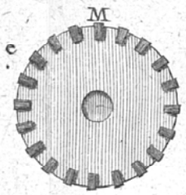
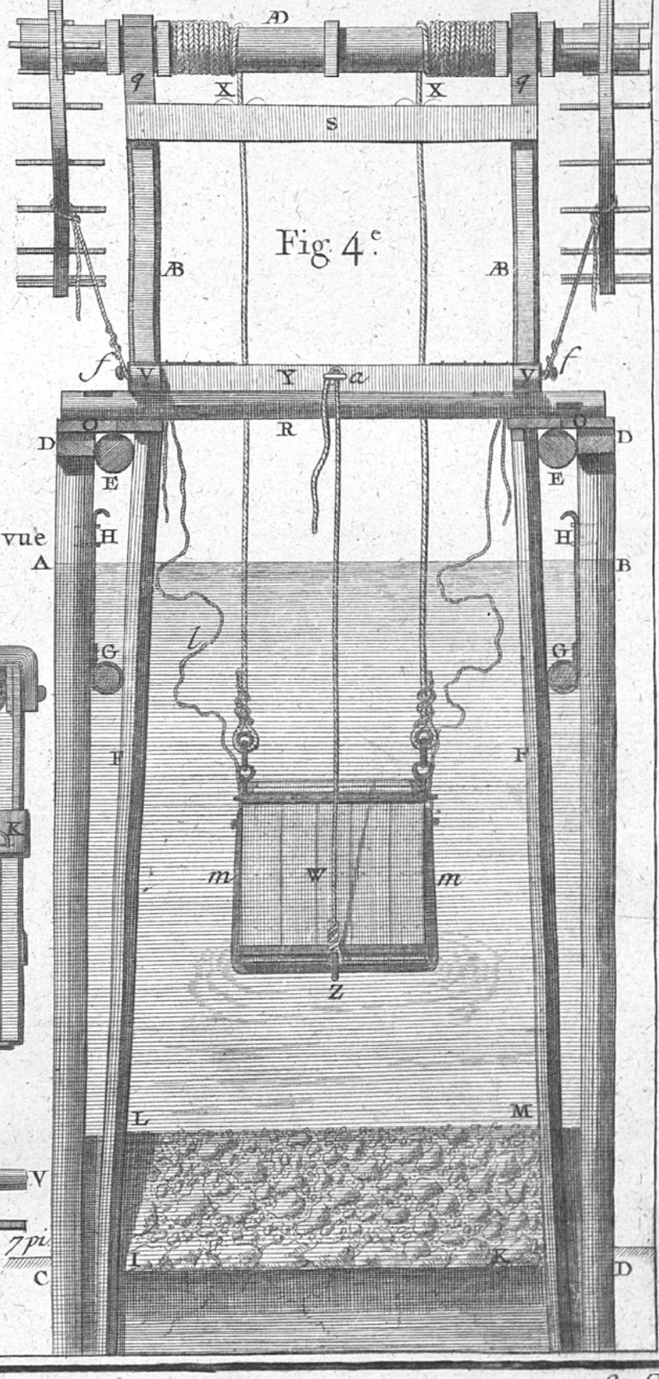


Fig 3.e



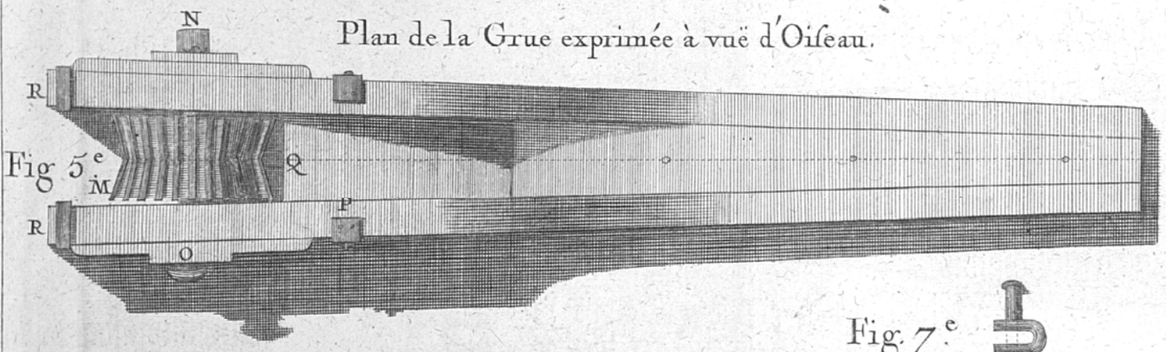
Profil coupé sur la largeur de la Machine servant à plonger le Beton.

Fig. 4.e



Plan de la Grue exprimée à vuë d'Oiseau.

Fig 5.e



Face de la Cuillére vuë du côté du Clapet.

Fig. 6.e

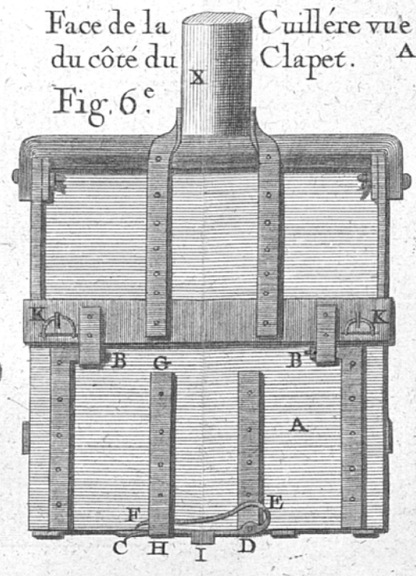
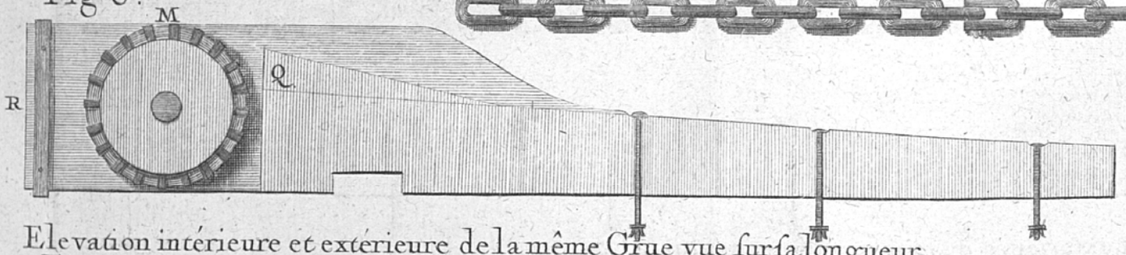


Fig. 7.e



Fig 8.e



Elevation intérieure et extérieure de la même Grue vue sur sa longueur.

Fig. 9.e

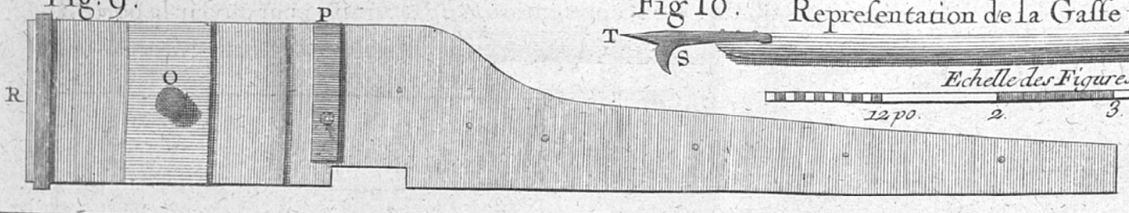
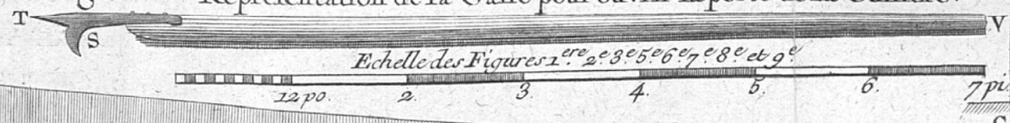


Fig 10.e Representation de la Gasse pour ouvrir la porte de la Cuillére.



Hervieu et Sculp.

N.o 23.

El polvo de tejas machacadas se usaba para formar con cal un mortero *"que resiste al agua y a la humedad, como el que se hace con la puzolana"*. Se hacían así *"fábricas encofradas para cimentaciones y obras en el agua o destinadas a contenerla, formadas con una especie de mortero u hormigón hecho con grava gruesa o deshechos de canteras y cal apagada".* En la región de Lyon, con tradición calera y en empleo del tapial, se usaba habitualmente para *"hacer pozos, muros de muelles, pilas de puentes y depósitos para contener agua"*[11].

En el siglo XVIII comenzaron a estudiarse las cales en busca de un aglomerante hidráulico con el que fabricar hormigón, una verdadera piedra artificial. Al principio se abordó la cuestión desde posiciones poco científicas. La admiración por las grandes construcciones romanas, cuyos morteros se caracterizaban por una *"extrema dureza en comparación con la mediocre consistencia de los cementos modernos"* excitaba la imaginación de muchos pseudo-científicos, que pensaban que los romanos fabricaban sus morteros siguiendo procedimientos muy particulares, incluso esotéricos. Así, hubo quienes como los franceses Loriot y de La Faye, cada uno por su lado, pretendieron *"haber encontrado el secreto de los antiguos"*[12]. Como prueba, citaban "*varios pasajes de autores antiguos, entre otros Vitruvio y Plinio el naturalista, interpretándolos de una manera favorable a sus procedimientos"*[13]*.* No obstante, sus rudimentarios morteros no tendrían mucha aplicación en la práctica.

En cambio, sí que sería trascendental para la recuperación de la construcción hormigonada la aportación del ingeniero inglés John Smeaton. Este fue el primero que estudió con métodos científicos los conglomerantes hidráulicos, iniciando una cadena de investigaciones que darían finalmente lugar al descubrimiento del cemento artificial. Sus trabajos comenzaron en 1755, cuando se hizo cargo de la construcción del Tercer faro de Edystone.

Debía construirse en un islote muy pequeño, batido por fuerte oleaje y de complicado acceso por las mareas y corrientes. En tan complicado emplazamiento Smeaton fue consciente de lo fundamental que era disponer de un buen mortero hidráulico para resolver con éxito la construcción del faro. Así que antes de la emprender la ejecución recopiló toda la información existente sobre la cuestión, visitó gran número de obras hidráulicas y, sobre todo, realizó un estudio sistemático (calcinándolas, moliéndolas, mezclándolas entre sí) de todas las cales y cementos que pudo conseguir: mortero de tarras, cal de Alberthaw, puzolana, yeso de París,…

De sus experimentos sacó *"el convencimiento de que la piedra caliza más pura no era la mejor para confeccionar morteros, sobre todo cuando hay que construir en el agua […] en tanto que, por algún motivo u otro, cuando una piedra caliza se halla íntimamente mezclada con una dosis de arcilla, la cual se convierte en Ladrillo por calcinación, esta actúa con mayor fuerza como Cemento"*.

Probando con distintas materias, al final decidió utilizar un mortero compuesto de piedra caliza Lyas y puzolana, que fue el que mejor se comportó desde distintos puntos de vista en sus experimentos.

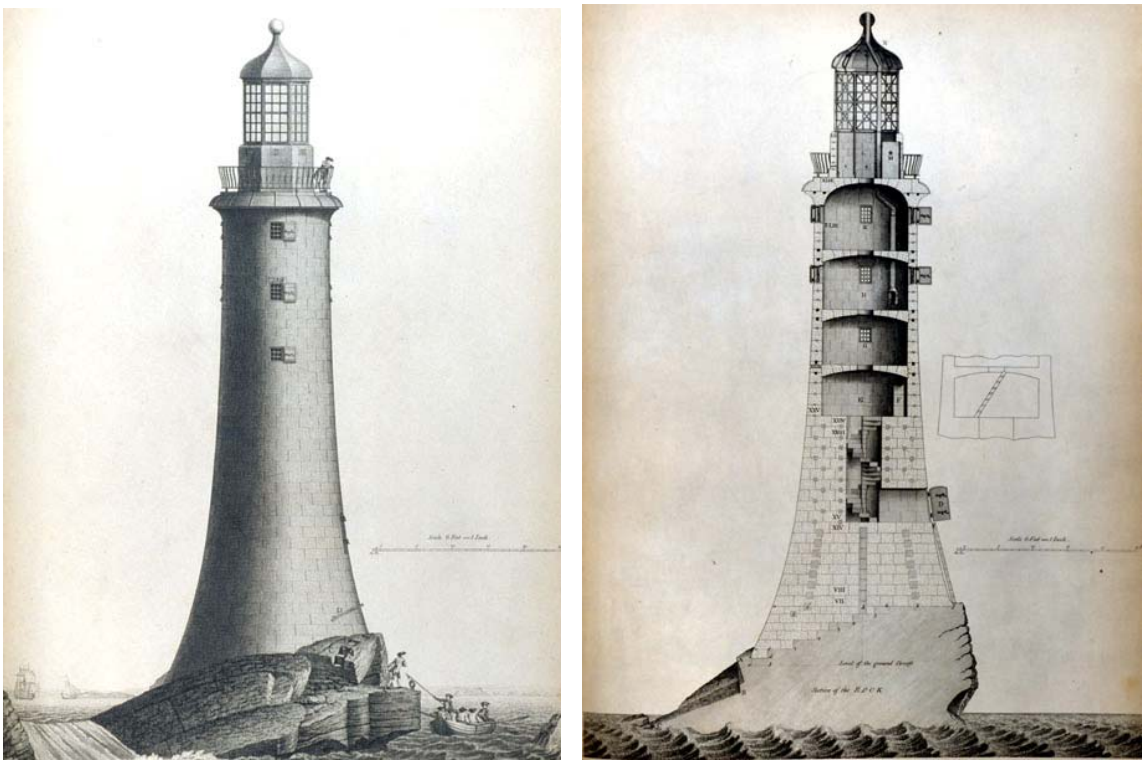


Figura 14. Tercer faro de Edystone, costa de Plymouth (Gran Bretaña). 1759. John Smeaton, ingeniero.

En sus obras posteriores al faro, Smeaton siguió estudiando *"todas las cales que pudieran ofrecer alguna aptitud para la Construcción Hidráulica; y sobre todo, si fuera posible, hallar un sustituto del Tarras y la Puzzola en este reino".* Pero no llegaría a ver satisfecha esta aspiración, aún después de treinta años de construcciones hidráulicas. Sin embargo, con sus investigaciones dejó trazada la línea que conduciría después al descubrimiento del cemento artificial: *"Habiendo así establecido cuales son los hechos principales respecto a la confección de la mezcla de un mortero hidráulico para diversos usos, queda todavía una cuestión curiosa, la cual, al no haber sido yo capaz de resolverla, la tengo que dejar a los Naturalistas y Químicos entendidos: ¿por qué una mezcla íntima de arcilla en la composición de la piedra caliza de cualquier clase, dura o blanda, hace que esta pueda fraguar en el agua, de un modo que ninguna cal pura que yo haya visto, obtenida a partir de cualquier clase de piedra, es capaz de hacerlo?"*[14].

La necesidad de disponer de un buen mortero hidráulico en sus obras movió a otros técnicos como Smeaton a experimentar con diversas materias para conseguirlo. Así por ejemplo, a mediados de siglo el sueco Baggé de Ghotembourg, *"desesperando de obtener a precio moderado puzolanas de Italia para las construcciones hidráulicas de las que estaba encargado imagina suplirlas calcinando esquistos compactos, que se encuentran abundantemente en Suecia cerca de Wenssborg".* En Francia, el Conde de Chaptal estudió el comportamiento de las *"arcillas ocres del Languedoc, que, convenientemente elegidas y preparadas se comportaban exactamente como las puzolanas de Italia"*[15].

En 1796 James Parker, un empresario inglés, registró la patente de una clase particular de cal hidráulica a la que llamó *"cemento romano".* Lo había obtenido a partir de piedra procedente de la isla de Sheppy. La apariencia uniforme de las formaciones rocosas de su costa llamó la atención de Parker, moviéndole a hacer algunas experiencias con ellas. El conglomerante que finalmente obtuvo fue muy celebrado, generalizándose su utilización por toda Gran Bretaña[16].

El éxito de Parker atrajo enseguida a otras empresas a la fabricación de este tipo de cementos. Una de las más importantes sería la de Francis y White, que explotaba las patentes de Parker y Frost. En 1835, separados los antiguos socios, J. B. White continuaría fabricando estos cementos y otros materiales de construcción como el patentado por Keen, un yeso empapado en alumbre, cocido, molido y trabajado para el estucado.

Por su parte, los ingenieros franceses seguían avanzando con el hormigón utilizándolo en obras hidráulicas. En 1808 Letellier lo empleó para impermeabilizar la esclusa de Picquigny, en el Canal del Somme[17]. En el mismo canal, pero cinco años más tarde, su colega Magdelaine formaría con él un macizo de cimentación en la esclusa de Saint Valery-sur-Somme. Su hormigón era una mezcla de cal grasa, polvo de tejas y ladrillos y cantos rodados, materiales todos ellos extraidos en las cercanías de la obra[18].

Fue por entonces cuando al joven ingeniero de *Ponts et Chaussées* Louis Joseph Vicat se le encomendó la construcción de un puente sobre el río Dordogne en Souillac. Inició los trabajos en 1812, pero la complicada situación política por la que Francia atravesaba entonces haría que quedaran frecuentemente interrumpidos. En estos periodos de parada forzosa Vicat dedicaría su tiempo a estudiar las canteras de caliza de los alrededores, en busca de una cal que pudiera utilizar en las cimentaciones de su puente.



Figura 15. Puente de Souillac sobre el río Dordogne. Francia. 1815. Joseph Louis Vicat, ingeniero de Ponts et Chausées.

Paulatinamente este estudio fue convirtiéndose en su tarea principal. Pasó cinco años estudiando diversas cales naturales, identificando sus componentes y clasificándolas en función

de su hidraulicidad. Al final pudo enunciar el principio de la fabricación del cemento hidráulico artificial, que se obtiene a partir de la calcinación de una mezcla de cal y arcilla. Lo dio a conocer en su libro *Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les bétons et les mortiers ordinaries*, publicado en París en 1818.

Vicat dedicó el resto de su vida a la investigación del cemento hidráulico, estudiando la influencia de otros posibles componentes (sílice, alúmina, óxido de hierro). Así mismo, recorrería todo el país con objeto de identificar las canteras susceptibles de aportar cales y cementos naturales, analizando y describiendo las cualidades de cada una de ellas. Desarrolló los primeros procedimientos científicos de ensayo, diseñando incluso las máquinas necesarias. Con ello haría una contribución fundamental a la moderna ciencia de los materiales.

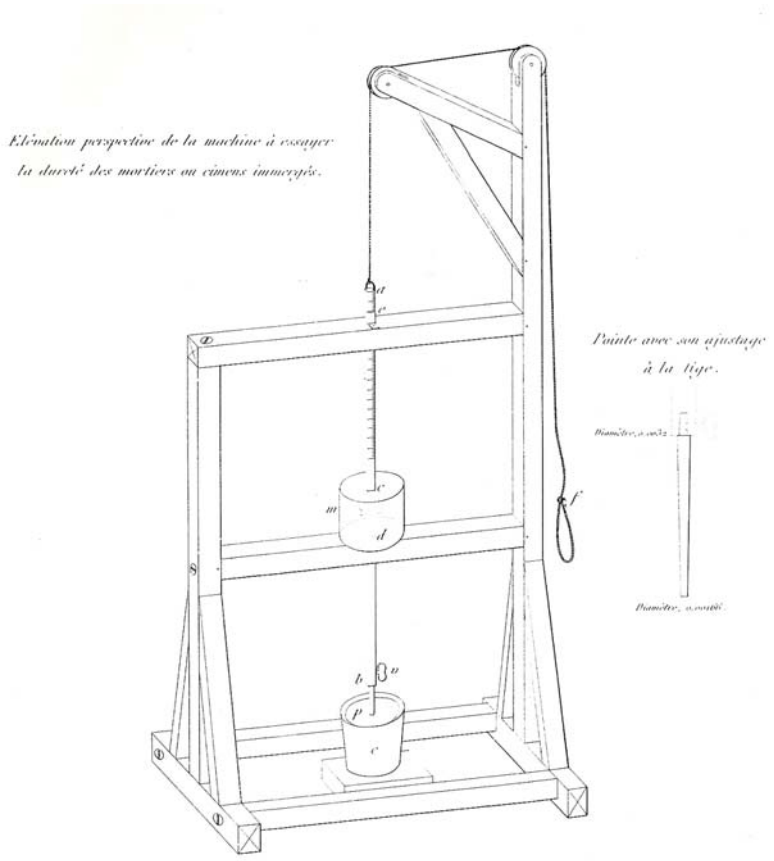


Figura 16. Máquina de Vicat para ensayar la dureza de morteros o cementos sumergidos. Del libro *Résumé des connaissances positives actuelles sur le qualités, le choix et la convenance réciproque des materiaux propres à la fabrication des mortiers et ciments calcaires*. 1828. Biblioteca de la Universidad de Granada.

Los trabajos de Vicat tendrían amplia difusión por toda Europa, revitalizando el estudio y utilización de las cales y cementos naturales. Aunque sin duda también contribuiría a ello el gran éxito que el *"cemento romano"* estaba teniendo en Gran Bretaña.

Por ejemplo, en Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais) empezó a producirse, gracias a las investigaciones del ingeniero militar Lesage, un cemento natural denominado *plâtre-ciment* (yeso-cemento), que era muy parecido al inglés. Incluso en San Petersburgo empezó a

producirse un cemento natural, descubierto por los ingenieros de minas franceses Clapeyron y Lamé mientras trabajaban como profesores asociados del Instituto Politécnico de Rusia[19].

La siguiente etapa, el salto a la fabricación del cemento artificial tuvo lugar en Inglaterra, que por entonces se encontraba en plena Revolución Industrial, varias décadas por delante de las demás potencias europeas.

En 1824 un empresario ladrillero de Leeds llamado Joseph Aspdin, después de estar más de diez años experimentando con mezclas de caliza y arcilla, consiguió fabricar el primer cemento artificial. Lo llamó *"cemento Portland"*, pretendiendo asociarlo a la afamada piedra de esa península inglesa.

En seguida quedaría patente la superioridad del Portland sobre todos los cementos naturales. Una de sus primeras aplicaciones tendría lugar en 1838: el ingeniero Isambard K. Brunnel lo utilizaría con gran repercusión en las obras de un túnel bajo el Támesis[20].

Pero a pesar de su ventaja cualitativa, Aspdin no acertó a desarrollar plenamente el negocio. Lo haría su hijo William desde la *Maude, Son and Company*, empresa que empezó a comercializar el cemento Portland desde los años treinta. No obstante, el proceso de fabricación no estaba suficientemente depurado, por lo que no se podía producir a gran escala. Uno de los mayores problemas era el escaso rendimiento que ofrecían los hornos, poco evolucionados respecto a las tradicionales donde se producía la cal



Figura 17. Horno de cemento tradicional de la fábrica de William Aspdin (*Maude and Son*) en Northfleet, Kent. 1847.

Sería Isaac Charles Johnson, un técnico de una empresa rival (la J.B. White & Co) quien lograría perfeccionarlo en 1844. Después de comprender que la cal y una arcilla rica en sílice

eran sus componentes esenciales, Johnson estudió la influencia de los diferentes grados de cocción de la mezcla, descubriendo que se tenía que alcanzar su vitrificación parcial. La mezcla de caliza y arcilla calcinada hasta ese punto constituía el *clinker*, la base del cemento artificial moderno.

Dejaba así sentados los principios de la fabricación del cemento artificial, del que por ello muchos consideran su inventor a Johnson[21]. Pudiendo ya fabricarse a gran escala, iniciaría su andadura la industria del cemento, que no tardaría en consolidarse como uno de los pilares de la Revolución Industrial.

Mientras tanto, en Francia proliferaban los fabricantes de cales y cementos naturales, estimulados por las investigaciones de Vicat y su exhaustiva catalogación de los yacimientos franceses. Una de estas primeras empresas sería la que Honoré Gariel y François Garnier fundaron en 1830 en Vassy.

Gariel y Garnier no se limitaron sólo a comercializar el cemento de Vassy, que llegó a ser muy apreciado dentro y Fuera de Francia. Fueron además contratistas y consultores especializados en obras de hormigón.

También en la década de los treinta Joseph Auguste Pavin de Lafarge se decidiría a explotar unas antiguas caleras que constituían una herencia familiar. Situadas en la región del Ardèche, apenas eran algo más que "*dos pequeños hornos de cuatro metros de altura".* A partir de 1835 su hijo Leon, que tenía formación técnica, daría un nuevo impulso a esta pequeña empresa familiar suministrando la cal hidráulica para la construcción de los puentes colgantes del Ródano y el puente de Change en Lyon. Pero lo que resultaría trascendental para su crecimiento fue el abastecimiento de las grandes obras de los puertos del Mediterráneo (Cannes, Toulon, Marsella), que tendrían lugar en los años siguientes. A partir de entonces experimentaría un crecimiento vertiginoso, pasando de producir 3000 toneladas de cal en 1848 a 175.000 en 1872; y dando empleo a ochocientos trabajadores en sus distintas factorías[22].

A partir de 1846 empezó a comercializarse el cemento natural de Guetaria, extraído de una cantera situada a cinco kilómetros de San Juan de Luz. Se utilizó por primera vez en el muelle de esta localidad del sur de Francia[23].

Y en la región de Marsella, desde 1847 la sociedad *Désire Michel & Cie* empezó a explotar comercialmente un cemento natural bajo la denominación *Cimento del Mediterráneo*. Esta compañía se dedicaba además a realizar todo tipo de proyectos, aunque no se compusieran *exclusivamente de cemento*"[24]. Al final de siglo fue absorbida por Pavin de Lafarge.

Por su parte, Joseph Vicat y su hijo crearon en 1853 otra fábrica de cementos naturales en Genevrey a Vif (alrededores de Grenoble). Posterioremente comercializarían un cemento portland artificial de doble cocción, que sería muy apreciado.

En 1857, mientras que en Inglaterra el cemento Portland se fabricaba desde hacía tiempo a gran escala, en Francia todavía no había "*una sola fábrica de este preciado producto, salvo la de los señores Demarle y Cia en Boulogne-sur-Mer*"[25]. Conocido como "portland francés", este sería uno de los cementos que probaría en 1859 François Coignet en sus experiencias con bloques de hormigón del puerto de San Juan de Luz[26].

La que llegaría a ser la cementera más importante de Francia, Pavin de Lafarge, no comenzó a fabricar cemento portland hasta 1869. Obtenido a partir de los residuos de fabricación del cemento natural, se comercializó con el nombre de cemento *Portland-Lafarge del Teil*[27].

Hacia 1900 Pavin de Lafarge producía anualmente 180.000 toneladas de cemento portland y 300.000 de cal hidráulica desde sus cuatro factorías de Lafarge, Teil, Cruas y Meysse. Por la misma época absorbió todos los establecimientos fundados por J. Vicat y Compañía para la fabricación del cemento portland artificial "Vicat"[28].

Por su parte, en Alemania Hermann Bleitbreu comenzó a fabricar portland a partir de 1852. El cemento producido en su planta de Stettin (Prusia) era de tan buena calidad que pronto se *"proscribió casi por completo el cemento inglés en la parte septentrional y en el oriente de Alemania".* Posteriormente ampliaría sus instalaciones con otra fábrica en Bonn[29].

La calidad del cemento de Stettin sería reconocida internacionalmente[30], lo mismo que su competidor *Hemmoor*, empresa fundada en 1860 por J.H. Hagenah. Partiendo de un primitivo yacimiento de cemento natural, desde 1866 empezó la fabricación del portland artificial, alcanzando en 1903 una producción de 212.500 toneladas anuales. Con ellas se abastecía el mercado alemán y además se exportaba *"a todos los países del mundo pues el Portland Hemmoor es uno de los cementos que más se solicitan"*[31].



Figura 18. Anuncio de la fábrica de cementos Hemmoor en *El Cemento Armado.* 1901. Hemeroteca Municipal de Madrid.

También se contaban entre los más antiguos fabricantes de cemento portland los Dyckerhoff y Söhne. Su fábrica de Amöneburg, cerca de Biberich, era una de las más importantes en 1874, cuando decidieron ampliarla instalando una maquina de vapor de 300 caballos. Su cimentación, un bloque gigantesco de 250 toneladas, sería una de las primeras obras de este tipo realizadas con hormigón en Europa. En Suiza se ocuparía de difundirlo la fábrica de cemento portland de Saint Sulpice (Val-de-Travers) [32].

Italia se incorporó tardíamente a la fabricación de cemento artificial. La existencia de excelentes cales y cementos naturales seguramente tuvo mucho que ver en ello. En 1870 se produjo una primera tentativa de fabricación industrial con la Sociedad de los cementos de Bergamo, que no llegaría a cuajar. No obstante, a partir de 1885 la Sociedad Anónima de Cales y Cementos de Monferrato empezó a producir cemento artificial con regularidad. Su desarrollo sería rápido, ampliando sus instalaciones en 1897 con una nueva planta en Civitavecchia, cerca de Roma[33].

Hasta los años 1880 el cemento se hacía mezclando la caliza y la arcilla con agua para formar una pasta húmeda, que es lo que se cocía en el horno. Esta era, a grandes rasgos, la fabricación de cemento por vía húmeda, que exigía enormes y costosos hornos verticales, de escaso rendimiento y con grandes pérdidas de calor. La cocción en ellos era, además, bastante irregular.

La primera tentativa para solucionar estos problemas y mejorar la cocción corrió a cargo del alemán Dietzch en 1882. Diseñó un nuevo tipo de horno vertical, llamado de pisos, que constaba de un crisol y un calentador unidos por una bóveda. Sería el utilizado en la mayoría de las fábricas alemanas[34].

La innovación definitiva fue obra del técnico inglés Frederich Ransome, que se planteó si no era posible *"realizar la perfecta calcinación de las tortas* [de caliza y arcilla] *sin caldear la parte exterior del horno más de lo necesario, gastando así inútilmente tiempo y combustible".* Como solución ideó el horno rotatorio, que consistía en *"una caja cilíndrica de acero o palastro apoyada sobre rodillos de acero, a la cual se hace girar por medio de un tornillo sin fin y una rueda movida por una polea calada en el árbol que lleva el tornillo sin fin; la caja está revestida interiormente de buen ladrillo refractario".* Con este procedimiento, la mezcla seca se introducía en el horno giratorio, que tenía una ligera pendiente con la horizontal, desplazándose con el movimiento circular mientras se calcinaba de forma regular y homogénea. El proceso de cocción era mucho más rápido y se reducían al mínimo las pérdidas de calor[35].

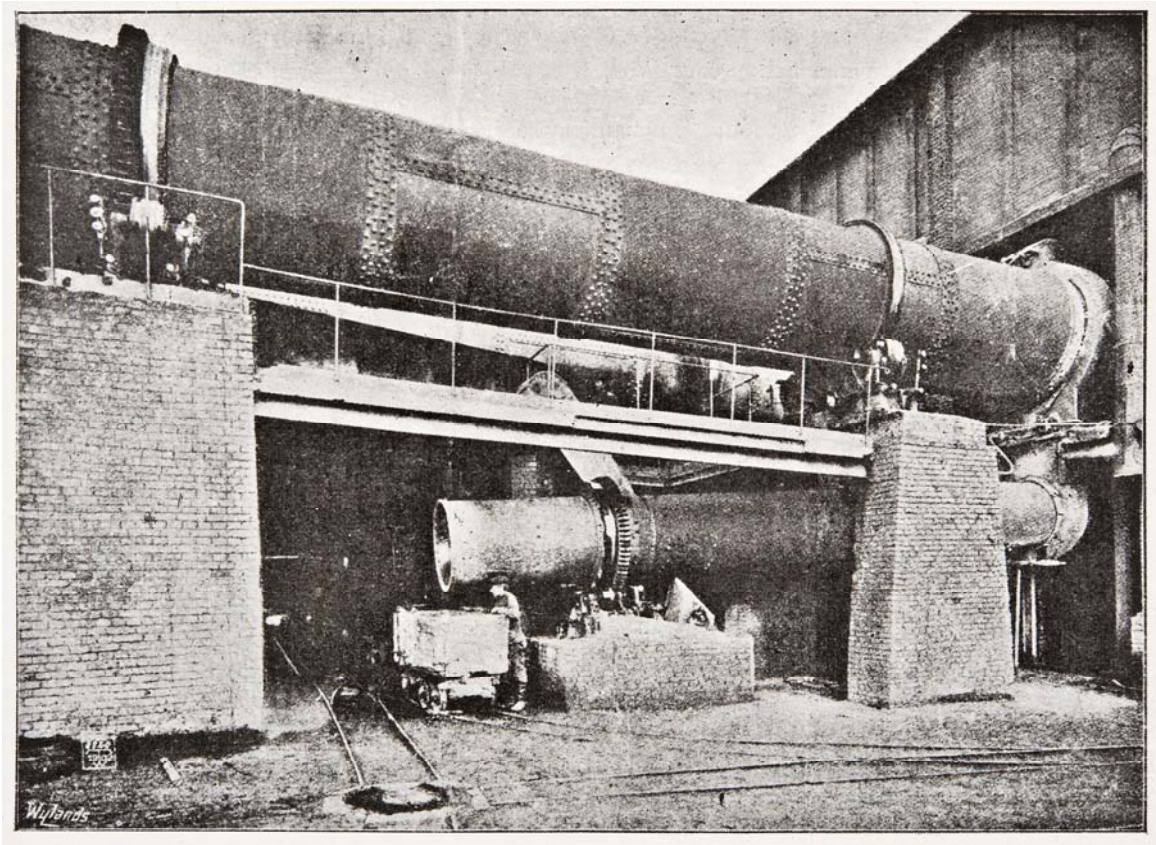


Figura 19. Horno rotatorio fabricado por la casa Brennöfen-Bawanstalt de Hamburgo. Hacia 1900. En *El Cemento Armado.* Biblioteca Nacional de España.

El primer horno de este tipo se instaló por primera vez en Inglaterra en 1885, para producir cemento por vía seca. Sin embargo, en sus comienzos no tendría demasiado éxito porque su alientación con gasógeno no estaba suficientemente perfeccionada. Sería en los Estados Unidos donde, unos años más tarde, esta tecnología se desarrollaría completamente. A ello contribuirían de forma decisiva el ingeniero español Navarro y el francés Giron, contratados en la famosa fábrica norteamericana "Atlas" de Pensylvania, la mayor del mundo. Con los perfeccionamientos que introdujeron, como la sustitución del gasógeno por petróleo, los hornos rotatorios quedaron prácticamente consolidados. Los norteamericanos Hung y Seaman, empleados también de la misma fábrica, culminarían la labor. Hacia 1896 esta fábrica ya tenía en funcionamiento cien hornos rotatorios, alcanzando una producción de tres mil toneladas de cemento diarias[36]. La vía seca con hornos rotatorios se mostró como el mejor procedimiento para la fabricación del cemento, empezando a expandirse por todo el mundo.

Por ejemplo, no tardarían en ser implantados en Alemania. Desde 1899 los hacía la casa Brennöfen-Bawanstalt de Hamburgo, siendo instalados en algunas de las fábricas más importantes, como la Hemmoor[37].

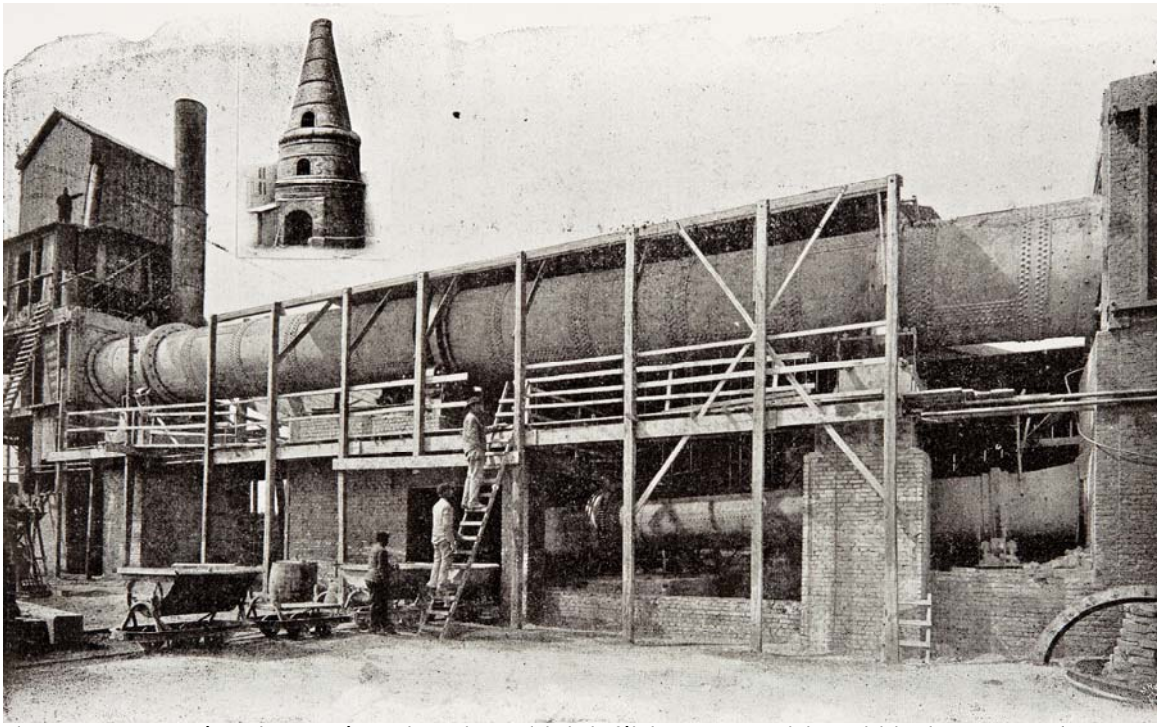


Figura 20. Hornos más antiguo y más moderno (rotatorio) de la fábrica Hemmoor (Alemania) hacia 1900. En *El Cemento Armado.* Biblioteca Nacional de España.

Simultáneamente, la casa F.L Smidth de Copenhague (Dinamarca) desarrollaría un procedimiento mixto, cuya base eran los hornos verticales Aalborg, inventados en 1889 por el técnico danés M.A. Schöfer[38]. Fue bastante utilizado a principios del siglo XX.

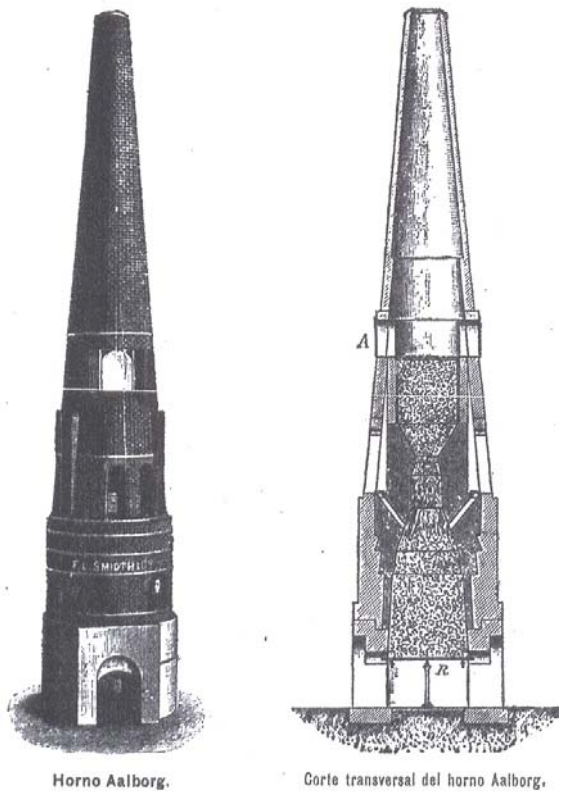


Figura 21. Horno para fabricación de cemento tipo Aalborg. 1889. En *Ingeniería*. Biblioteca Nacional de España.

4. Los comienzos de la construcción con hormigón.

En el primer tercio del siglo XIX los nuevos cementos y cales hidráulicas despertaron un creciente interés. En Gran Bretaña y Francia empezó a extenderse el uso del hormigón desarrollándose rápidamente su técnica a partir de diversas experiencias.

Una de estas primeras experiencias tendría lugar en Londres hacia 1833. Buscando un nuevo procedimiento para hacer puentes en arco, el ingeniero de origen francés Brunel construyó "dos semi-arcos con ladrillos trabados con cemento hidráulico inglés, llamado de Parker". Sobre una primera rosca de ladrillos formando el arco propiamente dicho se colocaban varias hiladas de más ladrillos, "*dispuestos horizontalmente para formar los tímpanos, cordones, etc. Para ligar más sólidamente esta mampostería y no hacer de ella más que una sola masa, Monsieur Brunel ha hecho colocar, cada dos filas de los ladrillos planos, tres cintas de hierro"*. Con este sistema pensaba que se podían llegar a construir puentes de noventa metros de luz e incluso más[39].

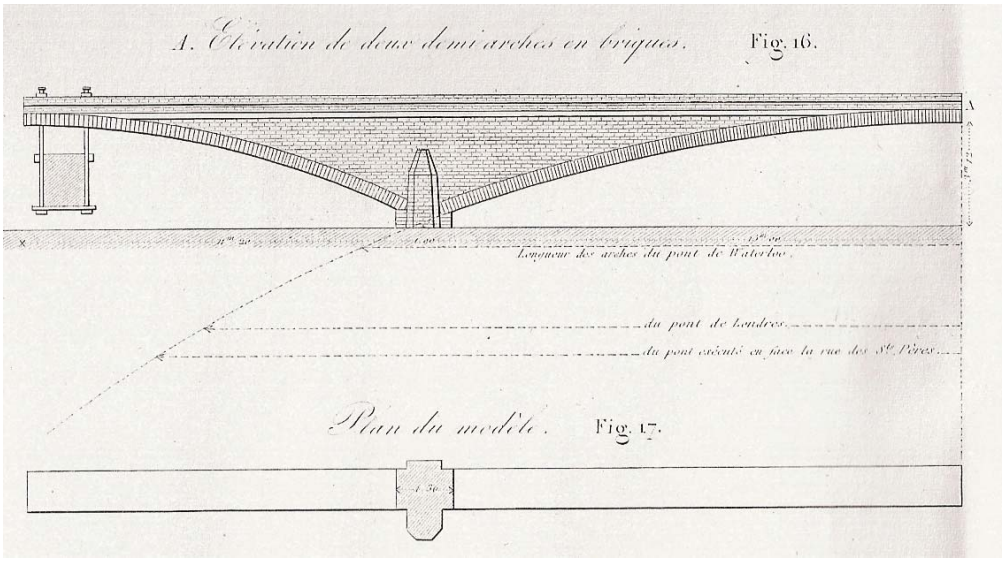


Figura 22. Semiarcos de ladrillo y cemento hidráulico. Experiencia de M. Brunel en Londres, 1833. En *Annales des Ponts et Chausées.* Biblioteca del colegio de ingenieros de caminos.

Pero durante mucho tiempo en Gran Bretaña el hormigón se empleó básicamente para el estucado y para fabricar piedra artificial que sustituyera a la natural y a los ladrillos.

Estucados con cemento artificial se aplicaron por ejemplo en la Capilla Real de *Buckingham Palace*. En ella se utilizó el denominado *Cemento Martin,* que al parecer también había probado su eficacia en numerosas obras públicas[40].

Buena aceptación tendrían también los bloques de piedra artificial hechos con cemento portland. Con ellos se levantaría en 1835 la casa de John White en Swanscombe. Además de los bloques para los muros, también se hicieron moldeados con hormigón las tejas, los marcos de las puertas y el resto de elementos decorativos[41].

A mediados de siglo el empresario Alderman Waterlow constituyó una sociedad dedicada aconstruir casas económicas para familias modestas. La *Improved industrial dwellings company* (Compañía de edificios industriales mejorados) levantó varios grupos de casas en Londres, en las que *"la principal economía ha consistido en el uso de una piedra artificial sumamente dura, resistente y ligera, compuesta de cok duro y triturado, bálago y otras varias sustancias porosas y calcinadas, mezcladas con cemento de Portland"*[42].

Una de los fabricantes más conocidos de piedra artificial fue el químico Ransome. Sin embargo, aunque hizo algunas tentativas de utilizar cemento para aglomerar rocas silíceas molidas, al final se decantó por una mezcla de arena, vidrio en polvo, arcilla y sílice[43].

Mientras tanto, en Francia tendría lugar un temprano intento de articular un procedimiento integral de construcción con hormigón, a cargo del arquitecto François Martin Lebrun.

A principios de los años treinta, Lebrun desarrollaba su actividad en el departamento del Tarn (Sur de Francia), donde la escasez de piedra había convertido al ladrillo, la fábrica más usada en las construcciones ordinarias, en un producto caro. Por otro lado, había cierta tradición en el empleo de hormigón en trabajos hidráulicos, ya que en los alrededores de las ciudades de Gaillac y Albi se producía una cal hidráulica de calidad superior.

Determinado a encontrar un medio de construcción más económico y también resistente al fuego, Lebrun, que había estudiado a fondo las experiencias de Cointeraux y, sobre todo, las de Vicat, desarrolló un sistema de construcción con moldes basado en procedimientos perfeccionados del tapial, pero utilizando hormigón en lugar de tierra.

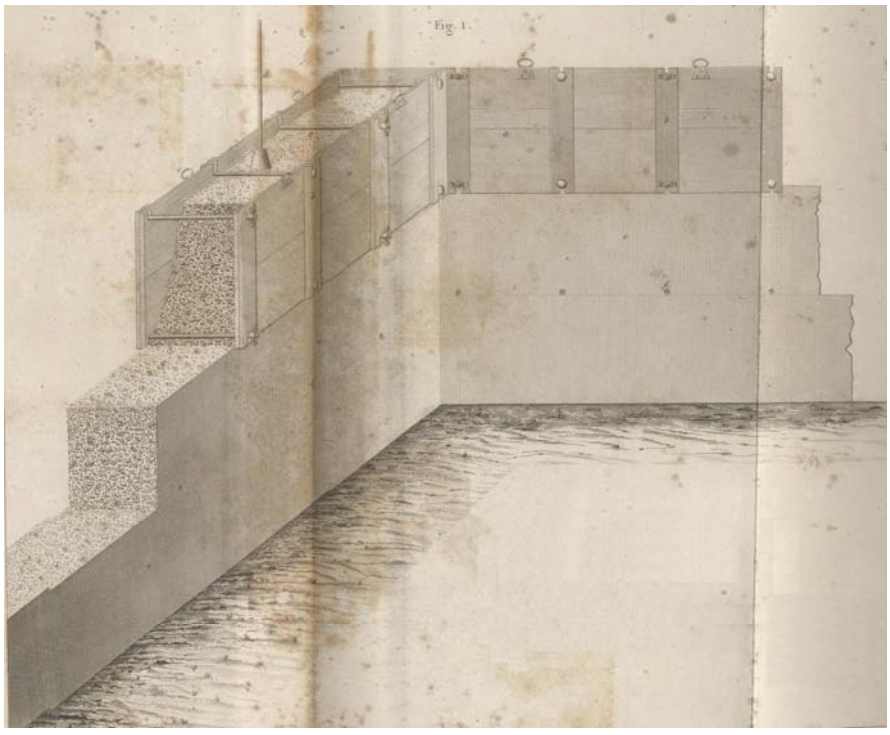


Figura 23. Sistema de construcción de muros de hormigón de François Martin Lebrun. En su *Traité pratique de l'art de bâtir en béton.* Biblioteca Histórica Militar de Palma de Mallorca.

La primera aplicación práctica de su sistema tuvo lugar en la construcción de la casa de su hermano Jean-Auguste Lebrun en Marsaac, una localidad cercana a Albi. Este edificio se hizo totalmente con hormigón, *"incluso las arcadas y molduras que decoran las fachadas exteriores, las escaleras exteriores que suben del suelo a la planta principal, las bóvedas del sótano […], las de la cubierta principal del edificio y las de la galería construida en una de las fachadas"*[44].



Figura 24. Casa de Jean-Auguste Lebrun en Marssac (Francia), 1832. François Martin Lebrun, arquitecto.

La solidez de esta vivienda debió convencer a las autoridades municipales de Gaillac, que le encargaron la construcción, *"en el emplazamiento del antiguo convento de los capuchinos, de vastos edificios comunales, detinados a albergar el ayuntamiento, un tribunal civil, un colegio y las escuelas primarias de varios grados".* Lebrun redactó el proyecto y a partir de 1833 dirigió la ejecución de las obras, cuyo elemento más destacado fueron las bóvedas de los sótanos, hechas sin cimbra, apoyadas sobre la tierra que luego se excavaría.

Por las mismas fechas, los ayuntamientos de Saint Agnan y Castel-Ferrus, localidades ambas del departamento de Tarn-et-Garonne le encargaron el proyecto de sendas escuelas primarias. En Saint Agnan se construyó un sencillo edificio de sótano abovedado y planta baja, con muros de carga de hormigón y cubierta de carpintería tradicional. Para Castel-Ferrus planteó una solución de dos plantas sobre rasante, con el mismo sistema constructivo[45]. En 1836 construyó el templo protestante de Corbarieu, cerca de Montauban[46].

Lebrun publicó varios trabajos de divulgación de su sistema de construcción, proponiendo su extensión a otras aplicaciones: edificios industriales (molinos, hilaturas, papeleras), depósitos, estanques, cubiertas y terrazas. Puso especial empeño en introducirlo en el diseño de puentes. De hecho, en 1831, antes de construir la casa de su hermano había presentado un proyecto de puente con tres arcos de 23 m de luz, que un concesionario se ofrecía a construir a su propio riesgo y ventura. Sin embargo, tal vez por motivos corporativistas, no fue aprobado por el ingeniero jefe del departamento donde debía llevarse a cabo[47].

Pl. V.

Fig. 1.

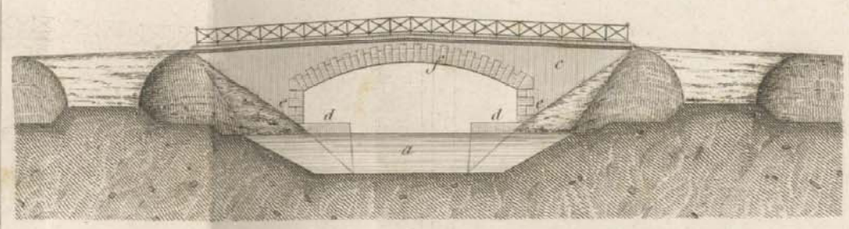


Fig. 2.

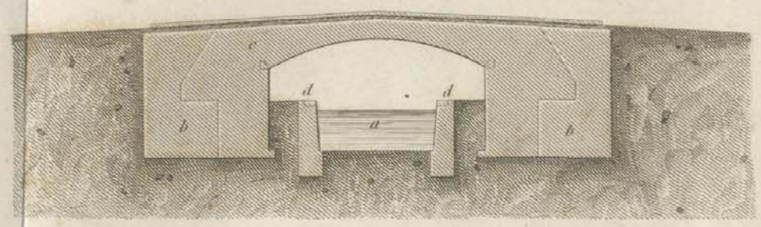


Fig. 3.

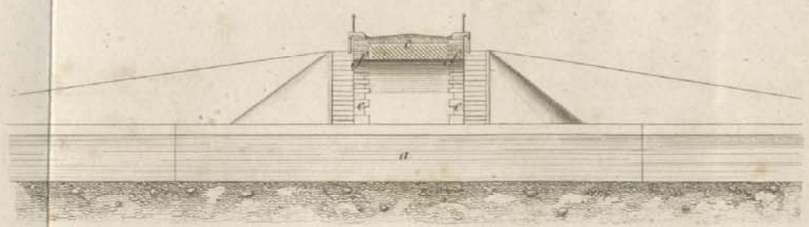


Fig. 4.

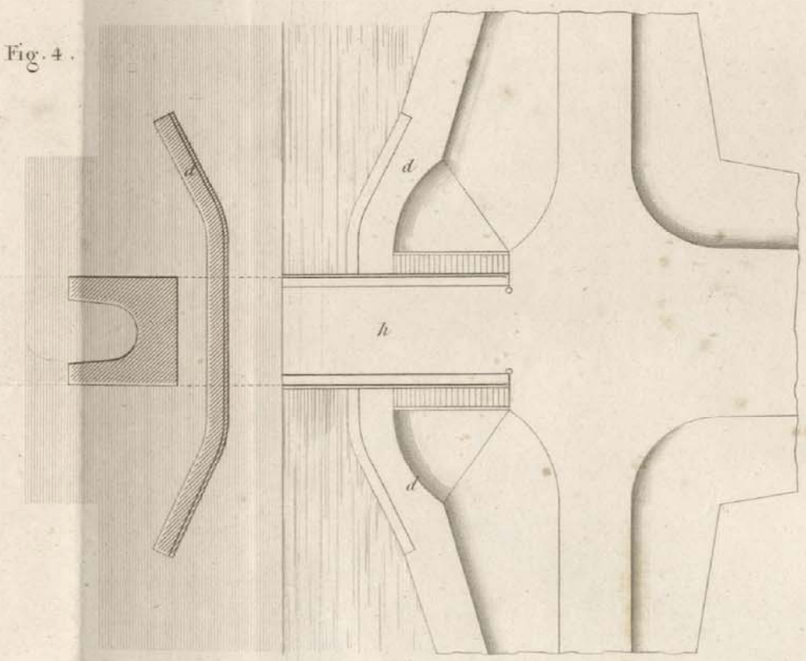
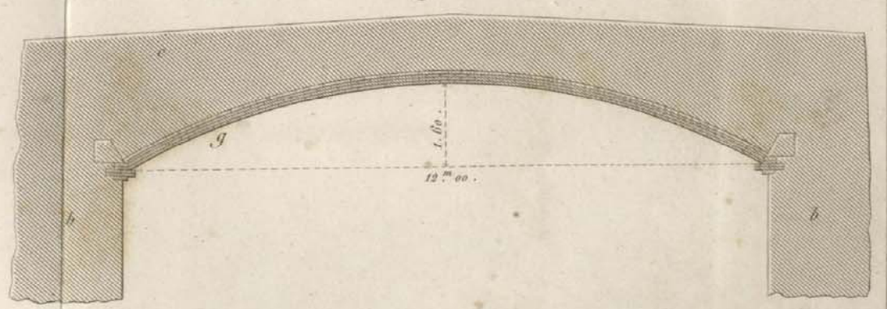


Fig. 5.

Fig. 6.



Lebrun del.

Ad. Leblanc del. et sculp.

PONT EN BÉTON CONSTRUIT À GRISOLES, DÉP.T DE TARN ET GARONNE, SUR LE CANAL LATÉRAL À LA GARONNE, PAR M.r LEBRUN, ARCHITECTE À MONTAUBAN.

Puente de hormigón sobre un canal lateral del río Garonne. Grisoles (Tarn et Garonne)

En Lebrun, Traité pratique de l'art de bâtir en béton. Biblioteca Histórica Militar de Palma de Mallorca

Sin embargo, nueve años más podría por fin demostrar la viabilidad de sus puentes de hormigón con la construcción del de Grisolles, en un canal lateral del Garona. Diseñó un arco de doce metros de luz, construido en hormigón sobre cimbra de rosca de ladrillo. Su coste tuvo que ser asumido personalmente por el arquitecto.

A pesar del esfuerzo de Lebrun, su sistema de construcción no trascendería más allá de estas escasas realizaciones. El progreso del hormigón seguiría por el camino de la ingeniería civil, especialmente las obras hidráulicas y portuarias, en las que rápidamente se iría imponiendo en los años centrales del siglo. La técnica experimentaría un gran avance, aunque durante mucho tiempo tendría la tara de emplear mayoritariamente cementos naturales.

Poco después de la publicación de los estudios y experiencias de Vicat, se aplicó el hormigón hidráulico en los importantes trabajos del canal de San Martín, en los grandes depósitos para la distribución de agua de la Rue Racine (París) y en otros muchos trabajos importantes de cimentaciones de puentes, construcción de muelles, etc[48].

Era frecuente que los técnicos encargados de alguna de estas obras investigaran las cales de los alrededores para obtener morteros económicos. Así lo hizo el ingeniero Néhou, encargado de la ampliación del puerto de Calais en 1833. Intentó en primer lugar utilizar cales hidráulicas artificiales que el mismo fabricó "*siguiendo el método de M. Vicat"*, pero ante la imposibilidad de obtener el gran volumen que necesitaba se decidió por emplear el tradicional mortero hidráulico de cal común y polvo de ladrillos de las fábricas cercanas o mejor aún con *"tejas poco cocidas de la fábrica de Hardinghem"*[49].

En 1836 su compatriota y colega Bérigny realizó por primera vez inyecciones de hormigón para impermeabilizar antiguas cimentaciones en los puertos de Dieppe y Le Havre. También utilizaría hormigones de cemento natural para impermeabilizar las bóvedas del acueducto de Cesse [50].

Entre 1833 y 1838 el ingeniero Poirel utilizó bloques de hormigón en las obras del puerto de Argel. No fue el primero, ya que antes se había empleado en los puertos de Cherburgo y Plymouth. Se utilizaron dos tipos de bloques, *"unos construidos dentro del agua, en el mismo sitio que debían ocupar; los otros fabricados en la tierra y lanzados al mar"* . En ambos casos el hormigón se elaboró con cal grasa mezclada con puzolana de Italia, *"la misma de la que se sirve en todo el Mediterráneo para la confección de morteros hidráulicos, y que proviene de las proximidades de Roma"* [51].

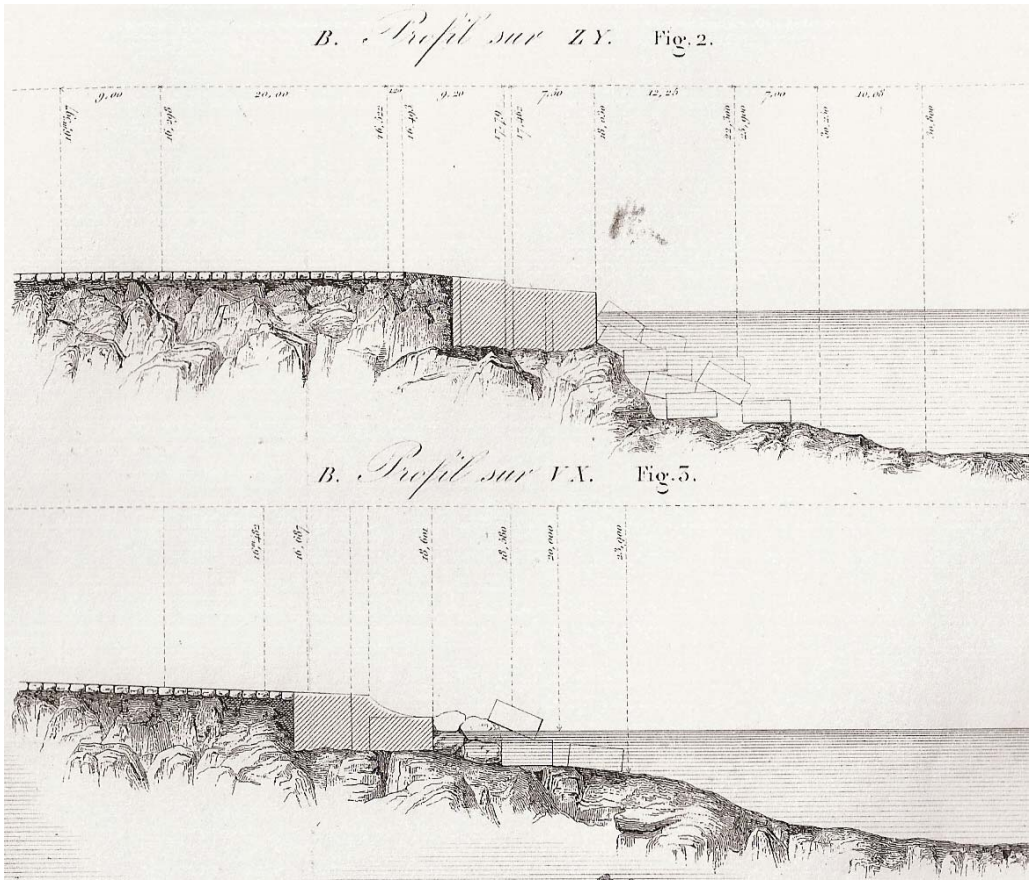


Figura 25. Bloques de hormigón en las obras del Puerto del Argel. Dique Chéredin. M. Poirel, ingénieur de Ponts et Chausées.1838. En *Annales des Ponts et Chausées.* Biblioteca del colegio de ingenieros de caminos.

Además de experimentar con los componentes del hormigón, se buscaba mejorar su fabricación y puesta en obra. Por ejemplo, en 1840 el ingeniero Petot ideó un aparato de hormigonar para usarlo en la cimentación del nuevo dique de la ensenada de Kerhoun, cerca de Brest[52].

Siguiendo con los trabajos bajo el agua, el ingeniero Beuademoulin construyó entre 1837 y 1840 unas soleras bajo el puente de Tours, consistentes en varios muros de hormigón conectados entre sí y con las pilas del puente. Como aglomerante del hormigón utilizó cal hidráulica de Doué[53].

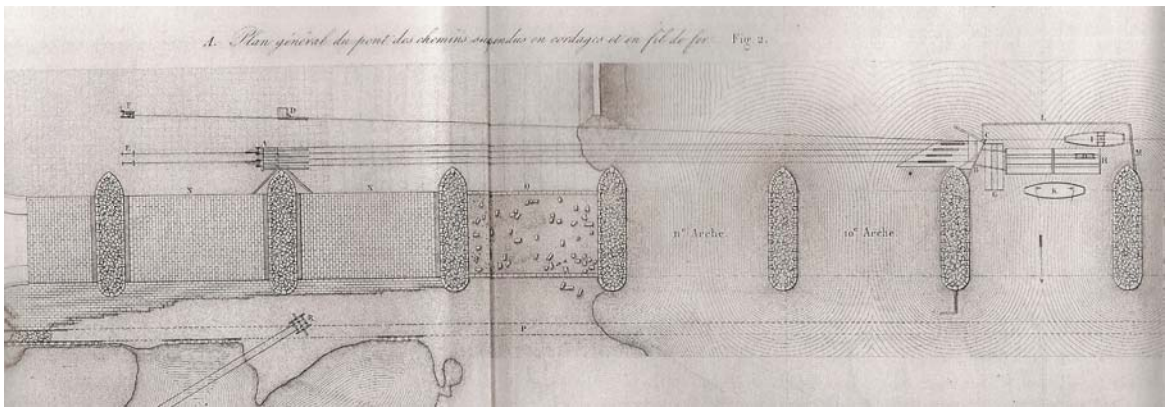


Figura 26. Construcción de las soleras de hormigón del puente de Tours. M. Beaudemolin, ingénieur de Ponts et Chausées.1840. En *Annales des Ponts et Chausées.* Biblioteca del colegio de ingenieros de caminos.

Por su parte, a partir de los años cuarenta la empresa de Gariel y Garnier se mostró muy activa en la construcción de todo tipo de trabajos de hormigón. Por ejemplo, por cuenta de los servicios municipales de aguas y alcantarillado de París construyó diversas galerías, albañales y cloacas, e hizo algunos trabajos particulares, como la restauración de la fuente de la plaza del mercado de San Juan

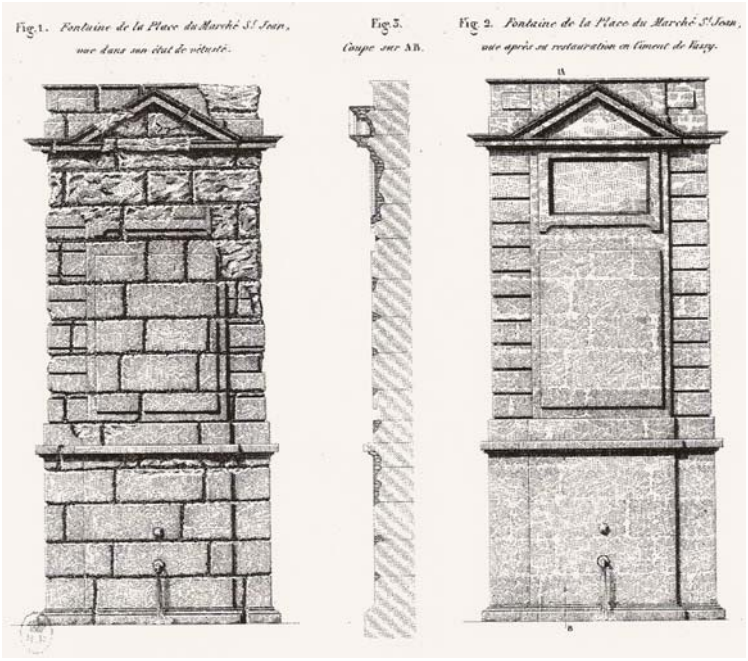


Figura 27. Restauración del pilar de la plaza del mercado de Saint Jean. París, 1840-1850. En Gariel y Garnier, *Dessins et notices relatifs à diverses constructions en ciment de l'exploitation de Vassy-les-Avallon*. Bibliothèque Nationale de France.

Destacados también fueron algunos depósitos hechos enteramente de hormigón, como el de la villa de Nevers, de casi setecientos metros cúbicos de capacidad.

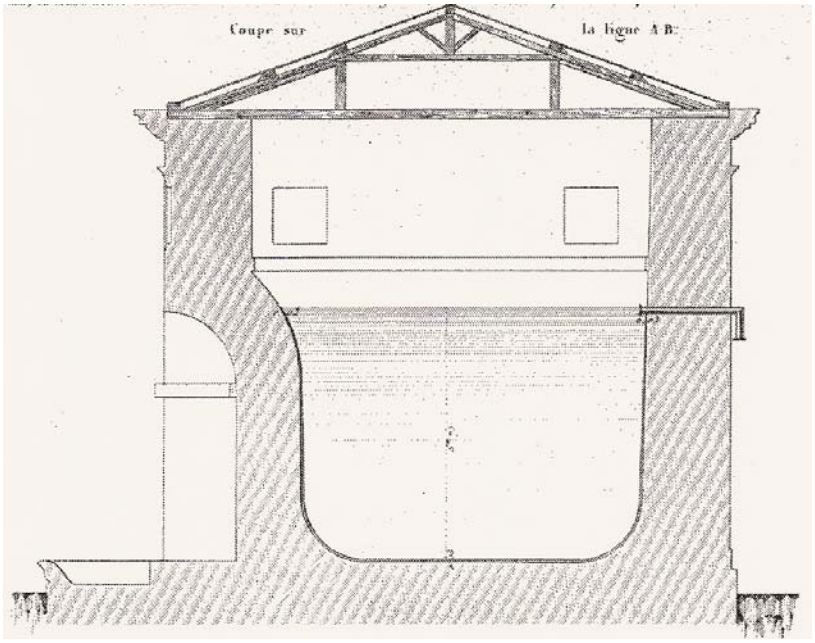


Figura 28. *Chateâu d'eau* de Nevers (Francia). 1840-1850. En Gariel y Garnier, *Dessins et notices relatifs à diverses constructions en ciment de l'exploitation de Vassy-les-Avallon*. Bibliothèque Nationale de France.

Especialmente importante fue su interés por construir bóvedas de hormigón. A partir de diversas experiencias realizadas en su factoría de Vassy, las desarrollaron con una primera rosca de una o dos filas de ladrillos colocados de plano y el trasdos de hormigón.

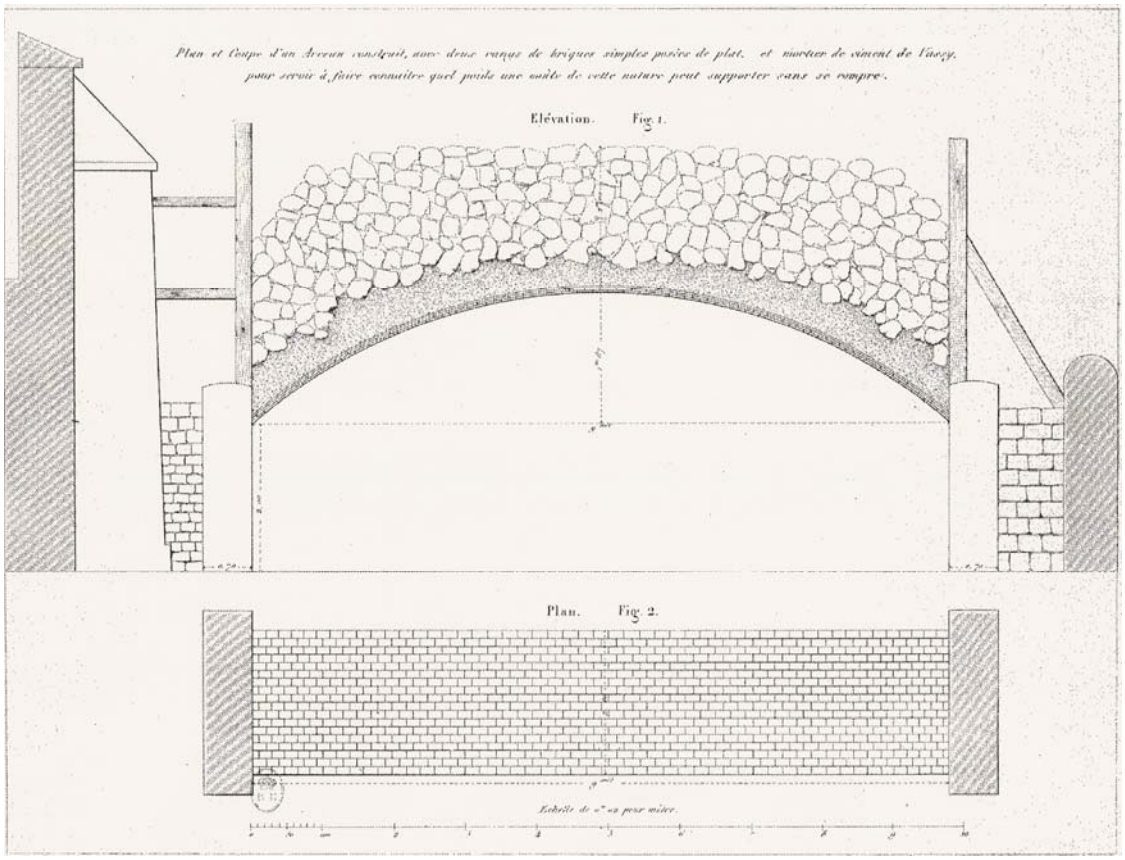


Figura 29. Bóveda de prueba. 1840-1850. En Gariel y Garnier, *Dessins et notices relatifs à diverses constructions en ciment de l'exploitation de Vassy-les-Avallon*. Bibliothèque Nationale de France.

Después las pondrían en práctica en algunos edificios, como la acería de la *rue Lacusse* en París, o la cocina del Establecimiento de los Hermanos de la Doctrina Cristiana en Nantes, una sala rectangular de diez por diez metros cubierta por una bóveda sin apoyos[54].

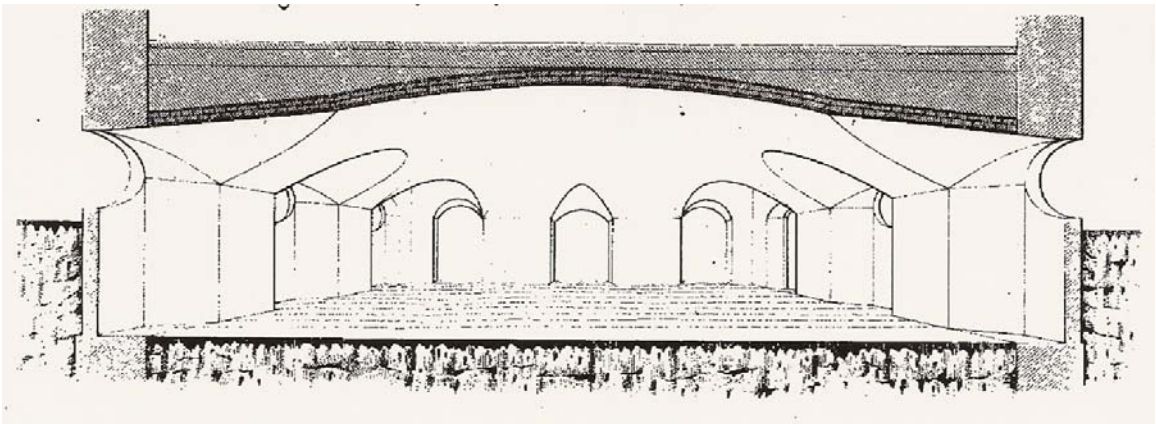


Figura 30. Bóveda de la cocina del Establecimiento de los Hermanos de la Doctrina Crsitiana en Nantes. 1840-1850. En Gariel y Garnier, *Dessins et notices relatifs à diverses constructions en ciment de l'exploitation de Vassy-les-Avallon*. Bibliothèque Nationale de France.

Pl. 196.

1. Pont aqueduc sur le Cousin.

Coupe en longueur. Fig. 1.

Coupe sur a b. 2. Fig. 3.

Coupe sur c d. 3. Fig. 4.

Coupe sur e f. 4. Fig. 5.

B. Raccord. Fig. 6.

Bride du raccord. B. Fig. 7.

A. Plan. Fig. 2.

B. Quart de cercle de 0.75 de rayon. Fig. 8.

Tuyaux droit du siphon.

B. partie basse. Fig. 9.

B. partie haute. Fig. 10.

B. Quart de cercle de 1.m 10 de rayon. Fig. 11.

Détails d'exécution de l'aqueduc en conduite en ciment de Vassy.

Regard.

Moule des fonds de cuvette. Fig. 12.

Cuvette. Fig. 16.

Moule pour le couvercle de l'aqueduc. Fig. 16.

Moule d'assemblage des pièces. Fig. 17.

C. Coupe en long. Fig. 22.

C. Coupe en travers. Fig. 23.

C. Elevation latérale.

C. Coupe transversale.

C. Coupe en travers.

fermé

ouvert après le montage.

C. Elevation latérale.

C. Coupe en long.

C. Plan du regard. Fig. 20.

C. Profil de la conduite libre. Fig. 21.

C. Plan de chassis mobile pour couvrir.

C. Coupe de pièce détachée.

C. Plan de la cuvette.

C. Plan du couvercle.

Détails de la prise d'eau des couverts de l'étang Minard. Fig. 18.

C. Coupe de l'aqueduc et de la prise.

C. Elevation latérale.

C. Coupe en longueur.

D. Profil en long de l'aqueduc en conduite. Fig. 19.

Versant de droite de la vallée d'Allonne.

Versant de gauche de la vallée du Cousin.

Echelle A. de c.m 0.5 pour mètre. 10 mètres.

Echelle B. de c.m 2.5 pour mètre.

Echelle C. de c.m 5 pour mètre. 10 mètres.

Echelles D. dos long.ts de c.m 100 pour mètre. 500 mètres.

dos hauts. de c.m 100 pour mètre. 20 30 40 mètres.

Annales des Ponts et Chaussées.

Puente acueducto sobre el río Cousin

En Gariel y Garnier, Dessins et notices relatives à divers constructions en ciment de l'exploitation de Vassy-les-Avalon. Bibliothèque Nationale de France

Otra construcción muy destacada sería la traída de las aguas de Aillon a la villa de Avalon, que se llevó cabo entre 1847 y 1850. El elemento principal era una conducción libre de 3272 metros de longitud. Su proyectista, el ingeniero Belgrand, decidió hacerla con piezas de hormigón de cemento de Vassy, hechas con moldes de madera en una nave cercana y transportadas después a la obra. De este trabajo se encargó Charles Gamuchot, un técnico de la casa Gariel y Garnier, que suministraba el cemento.

Esta colaboración se extendió a la construcción del puente acueducto sobre el río Cousin, también perteneciente al abastecimiento de Avalon. Se trataba de un arco de treinta metros de luz hecho enteramente con *"mampostería bruta y mortero de cemento"*. Para diseñarlo Belgrand contó con la ayuda de los técnicos de Gariel y Garnier, que en 1846 realizaron una experiencia con un arco de prueba de dimensiones parecidas. Por el mismo tiempo se construyó en París el puente de Double sobre el Sena, también una bóveda de hormigón primitivo[55].

También por entonces se construyó en París el pont d'Alma, *"cuyo cuerpo principal, pilas y cimientos lo forma un hormigón de piedra de sílice y de cimento de Vassy"*. Después se le aplicó un revestimiento de sillería tallada con la misma forma de los otros puentes del Sena. De igual modo se construyó la mampostería del puente de Saint Michel[56].



Figura 31. Puente de Saint Michel. París, 1857. M. Vaudrey, ingénieur de Ponts et Chausées.

Por la mitad del siglo, "*los mejores arquitectos y todos los ingenieros franceses"* estaban acostumbrados a usar hormigones de cales y cementos naturales. Sin embargo, no eran partidarios de dar al cemento artificial un uso "*tan extendido como en Inglaterra"*, donde era frecuente su empleo en los morteros de revestimiento de los edificios. En Francia, con un clima más seco, un revestimiento de cal bastaba *"para resistir los cambios atmosféricos sin tener que recurrir innecesariamente a un material mucho más caro"*[57]*.*

La situación empezaría a cambiar en la década de los cincuenta, cuando se alzaron voces como la del ingeniero Vaudrey, que en 1857 propugnaba *"la sustitución del cemento romano por el cemento Portland, en base a razones de precio y de resistencia".* Él mismo lo había utilizado con evidente satisfacción en la reconstrucción del puente de Saint-Michel[58].

Su compañero Darcel, ingeniero del Servicio Municipal de París, había realizado previamente experiencias comparando fábricas de hormigón realizado con cemento natural con otras hechas con Portland. Los resultados favorables a estas últimas le decidieron a utilizar el portland en las inyecciones de consolidación del Pont d'Alma en París[59].

5. La invención de Joseph Lambot

La primera invención del hormigón armado surgió en fecha muy temprana. Hacia 1843 a un propietario agrícola llamado Joseph Lambot se le ocurrió hacer maceteros de naranjos, tinas, barreños y otros elementos de jardín con mortero de cemento reforzado con alambre[60]. Probando con estos objetos descubrió que el alambre se conservaba perfectamente dentro de las paredes de hormigón, las cuales resultaban impermeables. Así que en 1848 construyó con estos materiales una barca para el lago de su propiedad de Miraval.

Para asegurarse del comportamiento satisfactorio de su invención, dejó pasar cinco años antes de darla a conocer. Valorando la impermeabilidad como su principal cualidad, la llamó *bateau-ciment* (barco cemento). En un folleto que publicó para darla a conocer la consideraba aplicable a la construcción de *"barcos-molino, escuelas de natación, barcos para lavaderos, chalanas, boyas, barcos de pequeño calado, barreños, tinajas, en una palabra a todas las construcciones que se pueden deteriorar dentro o fuera del agua"*[61].

En enero de 1855 registró la patente de *"una combinación de hierro y cemento, destinada a remplazar a la madera y llamada hierro-cemento, sucedánea de la madera de construcción"*[62]. Su invención, que podía *"sustituir a la madera tanto en las construcciones navales como en aquellas otras que tienen que combatir a la humedad, tales como depósitos de agua, macetas para naranjos, etc."*, consistía en un malla de alambre a la que se daba la forma más parecida al objeto que se quería formar, que después se cubría con cemento hidráulico o de otra clase.

Para mostrar sus variadas aplicaciones acompañaba dos figuras. En la primera daba cuenta de cómo se podía formar la carcasa de un barco, o una pared de depósito. En la otra representaba en perspectiva una viga.

Lambot registró su patente también en Inglaterra y Bélgica.

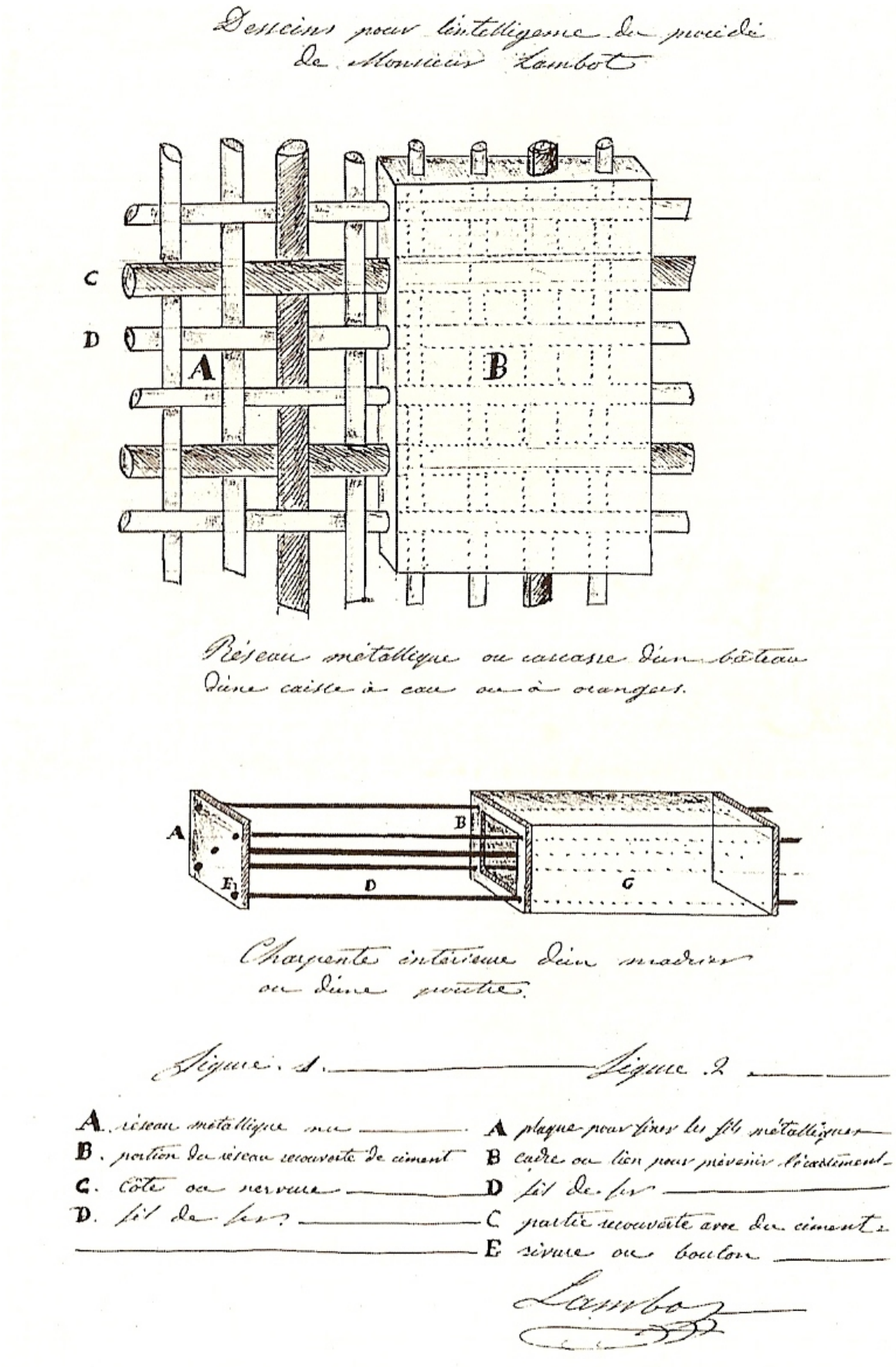


Figura 32. Fer-ciment, patente de Joseph Lambot. 1855. Cortesía de Bernard Marrey

Con la idea de presentarse en la Exposición Universal de París de 1855 Lambot construyó un segundo *bateau-ciment.* Expuesto en el Palacio de la Industria, su sistema pasó prácticamente desapercibido.



Figura 33. Barca de hormigón armado, *Bateau-ciment*, expuesta en la Exposición Universal de París de 1855.

No obstante, consiguió llamar la atención de una Comisión de la Marina Francesa que, interesada en su barca de hormigón, le encargó la construcción de una boya de prueba en el puerto de Toulon.

La boya fue construida el mismo año de la Exposición y probada con resultados satisfactorios. Después, el asunto se olvidó. Lambot, que no tenía madera de empresario, se concentró entonces en atender las necesidades de su finca. Falleció en 1887

Su invento no tuvo éxito porque se adelantó a la evolución lógica que conduciría al hormigón armado. Antes tenía que desarrollarse la técnica del hormigón sin armadura.

6. El hormigón aglomerado de François Coignet.

El primer sistema de construcción con hormigón, el desarrollado por François Martin Lebrun, apenas tendría aplicación práctica fuera de unos cuantos edificios en la región francesa de Albi. Pero no tendría que pasar mucho tiempo, apenas una década, para que surgiera otro sistema que, esta vez sí, resultaría trascendente en la historia del hormigón..

En 1818 el empresario Jean-François Coignet fundó en Lyon una fábrica de productos químicos. Primero se dedicó principalmente a la producción de colas y gelatinas para la industria textil, amoníaco líquido más adelante y desde 1833 fósforo blanco (para la fabricación de cerillas)[63].

A partir de 1837 asoció a la empresa a su primogénito François. Este la revitalizó implantando maquinaria moderna y emprendiendo nuevas líneas de negocio. A la muerte del padre, que tuvo lugar en 1843, François asumió la dirección de la empresa, en la que se incorporaron sus hermanos Stéphane y Louis. Quedaba así constituida la *Maison Coignet Père et Fils et C*[ie64].

Hacia 1851 la buena marcha de la empresa le animó a implantar en París una fábrica filial, cuya construcción emprendería con la técnica con la que estaba más familiarizado, el *pisé* de su Lyon natal. Pero en lugar de tierra apisonada, utilizó una especie de hormigón hecho con cal, cenizas de hulla, arena y piedras, con el que construiría enteramente la fábrica y todos sus elementos: "*bodegas, tuberías, albañales, soleras de los talleres y muros, sobre algunos de los cuales se apoya una máquina de vapor de treinta caballos".*

La experiencia resultó todo un éxito y François Coignet, empresario antes que nada, se decidió a explotar industrialmente este procedimiento de construcción. En ello no sólo vería una oportunidad de negocio. Coignet, hombre de su tiempo, *saint-simonien*, defensor de un socialismo con tonalidades falansterianas[65], pensaba que *"la industria privada, guiada por el espíritu de la economía, es el mejor propagador de ideas nuevas".* En su descubrimiento quiso ver la posibilidad de resolver el problema de la vivienda para las clases menos favorecidas: *"Que una casa proporcione abrigo a una generación, que puedan tenerla tanto el pobre como el rico y disponerla según sus gustos y sus recursos, es un gran problema que no está resuelto. Se presenta una buena oportunidad para solucionarlo, porque el reinado de la piedra en las construcciones parece terminado. El cemento, el hormigón y el hierro están destinados a remplazarla. La piedra se convertirá en el material de los monumentos"*[66].

Poco después, entre 1853 y 1854, Coignet emprendió la construcción de una vivienda junto a su fábrica de Saint-Denis, cuyo proyecto y dirección de obra encargó al arquitecto Théodore Lachez. Utilizando su *béton-pisé* (hormigón-tapial) levantó un edificio de tres plantas, sobre una terraza formada con un muro de contención de seis metros de altura.

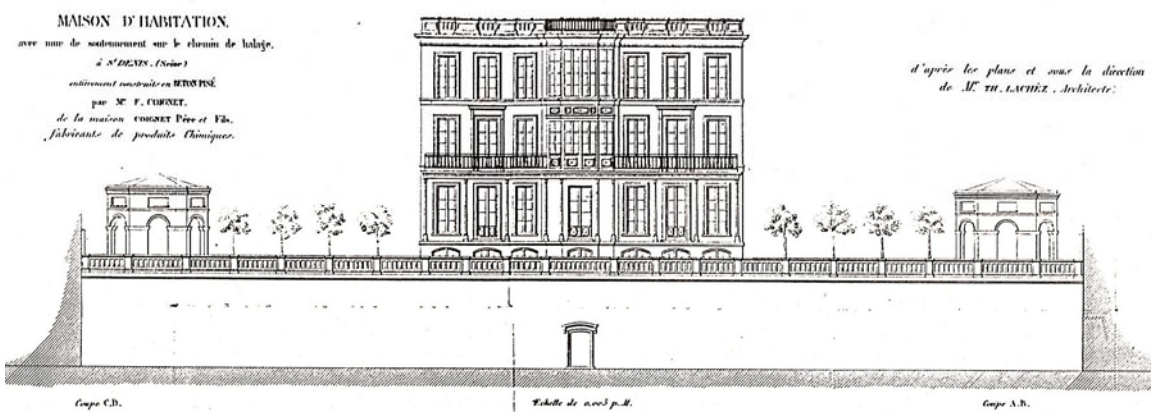


Figura 34. Inmueble de viviendas construido por François Coignet en Saint Denis (París). 1854. Théodore Lachez, arquitecto. Biliothèque Nationale de France.

El sistema de construcción de Coignet llamó tanto la atención, que en 1855 se reunió una comisión de arquitectos para estudiarlo, que acabó concluyendo que *"a pesar de no ser nueva la aplicación de material de Mr. Coignet, como tampoco los principios en que se funda, ha logrado, sin embargo, una combinación media que no tiene los inconvenientes del tapial ordinario, y que se aproxima por su solidez a las construcciones de mampostería"*[67].

Resuelto ya a introducirse en el mundo de la construcción, en marzo solicitó una patente por el empleo del hormigón, con la que pretendía registrar *"la aplicación del modo de construir utilizado para el tapial y para el hormigón de cenizas de hulla, al empleo de todos los demás hormigones que no han sido todavía empleados de la misma manera, cualquiera que sea su composición, que estén compuestos de tierra cocida o no cocida o de toda otra clase de material; que estén hechos a base de cal grasa, de cal hidráulica, de cementos naturales o artificiales de puzolanas u otras; que la construcción de los muros tenga lugar por encima o por debajo del suelo y cualquiera que sea su forma y su empleo"*[68].

Esta patente tan genérica constituiría la base de su sistema de construcción, aplicable a *"toda clase de muros y construcciones, sean verticales, horizontales o en forma de bóveda, cualquiera que sea su aplicación a la construcción de todo tipo de edificios: ciudades obreras u otras, talleres, almacenes, depósitos de agua, etc."* La completaría con adiciones posteriores, en las que especificaba la composición de los hormigones y añadía un sistema de forjados de hormigón reforzados con viguetas de hierro (adiciones de diciembre de 1855 y marzo de 1856). En su última adición (noviembre de 1858) reivindicaba como nuevo producto industrial *"la construcción de casas económicas entera o parcialmente construidas con los hormigones aglomerados de mi sistema, constituyendo un conjunto monolítico sin precedentes en la construcción, que aporta ventajas especiales de inalterabilidad, salubridad, resistencia y economía"*[69].

Aunque inicialmente estaba concebido para la edificación, enseguida pensó en aplicarlo a otro tipo de construcciones como los silos, cuya patente registró en junio de 1855.

Y tampoco dejaría de lado los trabajos *"pertenecientes al arte de los ingenieros, especialmente los de Ponts et Chausées, tales como obras hidráulicas, carreteras, ferrocarriles, conducciones de agua o de gas"*[70]. La realización de todos estos trabajos con hormigón quedaría recogida de modo genérico en su patente de 1856 *"Emploi du béton hydraulique".*

Más adelante (en 1859) la completaría con la de su "*sistema de construcción de diques y otros trabajos en el mar"* (octubre de 1859) y la de *"vías de comunicación y conducciones en las villas"* (noviembre de 1859). En la década siguiente seguiría registrando patentes por diversas aplicaciones de su hormigón.

Al principio el hormigón de Coignet generó buenas expectativas. Tras su presentación en la Exposición Universal de Paris de 1855, donde fue reconocido con una medalla de bronce[71], empezó a recibir encargos. En 1856 ya había varias compañías de ferrocarriles que estaban construyendo en algunos de sus almacenes soleras de hormigón Coignet de diez centímetros de espesor. También se dispuso una solera de este tipo en el laboratorio del *quai de Billy*, en París[72].

Más trascendentes serían algunas edificaciones, como la vivienda del jefe de la estación de ferrocarril de Suresnes, por cuenta del ingeniero E. Flachar. El invento atrajo la atención del mismísimo Emperador, que le encargó la construcción de la casa del guarda en el bosque de Vincennes.

Napoleón III debió sentirse muy interesado por las posibilidades del hormigón aglomerado, pues enseguida encomendó a Coignet varias experiencias de apicación de su sistema como el que tendría lugar en la Escuela de *Ponts et Chausées*, consistente en la realización de *"un arco de puente"* [73].

Entre 1858 y 1859, asimismo por encargo del emperador, trabajaría en la construcción de uno de los diques, concretamente el de Socoa, del puerto de San Juan de Luz. Fue levantando esta obra *"disponiendo sobre las puntas de las rocas, las cuales en la marea baja permanecen descubiertas no más que una o dos horas,[..] un molde hecho con forma de cono truncado hecho con planchas delgadas de pino; en la marea baja se llenaba con hormigón aglomerado y veinticuatro horas después, habiendo estado casi constantemente sumergidos, los pequeños bloques así formados se encontraban lo suficientemente duros como para poder retirar el molde y abandonarlos seguidamente, sin ninguna protección, a la acción del mar"*[74]

Ante la creciente importancia que iban adquiriendo estos trabajos, en 1861 se animó a fundar una sociedad filial, exclusivamente dedicada a la construcción con su hormigón. La experiencia acumulada le permitió definir completamente el material y su proceso constructivo, todo lo cual lo expondría en su tratado *Bétons agglomerés appliqués à l'art de construire* (hormigones aglomerados aplicados al arte de construir), publicado ese mismo año.

Así que, *"después de ocho años de lucha, de esfuerzos incesantes y renacidos cada día, después de millares de experiencias, después de haber sido obligado a hacer de todo, de crear too, teoría y práctica, procesos y maquinas, después de considerables sacrificios"* François Coignet y sus hermanos Stéphane y Louis habían *"llegado a la meta que se habían propuesto: alcanzar la perfección en la composicón y preparación de los hormigones aglomerados, llevando su empleo a estado completamente regular y práctico".*

Efectivamamente habían tenido que estudiar minuciosamente, por un lado, la composición de los hormigones, para los cuales, aún admitiendo todavía los cementos naturales, recomendaban el empleo de cemento portland. Pero lo que más esfuerzos les costó fue *"encontrar el modo de trituración más adecuado para verificar la mezcla íntima de unas materias casi secas para conseguir una pasta pulverulenta o, según las circunstancias, una pasta plástica muy densa, perfectamente homogénea y dispuesta para ser aglomerada".*

Para operar esta trituración en condiciones de economia y sencillez de ejecució, tuvieron que *"crear aparatos especiales y apropiados que para llegar a producir regularmente resultados convenientes han exigido grandes gastos y años de investigaciones"*[75].

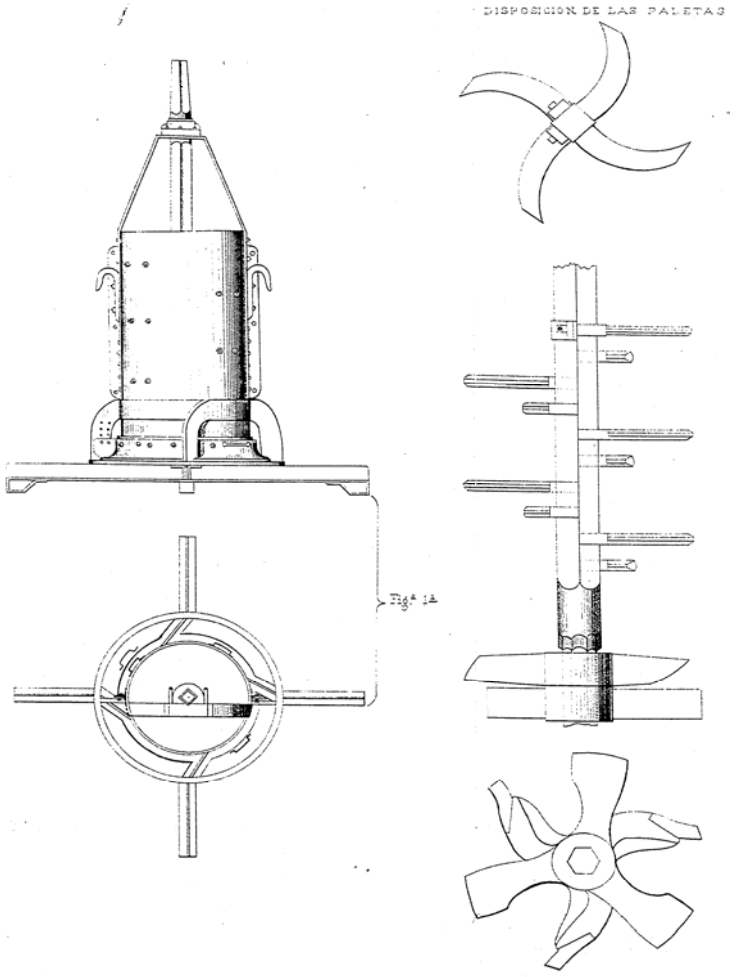


Figura 35. Amasador Coignet empleado en la construcción del puente de Luchana (Vizcaya) 1877. En la *Revista de Obras Públicas*. Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

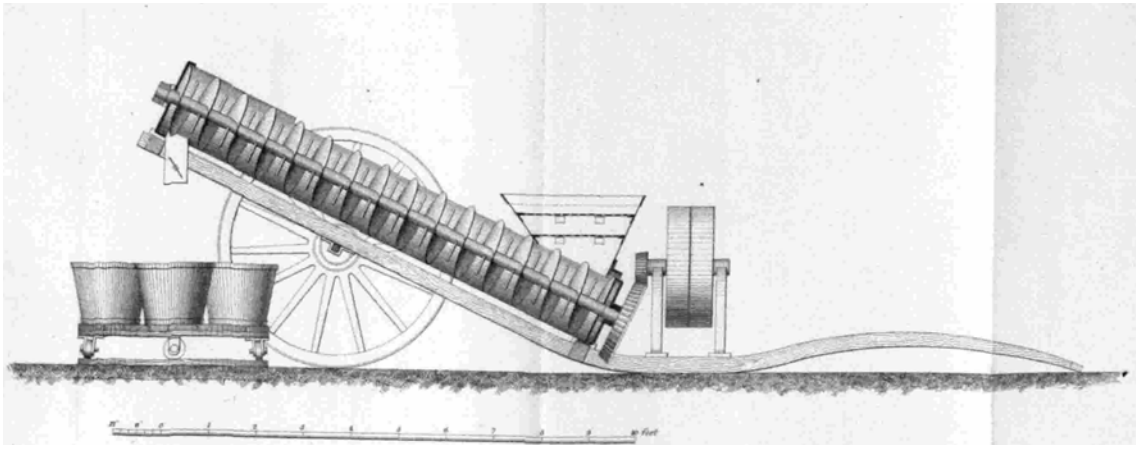


Figura 36. Molino de grava para la fabricación de hormigones aglomerados Coignet. En Gillmore, *Report on Béton aggloméré.* Institution of Civil Engineers.

Detrás del significativo cambio de denominación estaría sin duda la voluntad de Coignet de mostrar que se trataba de un procedimiento constructivo original, confeccionado industrialmente y de gran calidad. Ya no se trataba de un tapial perfeccionado, sino de un *"hormigón de muy superior calidad, una piedra artificial de gran resistencia y dureza"*[76].

Coignet se sentía, pues, autorizado para *"llamar la atención de los técnicos de la construcción y señalarles el partido que se podía sacar de los procedimientos que había llevado a la práctica".* Consideraba que con el hormigón aglomerado *"el arte de construir se enriquecía con un elemento nuevo y poderoso, tanto por la economía como por la solidez, el monolitismo y la resistencia a la intemperie"*, no creyendo exagerado afirmar que *"este nuevo modo de construir permitiria reabrir la época de los grandes trabajos de utilidad pública que tanto lustre alcanzaron en la época de los romanos"*

Tan altas expectativas abrigaba sobre su sistema que no dudó en plantear al Emperador *"ciertas ventajas políticas"* que a su juicio presentaba. Según Coignet, en epocas de crisis el Gobierno podía ayudar a los desempleados promoviendo las obras públicas. Pero, *"como estos trabajos deben ser realizados por hombres sin experiencia, ordinariamente se limitan a movmientos de tierra, que no siempre tienen una utilidad inmediata".* Sin embargo, *"cualquier hombre, sea cual sea su profesión y sin un aprendizaje previo"* se podía ocupar en trabajos con hormigón aglomerado, *"de tal suerte que se podrían aprovechar las épocas de crisis para levantar monumentos de utilidad pública"*[77].

Pero de momento, el sentimiento generalizado entre los profesionales de la construcción era de desconfianza. A ello ciertamente contribiría el fracaso final en la experiencia con los bloques del puerto de San Juan de Luz, que se disgregaron no mucho tiempo después de ser puestos en obra. Coignet intentó justificarse alegando que no todas las cales y cementos utilizados eran apropiados[78], pero lo cierto es que el experimento vino a arrojar muchas dudas sobre sus hormigones aglomerados.

No obstante, Coignet siguió haciendo construcciones a buen ritmo, principalmente de carácter utilitario. Por ejemplo, entre 1861 y 1862 hizo diversas instalaciones para el aserradero que la Compañía de Almacenes Generales de París tenía en Aubervilliers: almacenes, talleres, soleras y un macizo de cimentación para una máquina de vapor[79]. Este tipo de cimentaciones tendría bastante aceptación, construyendo otros similares para la Dirección General de Tabacos en sus fábricas de Chateauroux (1860) y Paris-Reuilly (1862). También le encargaron estos macizos las compañías Fargot et Fils (Port Saint-Ouen, 1863), Ferat et Cie (Essonnes, 1863) y Cartier Bresson (Paris, 1863)[80].

También tendría buena acogida en el campo de las obras públicas, especialmente en la construcción de redes de saneamiento. Su sistema contó aquí con importantes apoyos, como el del ingeniero Belgrand, jefe del servicio de aguas y alcantarillado de París, que lo utilizó de forma generalizada en la red de saneamiento de la capital. En 1864 se habían construido con *béton agglomeré* alrededor de treinta kilómetros de conducciones.

Simultáneamente el arquitecto responsable de los cuarteles de París, V. Cailliat, lo utilizó en soleras y bóvedas de sótanos, que sometió previamente a numerosas pruebas de resistencia.

Aunque no tardaría en llegar la oportunidad de aplicarlo en una obra destacada. Sería en la construcción de la Iglesia de Sainte Marguerite de Le Vésinet, que se convertiría en un verdadero *tour de force* para el hormigón aglomerado de Coignet. En esta localidad cercana a París un empresario llamado Alphonse Pallu estaba construyendo una urbanización de lujo en 1862. Para la construcción de su iglesia convocó un concurso que fue ganado por el arquitecto Louis-Auguste Boileau, con un proyecto de estilo neogótico. El promotor Pallu, no obstante, le impuso la condición de usar en lugar de piedra el hormigón Coignet, por el que Boileau no sentía ninguna confianza. Con todo, siguió adelante, diseñando una estructura metálica principal para el apoyo de la cubierta, independizada del cerramiento de hormigón[81]. También con hormigón se hicieron los detalles ornamentales, quedando la iglesia terminada en 1864.



Figura 37. Iglesia de *Sainte Marguerite* en *Le Vesinet*. 1864 Louis-Auguste Boileau, arquitecto.

Boileau quedaría muy descontento de esta colaboración impuesta, convirtiéndose un uno de los principales detractores del hormigón de Coignet. En una carta de diciembre de 1867 publicada en el *Moniteur des architectes* le reprochaba su falta de impermeabilidad y cuestionaba su solidez estructural: *"los bloques de hormigón aglomerado no se sueldan entre ellos y se forman camas o hiladas separadas"*[82]. Cuestionaba además su pretendida economía.

Coignet no tardaría en responderle, asumiendo algunos defectos en la impermeabilidad o no haber tenido en cuenta las fisuras debidas a la retracción, que podían excusarse *"por la inexperiencia que acompaña siempre los inicios de todas las cosas nuevas".* Pero de ningún modo admitía las dudas sobre la estabilidad y resistencia de los muros. Y, por supuesto, confirmaba rotundamente la economía que se conseguía con su sistema de construcción: *"hemos conseguido un veinte por ciento de rebaja en las alcantarillas de París, un treinta por los muros de sostenimiento del boulevard del Emperador, un diez por ciento a los empresarios de la Gran Ópera; entonces ¿cómo puede ser que los ingenieros y arquitectos más acreditados nos hayan confiado trabajos por valor de quince o veinte millones, si nosotros vendemos más caro?"*[83].

En esa carta Coignet comentaba su participación en el que quizás fuera el edificio más emblemático del Segundo Imperio, la Nueva Opera de Paris. Aunque su aportación se limitó a elementos accesorios (galerías bajo el escenario, escaleras, retretes) esto puede dar idea de la difusión que estaba alcanzando su sistema. Charles Garnier, el arquitecto responsable del proyecto debió quedar muy satisfecho, pues *"se complacía en reconocer grandes cualidades a este hormigón tanto desde el punto de vista de su dureza como de su homogeneidad; y habría hecho un uso más extenso si al comienzo de los trabajos hubiera conocido los satisfactorios resultados consagrados hoy"*[84].

Anteriormente (1863) había colaborado con el arquitecto A. Cusin en el teatro de la plaza de Artes y Oficios, realizando unas bóvedas bajo el escenario[85].

Pero a pesar de actuaciones tan resonantes, sus incursiones en el campo de la arquitectura serían contadas. No pasarían de la decena los edificios, hechos íntegramente en *béton agglomeré*[86]. El más conocido sería el inmueble de viviendas del número 98 de la calle Miromesnil, de seis plantas, terminado hacia 1867. Dos años más tarde construiría la casa de Edouard André en el boulevard Haussman, proyectada por el arquitecto Henri Parent[87].

Un rasgo típico de estos edificios era que los sótanos se dividían en dos largos compartimentos mediante un muro paralelo a la calle. Dichos espacios quedaban cubiertos por bóvedas muy delgadas de hormigón[88].

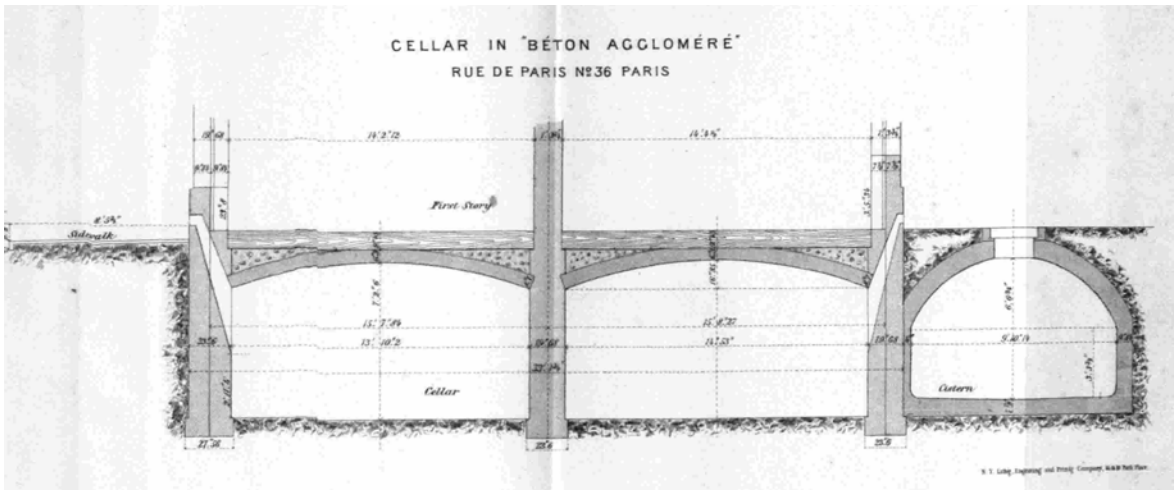


Figura 38. Solución estructural típica en los sótanos de edificios construidos por F. Coignet en París. En Gillmore, *Report on Béton aggloméré.* Institution of Civil Engineers

Continuaba, sin embargo, con gran éxito en las obras públicas. A finales de los sesenta el ayuntamiento de París le encargaría un conjunto de obras muy importantes: *"el muro de sostenimiento de la escalera monumental del boulevard del Emperador, el muro del cementerio de Passy, numerosas conducciones de alcantarillado y todas las obras hidráulicas de la Exposición de 1867, así como considerables trabajos de urbanización en los accesos al Trocadéro"*[89].

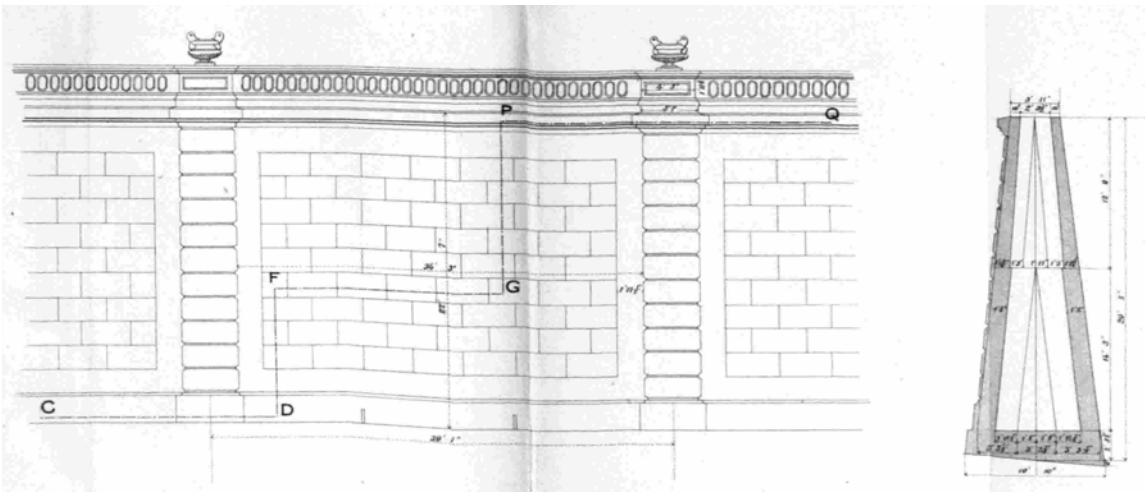


Figura 39. Muro de sostenimiento del cementerio de Passy. Paramento visto y sección transversal. París. 1865. François Coignet, constructor. En Gillmore, *Report on Béton aggloméré*. Institution of Civil Engineers

En 1868 comenzaron los trabajos de la su construcción más representativa, la traída de aguas de la Vanne, una conducción de sesenta kilómetros de longitud que desde el río Yonne traía el agua hasta París. El trazado discurría en su mayor parte por terrenos arenosos, inutilizables para la construcción, por lo que se optó por el hormigón Coignet, con el que se debía construir la obra en un plazo de tres años y a un coste de ocho millones de francos[90].

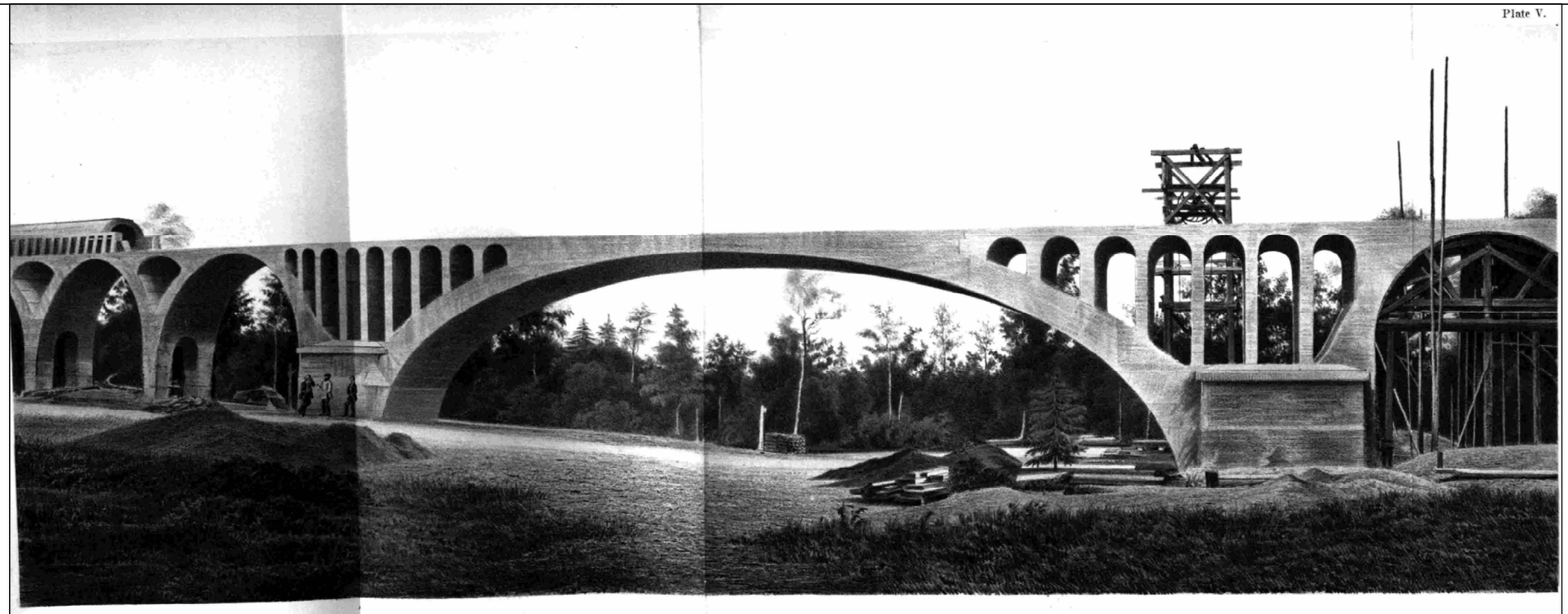
La conducción incluía dieciocho kilómetros de túneles y cinco de acueducto propiamente dicho, resuelto con arcadas de hasta doce metros de luz.



Figura 40. Acueducto de la Vanne. Arcadas de la carretera de Orleáns. 1869. François Coignet, constructor. Bibliothèque Nationale de France.

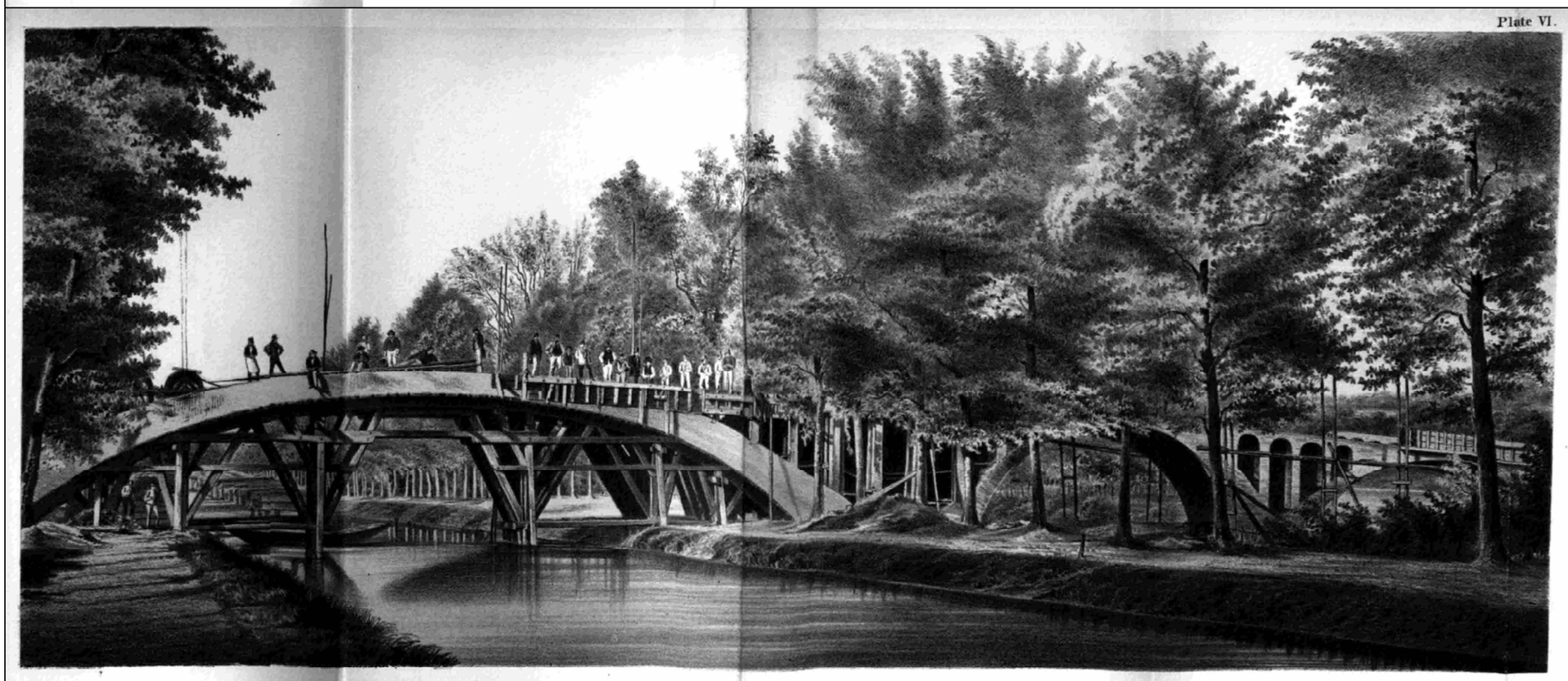
En el bosque de Fontainebleau, colmado de vías de comunicación se tuvieron que construir puentes de gran luz, como el del canal del Loing, un gran arco de 35 m de luz.

Plate V.



THE VANNE AQUEDUCT. FRANCE. (TAKEN IN WINTER 1869-70)

Plate VI.



THE VANNE AQUEDUCT. FRANCE. (UNDER CONSTRUCTION)

Acueducto de La Vanne (cercanías de París). 1869. François Coignet, constructor

En Gillmore, Report on béton aggloméré or béton–Coignet. Institution of Civil Engineers. U.K.



Figura 41. Acueducto de la Vanne. Puente acueducto sobre el canal del Loing. 1869. François Coignet, constructor. Bibliothèque Nationale de France.

En el valle del río Loing, para soportar las tuberías del sifón se construyeron una serie de arcos de 7, 8, 12 30 y 35 metros de luz, con la misma configuración.

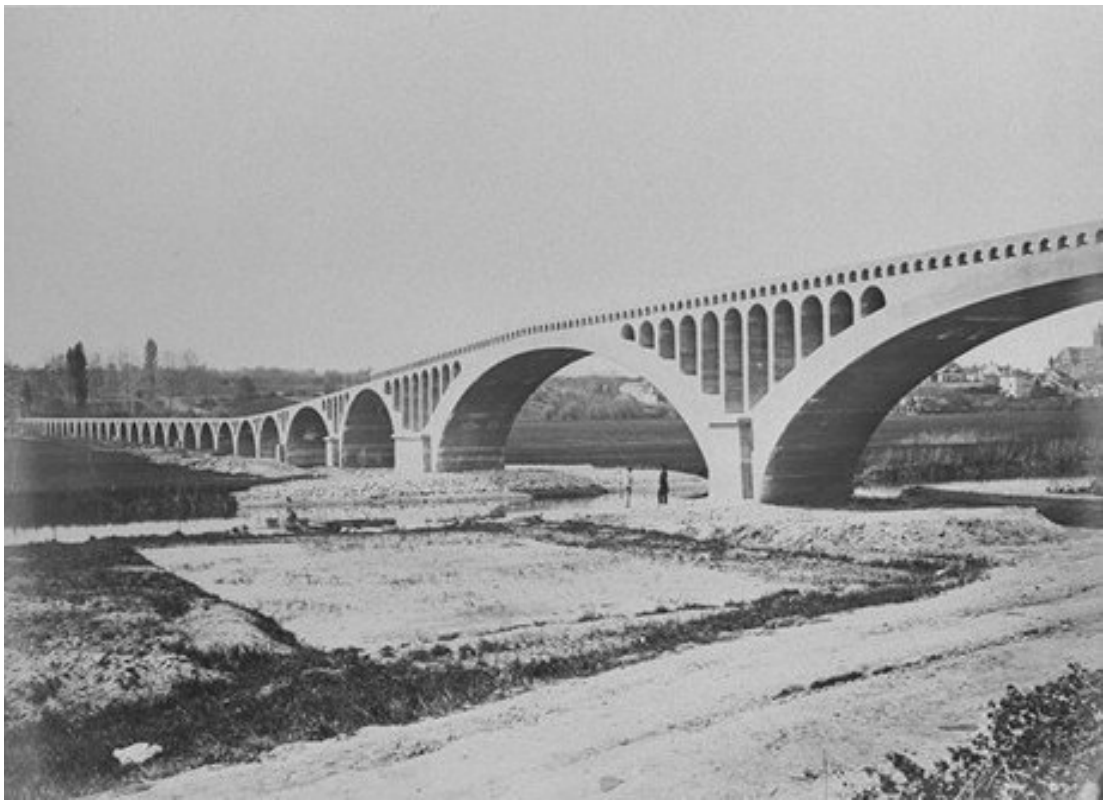


Figura 42. Acueducto de la Vanne. Arcos del sifón del Loing. 1869. François Coignet, constructor. Bibliothèque Nationale de France.

Con la construcción de una obra de tal envergadura quedaba demostrado que el hormigón podía jugar un papel importante en el mundo de la construcción. Pero la obra no estuvo exenta de problemas (algunos de los arcos no se tuvieron en pie tras la ejecución) y empezaron a aparecer voces reclamando que se formularan las reglas a que debía estar sujeto su empleo[91].

Pero de momento eso no frenaba la marcha de la empresa de Coignet, que seguía recibiendo encargos tan llamativos como la construcción del faro de Port Said, en el Canal de Suez. Era una torre de sección octogonal de 48 metros de altura, construida de forma monolítica en los últimos seis meses de 1869[92].



Figura 43. Faro de *Port Saïd*, Canal de Suez (Egipto).1869.François Coignet, constructor.

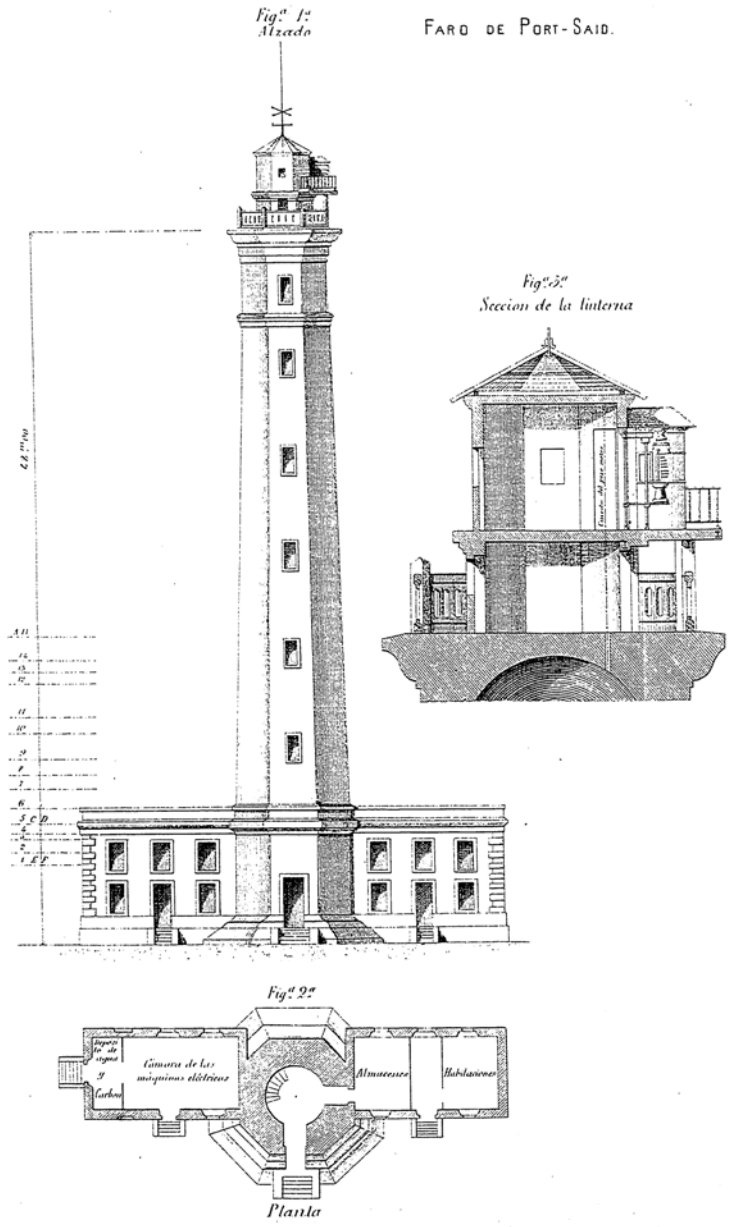


Figura 44. Faro de *Port Saïd*, Canal de Suez. F. Coignet, constructor. 1869. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos.

En este estado de cosas sobrevino la guerra franco-prusiana. En los dos años siguientes la actividad de la empresa se resintió por la paralización de la construcción impuesta por la guerra y los acontecimientos que sucedieron a la caída del Segundo Imperio. Por si esto fuera poco, de las importantes cantidades que adeudaba a Coignet el ayuntamiento de París no quiso hacerse cargo la Comuna. Tan graves dificultades arrastraron al final a la empresa a la quiebra, terminando así el primer intento de difusión del hormigón a gran escala.

7. La evolución hacia el hormigón armado. Construcciones de hormigón y primeras construcciones de hormigón reforzado con hierro.

Una vez generalizada la construcción con hormigón, su lógica evolución no tardaría en conducir al empleo de refuerzos de hierro. Al comprobar que el hierro se conservaba bien dentro del hormigón, se fueron colocando de modo intuitivo estos refuerzos en todo tipo de obras. En un principio se usaron para trabar las fábricas, aunque bien pronto empezaron a disponerse estos refuerzos para soportar empujes de tracción y evitar deslizamientos. En 1902 el ingeniero Berger declaraba haber visto refuerzos de este tipo en *"viejos muros de cerramiento o en depósitos que habían sido reparados por presentar fisuras peligrosas, que se arreglaban a pie de obra, trabando las partes nuevas con las viejas por medio de anclajes o tirantes de hierro"*[93].

La primera utilización documentada de estos refuerzos de hierro en construcciones de hormigón fue la cubierta (plana) de la casa de François Coignet en Saint Denis. Construida en 1852, estaba formada por una losa de hormigón de 30 cm de espesor reforzada con viguetas de hierro con sección transversal en doble T colocadas en la parte inferior de la losa. En 1898 y 1911 se le practicaron sendas catas, verificándose que las viguetas se encontraban en perfecto estado de conservación[94].

El procedimiento de construcción de estos forjados queda descrito en su adición de enero de 1856 a la patente por el empleo de hormigones: *"sobre los muros entre los que se trata de construir un forjado se apoyan por los extremos cierto número de viguetas de hierro de un grosor proporcional a la luz[…] cinco centímetros por debajo de las viguetas se coloca un encofrado plano y se vierte el hormigón sobre él, extendiéndolo y comprimiéndolo hasta que toda la superficie está recubierta, quedando sobre las viguetas un espesor de al menos cinco centímetros"*[95].

Por entonces se estaban generalizando los forjados de viguetas metálicas, con gran variedad de disposiciones. Una de las habituales consistía en *"situar las viguetas separadas a tres metros o más distancia y unirlas con bóvedas tabicadas o de ladrillo, rellenando los senos con hormigón".* En algunos almacenes de Inglaterra se lelgaba incluso a sustituir *"los arcos de ladrillo por otros de palastro de1/4 de pulgada de grueso, cuyas hojas se unen con chapas roblonadas sobre las juntas"*[96].

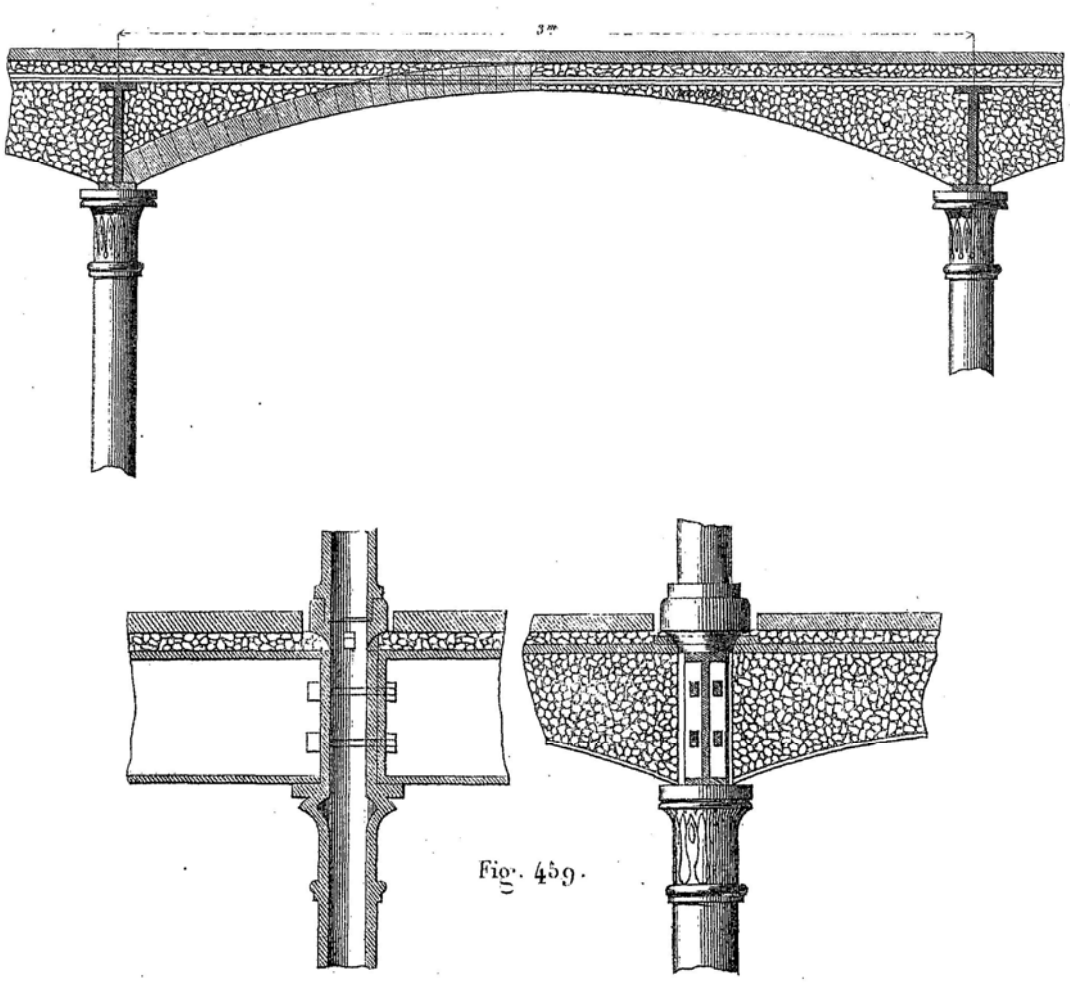


Figura 45. Forjados de viguetas metálicas y relleno de hormigón. En Valdés, *Manual del Ingeniero y el arquitecto*. Biblioteca de la Universidad de Granada.

De ahí a utilizar forjados de hormigón reforzados con barras de hierro quedaba sólo un pequeño paso, que daría el inglés William Boutland Wilkinson. Con sus barras de hierro dispuestas *"en las partes sometidas a fuerzas de tensión"*, Wilkinson se dio cuenta de la necesidad de colocar elementos resistentes a la tracción *"en las partes sometidas a tracción"*, pero su prioridad era conseguir un forjado poco costoso y resistente al fuego

Aunque su primera aplicación práctica no se daría hasta 1865 (con la construcción de los forjados de una villa de Newcastle), el sistema sería la base para la fundación de una próspera empresa constructora, activa hasta principios del siglo XX[97].

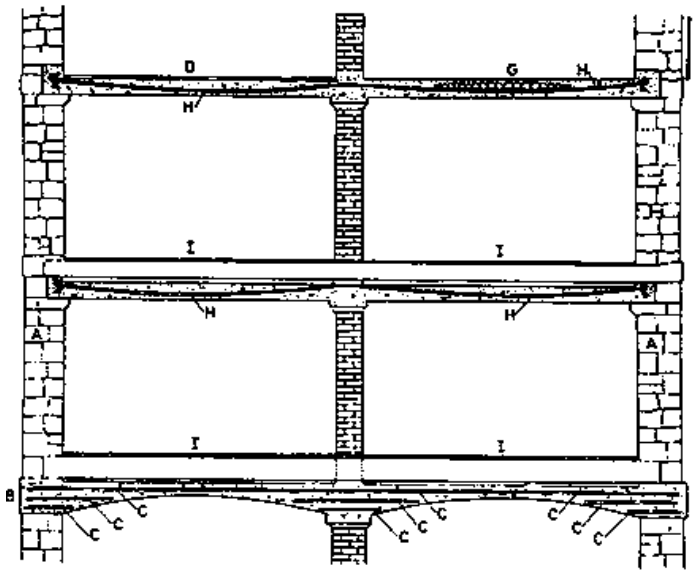


Figura 46. Forjados de hormigón reforzados con barras de hierro, sistema de William Boutland Wilkinson.

La aparición de los forjados de Wilkinson coincidió con el lanzamiento del hormigón de Coignet, que tuvo en Inglaterra gran repercusión, suscitando entre los técnicos mucho más interés que en su país de origen.

Aprovechando la coyuntura apareció otro sistema de construcción hormigonada, patentado por el empresario Joseph Tall. Su diferencia con el de Coignet estribaba únicamente en la utilización de encofrados desmontables estandarizados, que reducían considerablemente el coste de la obra.

Sin embargo, este procedimiento de construcción tuvo muy buena acogida, no sólo en Inglaterra. Incluso traspasó sus fronteras hasta el punto de que fue elegido por el mismísimo Napoleón III para la construcción de unas viviendas obreras en París. El grupo de casas de la avenida Daumesnil, en cuyo diseño intervino el propio emperador, fue levantado en 1867 por la compañía inglesa Shepard y Newton, que utilizaba el sistema de Tall[98].

En la década siguiente se patentaron varios sistemas de construcción hormigonada en Gran Bretaña. Uno de los más populares sería el de Charles Drake, antiguo empleado de Tall, cuya única diferencia con de este era la utilización de encofrados metálicos.

Más enjundia tendría el de Philip Brannon, patentado en 1871 y 1874. Era un sistema de hormigón monolítico reforzado con barras de hierro. Con su empresa *Monolithic Fireproof and Sanitary Construction Works Ltd (*Compañía de construcciones monolíticas, incombustibles y sanitarias) construyó varios edificios en Inglaterra.

Otros técnicos y empresarios británicos (Henry Goodwin, Alexander Payne, Lee y Hodgson, F.G. Edwards) emplearían con distinta fortuna en estos años sistemas de hormigón reforzado con hierro. Sin embargo, *"las construcciones de hormigón construidas en esta época*

[en Inglaterra] *lo fueron por pequeños empresarios utilizando métodos arcaicos y el desafío de una explotación a escala nacional, que había constituido la hazaña de François Coignet, no sería nunca asumido […] Correspondería a los franceses retomar esta tarea y culminar la revolución de la arquitectura que ellos mismos habían comenzado"*[99].

Sin embargo, aún debían transcurrir algunos años para que eso sucediera. Mientras tanto, se iban lentamente ampliando sus aplicaciones, aunque mayoritariamente en las obras públicas. Por ejemplo, en el campo de los puentes la compañía Désiré Michel se mostró especialmente activa a partir de los años cincuenta. De 1856 data su puente del Jardín Zoológico de Marsella, de 14 metros de luz, *"construido con tres filas de ladrillos colocados de llano y unidos con argamasa de cimento"*. En 1860 construyeron una pasarela peatonal de 25 metros de luz en la Estación de Ferrocarriles de Mercancías de Milán. Y el año siguiente se harían cargo de importantes obras en el Puerto de Marsella, incluyendo un pabellón para servicio de la policía y de la aduana.

Los primeros puentes de Désiré Michel tenían la disposición más frecuente que se utilizaba por entonces. Consistía "*en construir las cabezas con sillería, sillarejo, etc., y rellenar después con hormigón el espacio comprendido por estas cabezas y el entablonado de la cimbra".* Con cierta desconfianza hacia el nuevo material, en las grandes bóvedas se hacían *"con sillarejo, ladrillo, etc., no sólo las cabezas sino que también la rosca de intradós, rellenándose después el espacio que resulta con hormigón y cuidando su buen enlace con las otras fábricas"*[100].

En 1862 Désiré Michel daría un salto cualitativo con la construcción del puente de Berdoulet, sobre el río Arriège (ferrocarril de Saint Simon a Foix). Había que salvar una luz de 40 metros, que utilizando mampostería ordinaria se tendría que haber resuelto *"con al menos dos arcos sostenidos por un pilar en medio del río y el uso de piedras de grandes dimensiones en todas las bovedas",* mientras que con el *Cimento del Mediterráneo* pudo *"hacerse sin titubear con un solo arco y dispensarse de emplear la piedra en todo el interior La mampostería es enteramente de mojones a morrillos en bruto de pequeña dimensión, como para una pared cualquiera, pues el cemento que los une entre sí se convierte él mismo en piedra y produce el mismo efecto que si todo el puente no fuese más que una sola masa homogénea y de una solidez y resistencia iguales en todos sus puntos"*[101].

El descalabro de la empresa de Coignet no impidió que se llevaran a la práctica, ya en los años setenta, soluciones como la del segundo *Pont de Claix*, un arco de hormigón de 52 metros de luz reforzado con tirantes de hierro. Fue proyectado y construido en 1874 por el ingeniero de *Ponts et Chausées* Gentil[102].

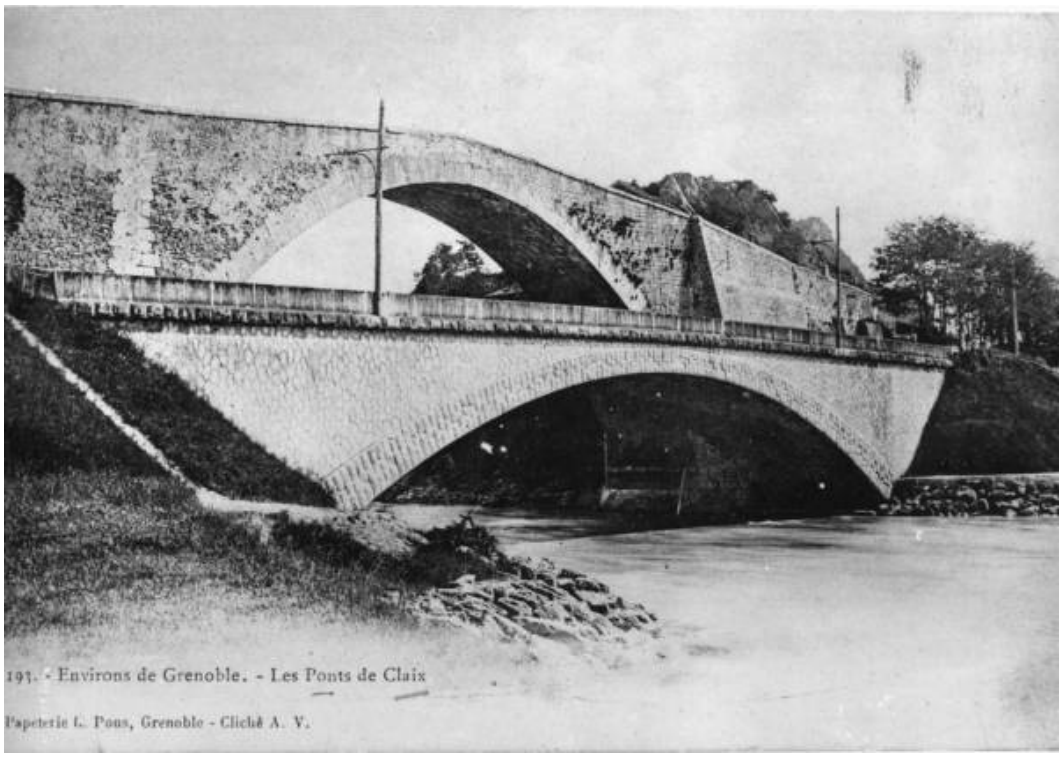


Figura 47. Puentes de *Claix*. Grenoble (Francia), 1874. En primer término el segundo puente, de hormigón. M. Gentil, ingeniero de puentes y caminos.

Apenas un lustro más tarde se construyó el puente sobre el río Fier, en la región de la Alta Saboya. Se trataba de un arco de hormigón de 34 metros de luz.

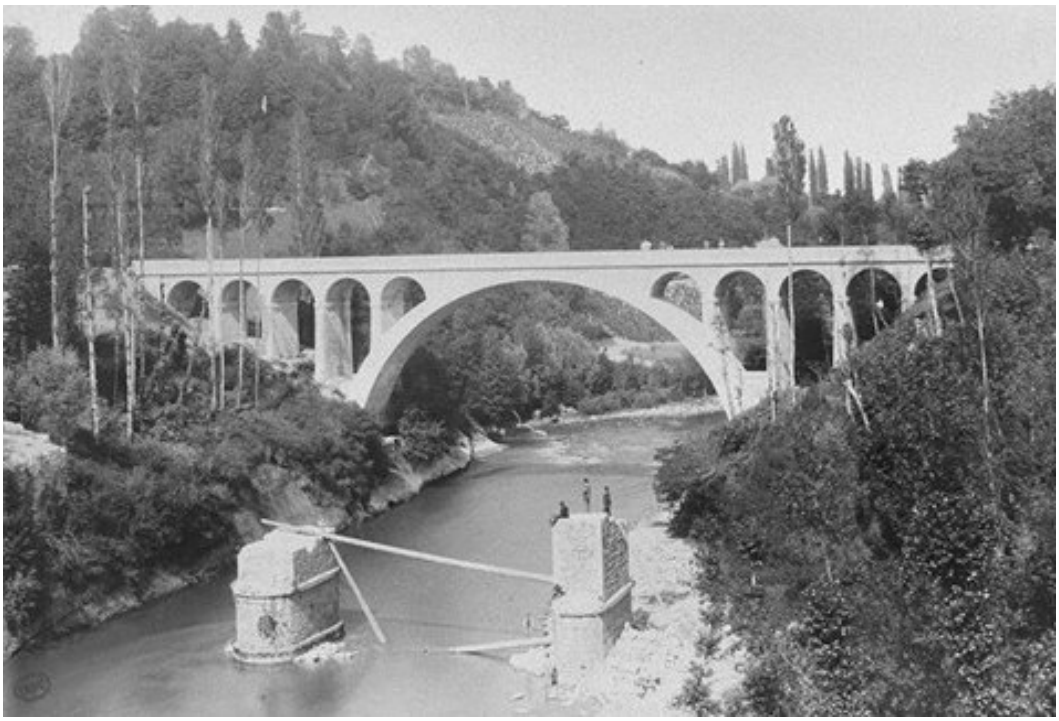


Figura 48. Puente de hormigón sobre el río Fier (Francia), 1881. Bibliothèque Nationale de France.

Donde no avanzó prácticamente nada fue en el campo de la edificación residencial. Para la inmensa mayoría de los arquitectos el hormigón era un material propio de la industria y de las

obras civiles. Su utilización, más allá de las cimentaciones u algún otro elemento no visible, era incompatible con el carácter artístico de la obra arquitectónica.

Las únicas realizaciones de estos años se hicieron en la región de Grenoble, donde se concentraban buena parte de las industrias cementeras del país (Vicat et Cie, Ciment de la Porte de France, Ciment de la Roche du Diable,..). La prosperidad que el "oro gris" estaba aportando mejoraba su valoración entre los arquitectos, ingenieros y promotores locales, que no dudaban en utilizarlo para todo tipo de construcciones, incluso las puramente arquitectónicas.

Así, entre 1875 y 1878 el empresario Joseph Jullien Cochard se hizo construir un palacio de estilo oriental, las *Casamaures*, en el que la estructura (cimentaciones, muros de carga, columnas) y detalles ornamentales se hicieron con hormigón.

Utilizando bloques de hormigón a modo de piedra artificial se levantó la iglesia de Saint Bruno, según proyecto (fechado en 1870) del arquitecto parisino Alphonse Durant. Inicialmente se haría cargo de la ejecución Eugène Peronnet, pero a partir de 1875 sería encomendado este trabajo al arquitecto diocesano Berruyer, ferviente defensor del nuevo material. La iglesia quedaría terminada en 1881.



Figura 49. Iglesia de Saint Bruno, Grenoble.1881. A. Durant, E. Peronnet y M. Berruyer, arquitectos.

Ese mismo año, un maestro de obras llamado Gustave Rivalland construyó una torre de hormigón de veinticinco metros de altura en Fontenay-le-Comte[103].

También se registraron en este periodo al menos tres utilizaciones precursoras de hormigón reforzado con hierro en edificios.

En 1864 quedaron terminadas las obras del palacio que el empresario François Briau se hizo construir en Varades (Francia). Proyectado por el arquitecto Édouard Moll, el edificio en sí no tiene ningúna relación con el hormigón. Pero anejo a él se construyó, bien diseñado por Moll, bien por el propio Briau, una *orangerie* o pequeño invernadero cuya cubierta se resolvió con una losa nervada de hormigón armado[104].

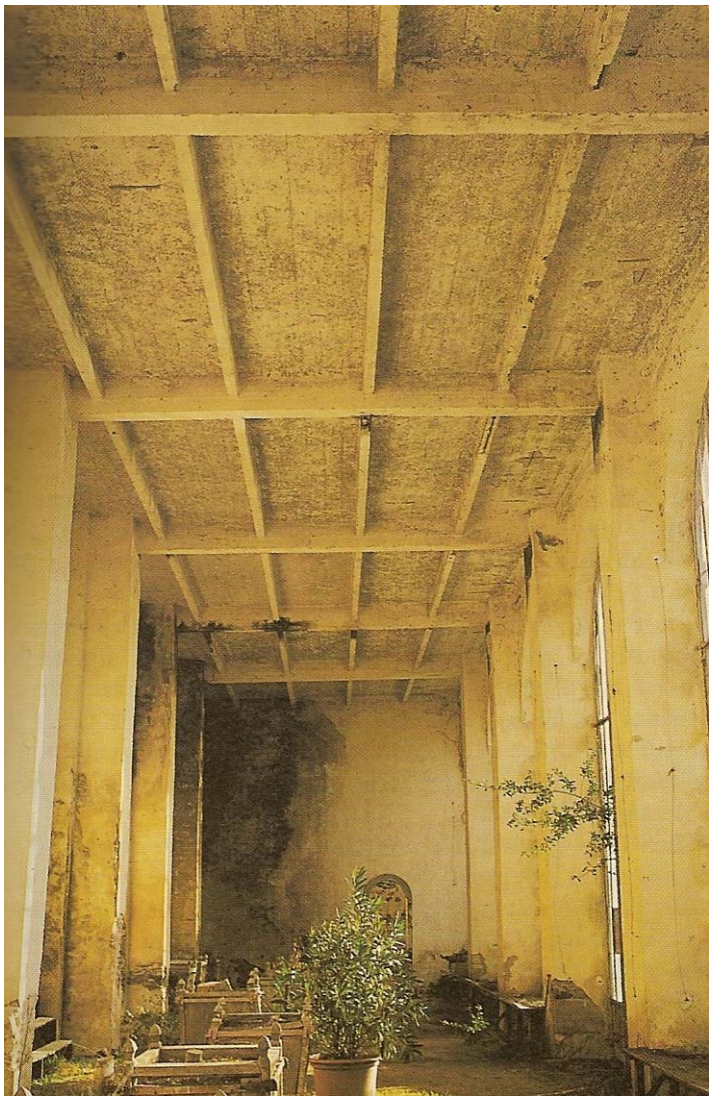


Figura 50. Cubierta de hormigón armado del invernadero del Palais Briau. Varades (Francia).1864. Édouard Moll, arquitecto, y François Briau. Cortesía de Bernard Marrey.

Quince años más tarde, entre 1878 y 1880 el arquitecto Eugène Dupuis resolvió con arcadas de hormigón envolviendo a perfiles metálicos (situados deliberadamente en la parte inferior, para resistir las tracciones) la esructura de la Librería Católica, situada en el número 76 de la *rue des Saints-Pères* en París[105].

Por último, hacia 1883 tendría lugar en Italia otra interesante experiencia de empleo del hormigón reforzado con hierro en un edificio, en este caso industrial. Fue la fábrica de cemento de los Hermanos Pesenti (fabricantes de cemento desde 1878) en Alzano-Lombardo. Correría a cargo de uno de los hermanos, Césare, que era ingeniero, el diseño estructural de este edificio, resuelto con forjados abovedados apoyados sobre muros de carga y entramados de pórticos de pilares y arcadas; todo ello utilizando hormigón reforzado con elementos de hierro[106].

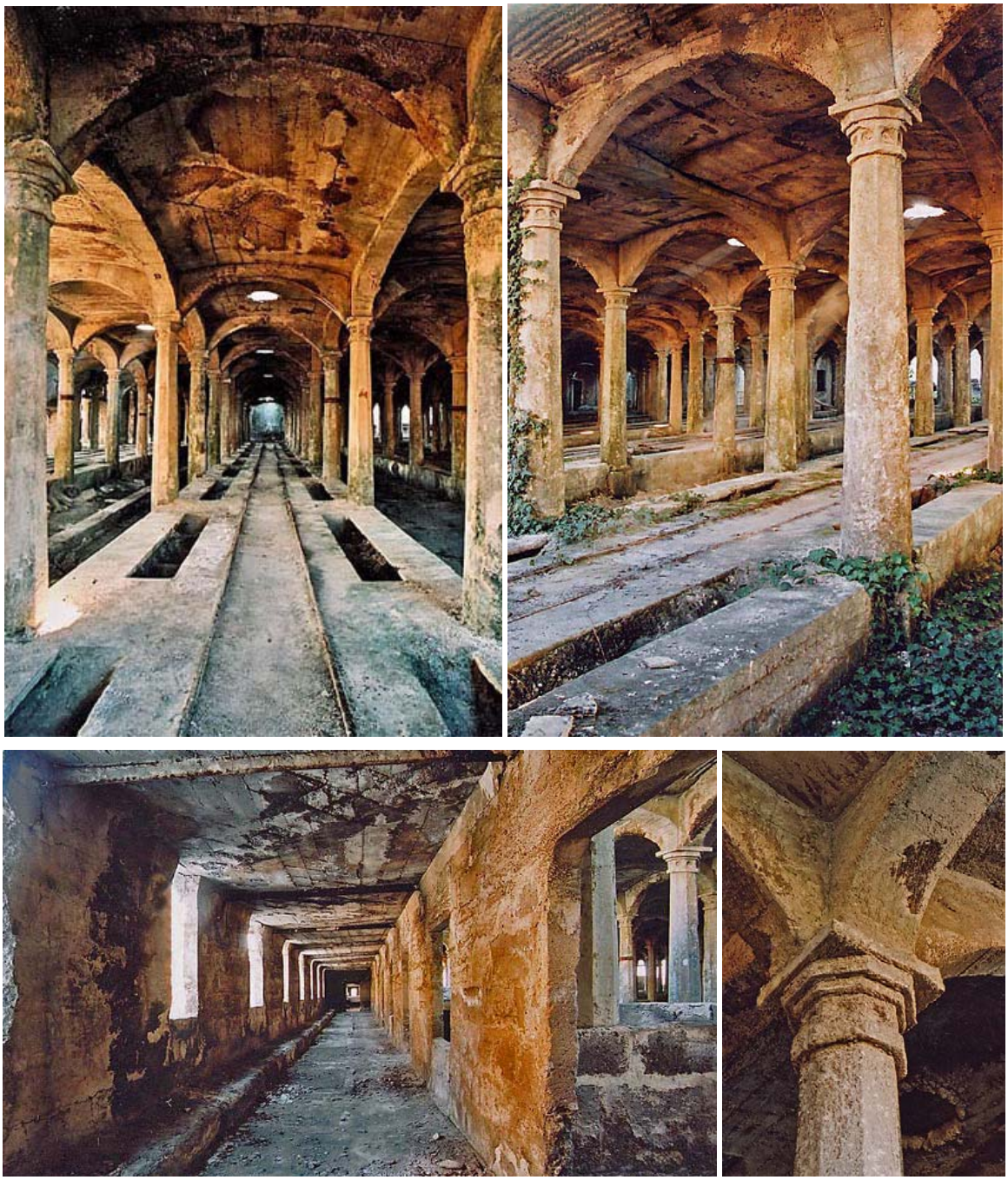


Figura 51. Fábrica de cemento de los Hermanos Pesenti en Alzano-Lombardo (Italia). 1883. Césare Pesenti, ingeniero. Cortesía de Jean Paul Delacruz. http://pagesperso-orange.fr/derelicta/index.htm

8. Las construcciones de hierro y cemento de Joseph Monier.

Hacía 1860, el horticultor francés Joseph Monier regentaba en París una floreciente empresa de jardinería. Entre sus especialidades destacaba la realización de rocallas, decorados para jardines hechos a imitación de la piedra natural. Como otros jardineros, las hacía proyectando mortero de cemento sobre una rejilla de alambres, que daba la forma al decorado. Las rocallas de Monier tuvieron bastante éxito, siendo elegidas por muchos ciudadanos acaudalados de París para adornar sus jardines.

Con el paso del tiempo pudo comprobar que las rocallas se conservaban muy bien, sin que los alambres, totalmente recubiertos de mortero, se deteriorasen. Por eso, pensó en utilizar el mismo principio para sustituir a los tradicionales maceteros de madera, que se pudrían rápidamente.

También se dio cuenta de que este mortero era estanco, lo que permitía su empleo en pequeños depósitos, abrevaderos, etc. Viendo que con ellos se podía hacer un buen negocio, se decidió a explotarlos comercialmente. En septiembre de 1867 registró la patente de un "sistema de macetas y depósitos portátiles, en hierro y cemento, aplicables a la horticultura"[107].

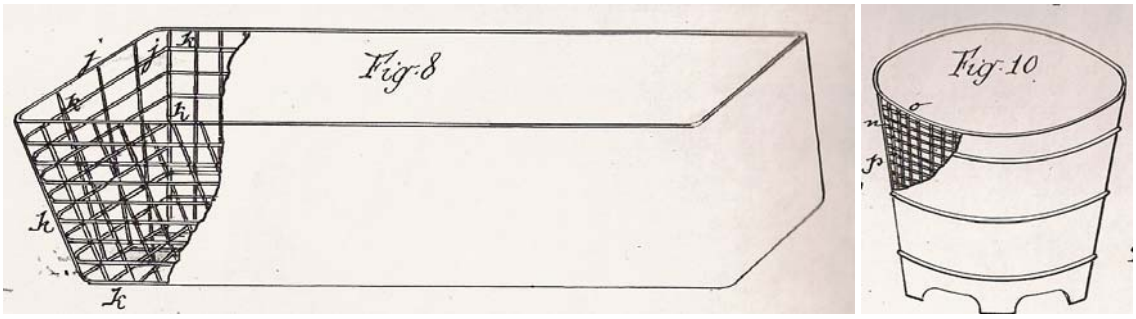


Figura 52. Abrevaderos y macetas de Monier con cemento armado. Patente española de 1884. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

La invención de Monier, cuya principal pretensión era *"reemplazar la piedra, la madera, el hierro y todos los demás materiales por sustancias más económicas y que presentan mayor solidez",* consistía en hacer, con la forma del objeto que se quería fabricar, *"un armazón con forma de rejilla que se confecciona con hierro redondo, cuadrado, plano o de cualquier clase[…],que una vez terminado se baña con cemento por cada uno de los lados, de manera que el hierro está completamente recubierto, lo que le preserva de toda oxidación y le da una resistencia grandísima y una duración ilimitada"* [108].

No tardaría en plantearse *"aplicar el mismo método de construcción para confeccionar tableros rectos, tabiques, embaldosados, muros etc"*. Así extendería su aplicación a otras construcciones típicas de la horticultura como estanques y depósitos.

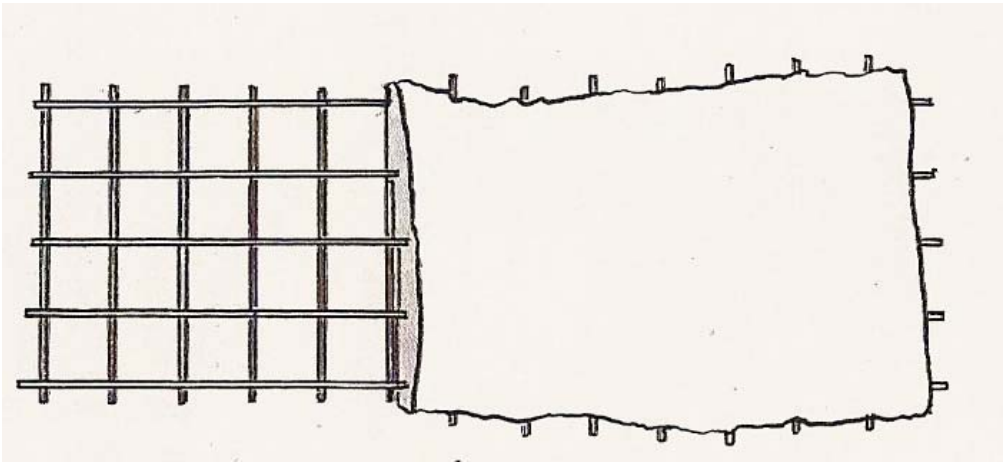


Figura 53. Muros y tabiques de cemento armado. Patente española de 1884. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

De esta forma, en 1868 construyó un depósito circular de 20 m^3 en el *château* de Croissy, propiedad del conde de Epremesnil, y la cubierta de una sala de billar en Ville d'Avray para el arquitecto Edouard Janicot. Animado por los buenos resultados, al año siguiente Monier añadirá tres adiciones a su patente primitiva: construcción de tuberías, estanques y paneles para cubiertas de casas. Simultáneamente construyó otro depósito en Neuilly-sur Marne, de 25 m^3 de capacidad[109].

Enseguida la construcción de depósitos se convirtió en uno de los principales activos de su empresa. El abastecimiento de aguas era todavía muy irregular y muchos propietarios ricos se hacían construir depósitos en sus propiedades para compensarlo. Monier ofrecía una solución muy competitiva, por lo que pronto se vió colmado de encargos.



Figura 54. Depósito de agua no identificado. Joseph Monier, constructor. Cortesía de Bernard Marrey.

Ni siquiera la guerra Franco-prusiana, en la que fueron destruidas por los bombardeos sus instalaciones de París, conseguiría frenar la buena marcha de la empresa. En 1872, recién superado el conflicto, daría un salto de calidad con la construcción del depósito de Bougival, de 110 m^3, encargado por la Compañía General de Aguas de la Villa de París[110].

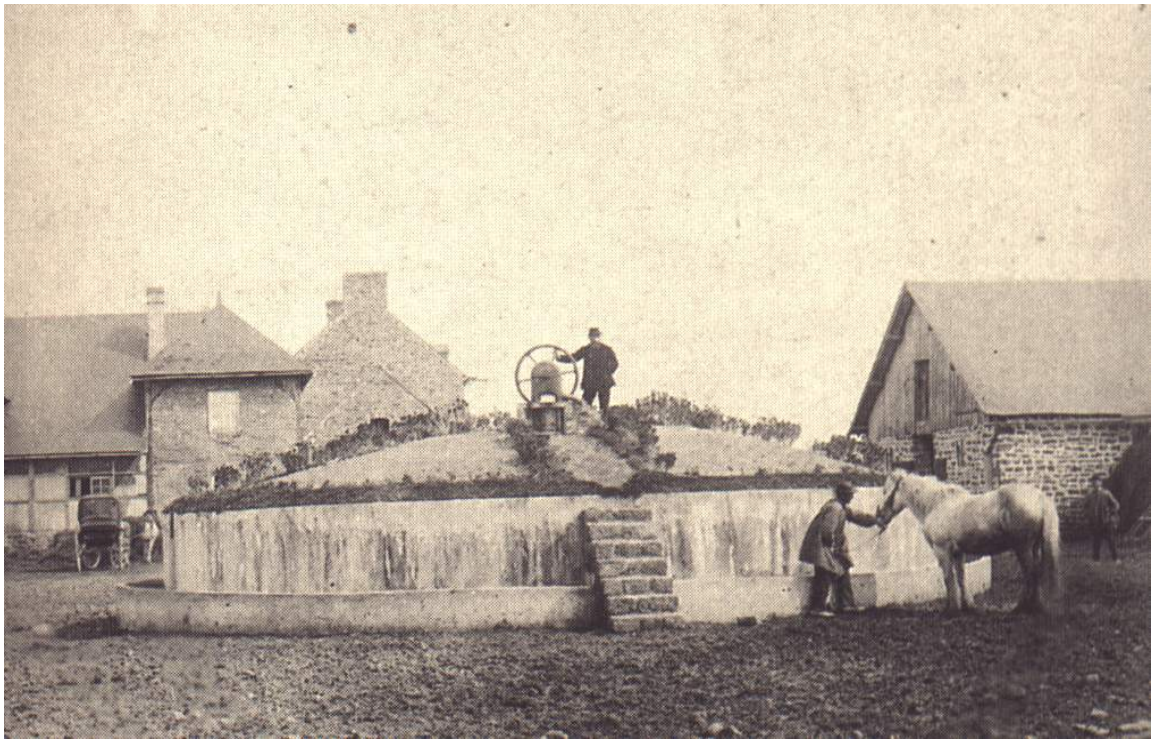


Figura 55. Depósito de agua de Bougival. Joseph Monier, constructor. 1872. Cortesía de Bernard Marrey.

En los cinco años siguientes realizaría un importante conjunto de instalaciones industriales para la fábrica del barón Springer en Maisons-Alfort. Entre ellas destacaba un depósito de 200 m^3 de capacidad. También construiría un *chateau d'eau* con dos depósitos en Pessac (cerca de Burdeos), una docena de depósitos menores para el hospital de Pontorson y otro depósito de 200 m^3 para la estación de Alençon[111].

La buena acogida de sus depósitos le movió a probar su invención en otras construcciones. En agosto de 1873 añadiría una nueva patente a su lista, esta vez por "*la construcción de puentes y pasarelas de todas dimensiones"*, que llevaría a la práctica por primera vez en el castillo de Chazelet (Benoît-di-Sault).

Para salvar un vano de unos quince metros de luz, Monier construyó hacia 1875 una pasarela formada por un tablero de losa continua apoyada sobre cuatro vigas de canto (con ligera curvatura). Se trata del primer puente de hormigón armado construido en el Mundo.



Figura 56: Pasarela del castillo de Chazelet (Benoît-di-Sault). Joseph Monier, constructor. 1875. Cortesía de Sid French.



Figura 57: Pasarela del castillo de Chazelet (Benoît-di-Sault). Vista inferior de vigas y tablero. Joseph Monier, constructor. 1875. Cortesia de Sid French.

En el castillo de Chazelet construyó además otro de sus depósitos, en este caso de unos seis metros de diámetro y con cubierta cónica.



Figura 58: Depósito de hormigón armado del Castillo de Chazelet (Francia). 1875. Joseph Monier, constructor. Cortesía de Sid French.

Se tiene constancia de dos puentes más construidos por Monier. De luces muy reducidas (ocho y cinco metros), los encargó en 1877 el conde de Faydeau[112].

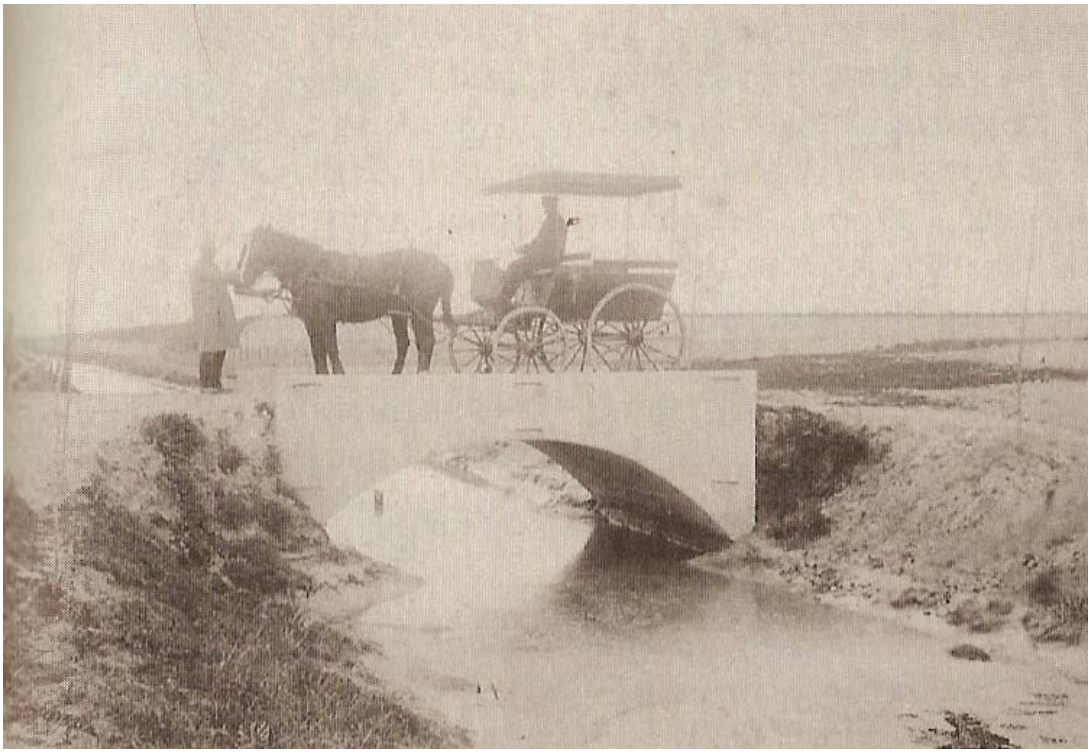


Figura 59: Puente sin identificar construido por Joseph Monier. Cortesía de Bernard Marrey

Paulatinamente iría incorporando aplicaciones cada vez más complejas de su invención. En 1875 registró una patente para la construcción de escaleras y en 1877 otra para la realización de traviesas; esta última la completó con una adición en 1878 para *"la construcción de vigas, viguetas para puentes y pasarelas de todas dimensiones"*[113] .

Sin embargo, todas ellas se habían formulado al margen de cualquier rigor técnico. Monier, huérfano de formación, había ido desarrollando su sistema constructivo sobre la marcha, de modo totalmente empírico Así, la disposición de las armaduras, más o menos racional para las paredes de los depósitos y las losas, en los elementos estructurales más complejos se complicaba sin llegar a ser coherente con los esfuerzos que estos debían soportar.

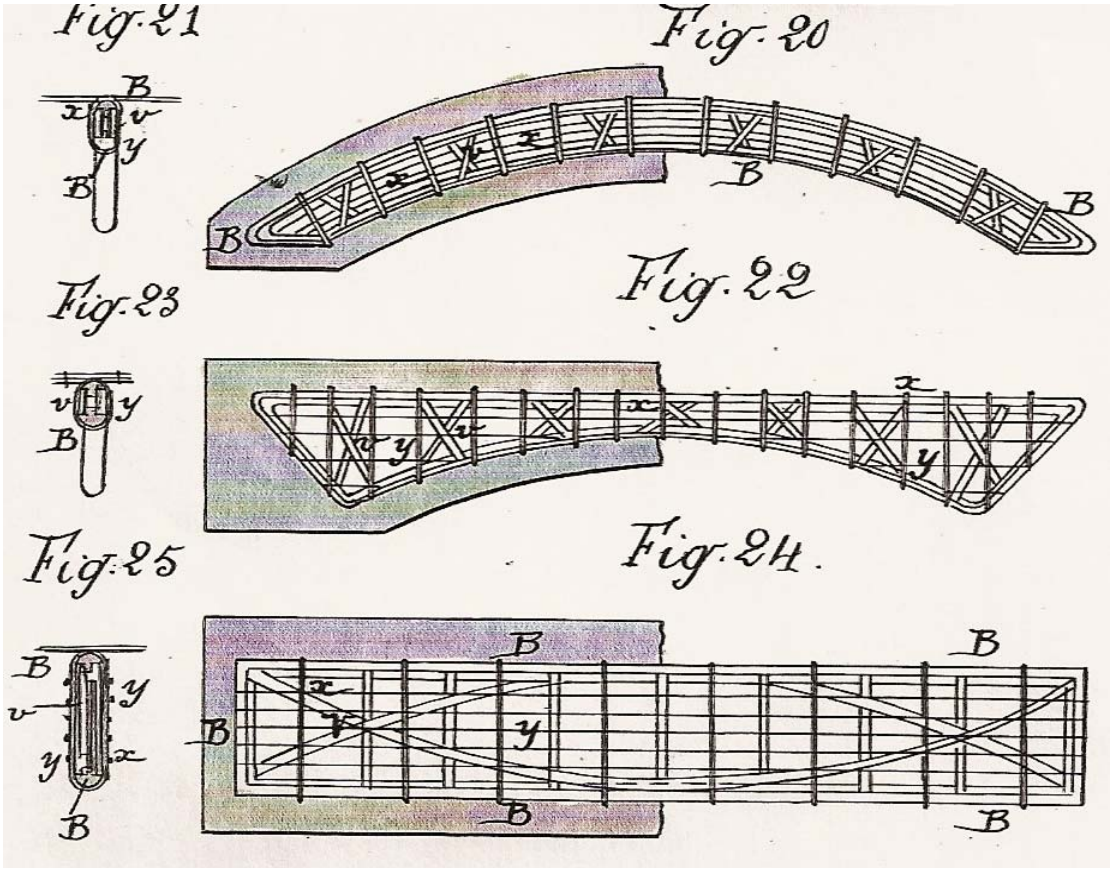


Figura 60. Vigas y viguetas para puentes Patente española de de Monier. 1884. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

Ello no sería obstáculo para que Monier continuara añadiendo más patentes, al tiempo que intentaba implantar su sistema fuera de Francia. En torno a 1880 registró las patentes de su cemento armado en Austria, Bélgica, Rusia y Alemania. En agosto de 1884 solicitaría en España una patente de invención por *"los perfeccionamientos introducidos en las traviesas de ferro-carriles, aplicables a los travesaños para formar los recipientes de todas clases, y a las construcciones en general de hierro y cemento"*, que sería completada con una adición (de agosto de 1886).

Sin embargo, Monier se deshizo rápidamente de estos derechos vendiéndolos, casi siempre de mala manera, a empresarios nacionales. Prefirió concentrarse en Francia,

reorganizando su empresa, que pasó a llamarse "*J. Monier constructeur*". Hacia 1885 tendría la oportunidad de realizar un encargo importantísimo por cuenta de la Compañía de aguas de París, la construcción *"sobre una de las colinas que dominan a Sevres de dos depósitos de un millón de litros de cabida cada uno, destinados al abastecimiento de aguas de aquella ciudad".* Los depósitos, con forma cilíndrica de 16 m de diámetro y cinco de altura, sorprendían por el pequeño grosor de sus paredes: *"en la parte inferior no excede de diez centímetros, y en la superior es de cuatro a cinco centímetros; a pesar de estos espesores inverosímiles, el constructor no duda de la solidez de sus depósitos, y la Compañía de Aguas que los ha hecho construir debe de abrigar sin duda la misma confianza"*[114].

Por entonces estaba decidido a apostar fuerte por la construcción de edificios. Con ese objetivo, depositó en 1886 una nueva patente, esta vez por *"un sistema de construcción de casas fijas o portátiles, higiénicas y económicas, en cemento y hierro"*[115].

En estas casas, los muros estaban *"compuestos de dos tabiques gemelos más o menos aproximados entre sí y arriostrados […] permitiendo al aire circular libremente por el interior, lo cual es mucho mejor bajo el punto de vista higiénico; la temperatura interior de las casas es siempre constante".*

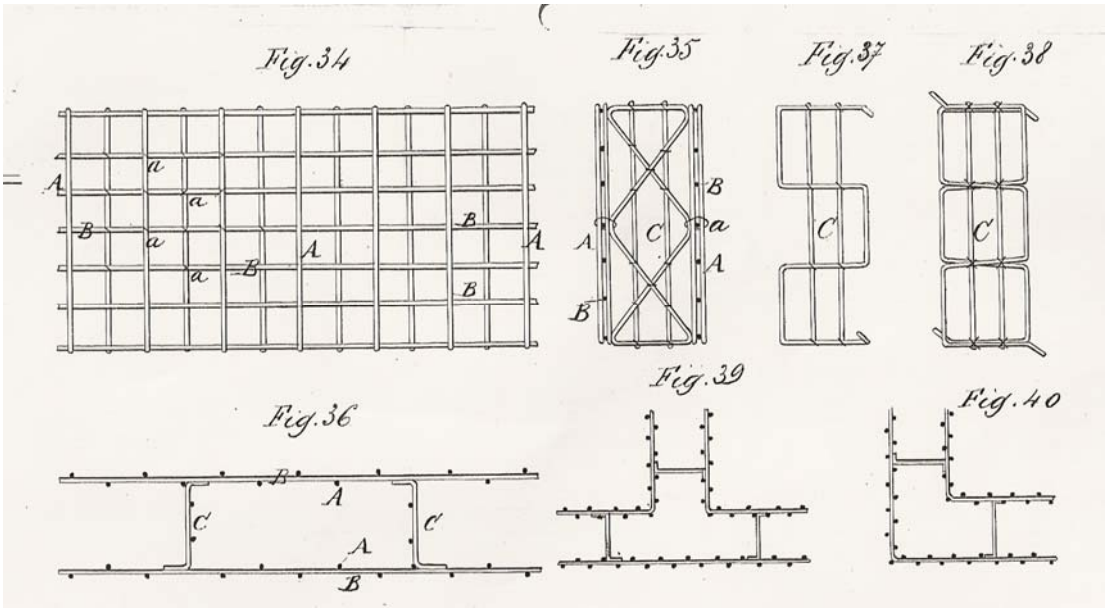


Figura 61. Elementos del sistema de Monier para la construcción de casas. Muros. Adición a la primera patente española. 1886. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

Para resolver los forjados proponía bloques o bovedillas fabricados con un armazón similar, que dispuestos horizontalmente podían "*reemplazar con ventaja los techos cimbrados o rectos descansando en carreras o viguetas de hierro o de madera. Su resistencia es mucho mayor que cualquier otro sistema de forjados de techos ya sean de ladrillo, yeso o cualquier otro material y permite reparar mucho mas las carreras o viguetas, con grande economía".*

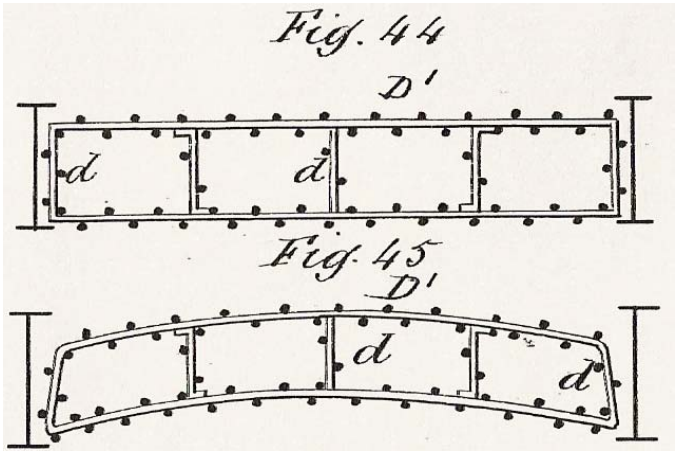


Figura 62. Elementos del sistema de Monier para la construcción de casas. Forjados. Adición a la primera patente española. 1886. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

Aunque desde el punto de vista estructural dejaba mucho que desear, su sistema incorporaba notables ventajas funcionales, que Monier no dejaba de resaltar:*" este sistema* [cemento armado] *puede aplicarse igualmente a la construcción de casas fijas o portátiles de todas las formas y dimensiones deseables. Estas construcciones reemplazan con gran ventaja bajo el punto de vista de la solidez, de la higiene y de la economía a todos los ejecutadas hasta el día por los medios usados, tales como la piedra, el ladrillo, la madera, el yeso, etc[…] Las casas construidas de este modo no temen ni a las inundaciones ni al fuego, todas las materias que la forman no toman la humedad y no se deterioran bajo la acción del calor"*[116].

Para demostrarlo, hizo construir en el patio de su fábrica un chalet que después demolería para mostrar la estructura. Sin embargo, tan considerable esfuerzo fue casi vano, porque no consiguió atraer más que un encargo, el de una vivienda en Niza, construida hacia 1887[117].

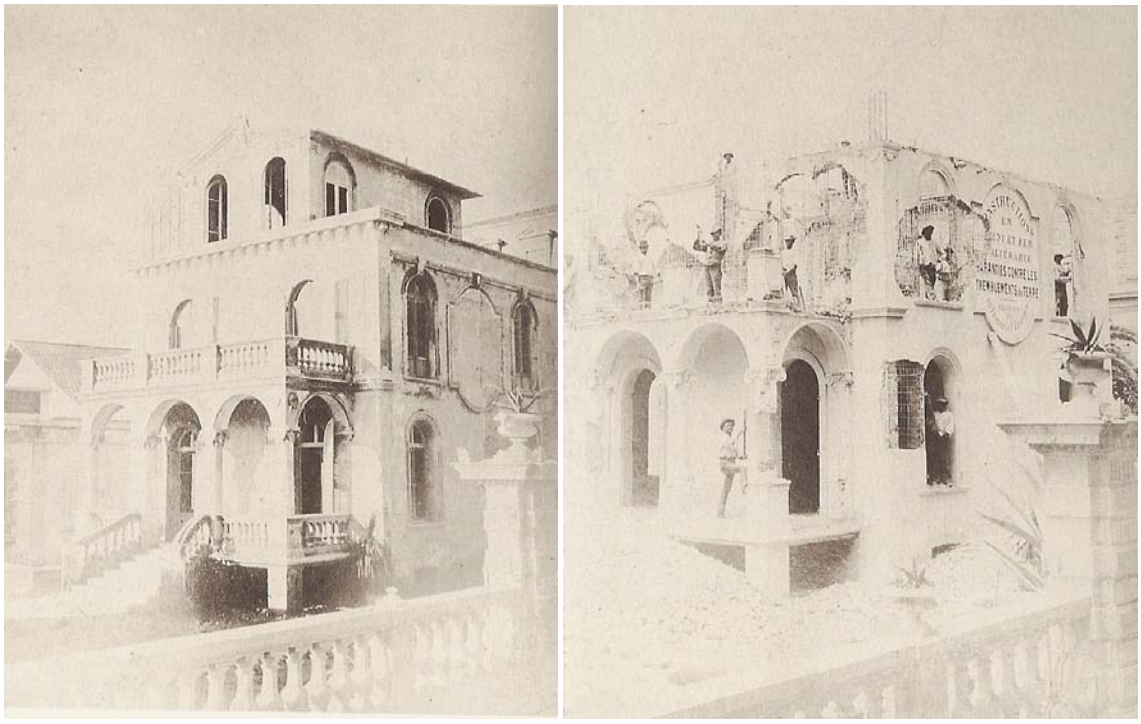


Figura 63. Edificio de propaganda construido por J. Monier en su fábrica de Paris. 1886. Cortesía de Bernard Marrey.

Todas las esperanzas depositadas por Monier en su sistema de construcción pronto se fueron al traste. En 1888 tuvo que hacer frente a la quiebra. Conseguiría rehacerse algunos años más tarde, creando una nueva empresa, "*Entreprise génerale de travaux en ciment J. Monier*", con la que llevaría a cabo su último trabajo, el depósito de agua de la Fundación Galliera en Clamart.

Sin embargo, tampoco le acompañó la fortuna en esta nueva andadura y tendría que pasar los últimos años de su vida en la miseria. En 1902 cinco sociedades que explotaban su sistema fuera de Francia se dirigieron al presidente de la República para que el Estado Francés acudiera en ayuda de *"su antiguo maestro"*. La petición que no fue atendida, cosa que aprovechó hábilmente la firma Hennebique, lanzando una llamada de ayuda desde su órgano de propaganda: *"considerando como una obligación fraternal prestarle el apoyo de su publicidad para dar a conocer una situación tan digna de ayuda".* Desde las páginas de su revista tomó la iniciativa de promover una suscripción pública en su socorro[118].

Joseph Monier falleció en 1906, a la edad de ochenta y tres años.

9. *Monierbau*, el desarrollo del hormigón armado en Alemania.

A todos los efectos las construcciones de Monier se pueden considerar las primeras de hormigón armado. El inteligente horticultor había descubierto el nuevo material, casi de modo fortuito, buscando algo con que hacer construcciones impermeables e inalterables en el tiempo.

Pero Monier no llegó a comprender verdaderamente cómo funcionaba estructuralmente. Empíricamente pudo comprobar que sus construcciones tenían una gran solidez, pero no sabía en qué se basaba. De este modo, la disposición de las armaduras, fundamental en el diseño de las piezas de hormigón armado, en sus construcciones no respondía a criterios racionales.

No obstante, el pleno desarrollo del hormigón armado iba a tener como punto de partida su sistema de construcciones de hierro y cemento. Aunque de ello no iba a ser responsable Monier, sino los técnicos y empresarios alemanes que compraron los derechos para su explotación en las Potencias Centrales. Estos impulsarían la investigación científica del nuevo material de construcción, haciéndolo evolucionar y ampliando sus posibilidades de aplicación.

En 1884 la empresa constuctora *Freytag y Heidschuch* compró a Monier los derechos para la explotación de sus patentes en toda Alemania del Sur, a excepción de Frankfurt-en-Main y sus alrededores. En esta ciudad la licencia había sido reservada por la casa *Haard, Martenstein y Josseaux.*

No tardarían en asociarse ambas empresas, reuniendo los derechos para toda Alemania. Un año después se asociaron con el ingeniero berlinés Gustaf Wayss, fundando la *Aktien Gesselschaft für Beton und Monierbau* (Sociedad Anónima de las construcciones de hormigón Monier).

Wayss pasaría el año siguiente estudiando el nuevo material, haciendo ensayos para comprobar su resistencia y otras características, como el comportamiento frente al fuego y las altas temperaturas o la adherencia entre el hormigón y el acero. Con ello pudo dejar sentados los principios fundamentales del comportamiento estructural del hormigón armado, el primero de los cuales que por la gran adherencia entre el hierro y el hormigón ambos trabajan de forma solidaria, constituyendo un único material[119].

En el conocimiento técnico del hormigón armado también realizaría una aportación fundamental el arquitecto e ingeniero Matthias Koenen, profesor en la Universidad de Berlín, quién por iniciativa de Wayss estudió el comportamiento de vigas y losas de hormigón armado. Koenen fijó algunos parámetros constitutivos del nuevo material, como los coeficientes de dilatación del acero y del hormigón. Pero, sobre todo, determinó claramente la asignación de esfuerzos dentro de las piezas (tracción para las armaduras, compresión para el hormigón). Sus trabajos fueron publicados en 1886 bajo el título de *Berechnung der Stärke der Monierschen Cementplatten* (Calculo de la resistencia de las vigas de cemento Monier)[120].

Los trabajos de ambos técnicos serían publicados de forma conjunta un año después en *Das system Monier* (El sistema Monier). Este libro, el primer tratado técnico de construcción con hormigón armado, incluía además indicaciones prácticas para la ejecución de obras.

Con todo, la base del sistema la constituían los elementos tipo losa o tabique planteados por Joseph Monier.

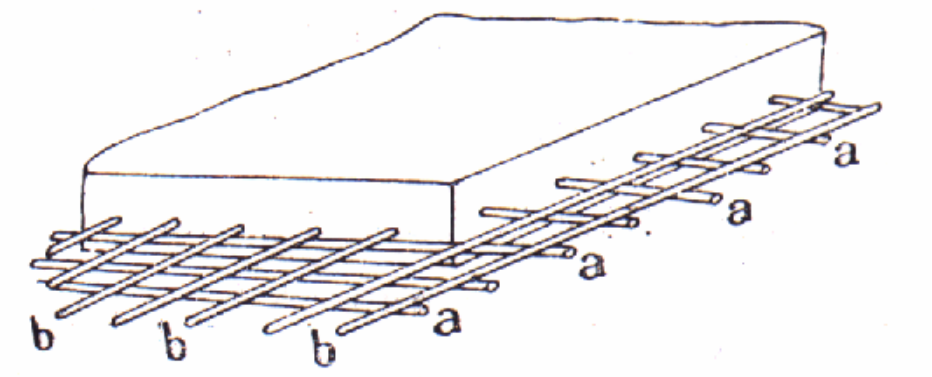


Figura 64. Esquema básico del sistema Monier de hormigón armado, desarrollado en Alemania.

Se distinguían dos series de barras, que se cruzaban ortogonalmente formando una malla. Las barras de resistencia (serie a) servían para soportar los esfuerzos; se colocaban en el sentido de la luz de la pieza y tenían diámetro variable en función de las cargas. Las barras de reparto (serie b), de menor diámetro, servían para distribuir los esfuerzos entre las barras de resistencia. Ambas series, de barras redondas, se ataban con alambres[121].

Apoyado ya sobre una sólida base científica, el hormigón armado iba a tener en los años siguientes un desarrollo extraordinario en Europa Central. La empresa de Wayss y Freytag, cuya dirección técnica fue inmediatamente asumida por Koenen, no tardaría en capitalizar el importante esfuerzo de investigación que había realizado. Sus construcciones se contarían por cientos, popularizándose de tal modo que al hormigón armado se le conocería en Alemania como *Monierbau* (construcciones Monier).

A finales del siglo XIX, la sucursal vienesa se emnaciparía, colocándose el propio Wayss al frente. Por su parte, Koenen seguiría dirigiendo la empresa alemana[122].

El conocimiento técnico del nuevo material permitió la realización desde el primer momento de construcciones muy atrevidas, incluso *"con cierta osadía, sobre todo si se las compara con las otras fábricas a las que venía a sustituir"*[123].

Sus aplicaciones más numerosas fueron los puentes. Llama la atención la cifra de los que la empresa de Wayss y Freitag construyó entre 1887 y 1899: trescientos veinte, distribuidos por toda Alemania y el Imperio Austro-húngaro[124].

En los primitivos, la solución estructural adoptada era la de simple tablero de viguetas metálicas construido como un forjado ordinario. Por ejemplo, así se hizo, en 1887, el del río Lahn en Wetzlar[125].

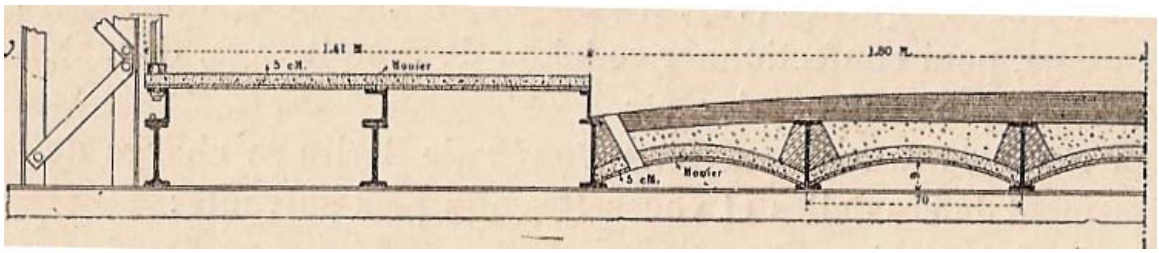


Figura 65. Tablero del puente de carretera sobre el río Lahn en Wetzlar, Prusia Oriental. 1887. Sociedad de construcciones Monier, empresa constructora. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Pero no tardarían los ténicos de Ways y Freytag en desarrollar los puentes en arco, que se convertiría en la tipología característica del sistema Monier.

Su aplicación en pasarelas ofreció desde el primer momento resultados espectaculares. De 1890 data la pasarela de la Exposición de Bremen, una bóveda muy delgada de cuarenta metros de luz, que fue construida en apenas treinta y seis horas



Figura 66. Pasarela de la Exposición de Bremen, arco de hormigón armado de 40 m de luz. 1890. M. Koenen, ingeniero. Sociedad de construcciones Monier, empresa constructora. Cortesía de Bernard Marrey.

En 1891 realizaron otra ligera pasarela peatonal sobre la línea de ferrocarril de Saarbrücken a Nenunkirchen. Tenía quince metros de luz[126].



Figura 67. Paso superior sobre la línea de ferrocarril de Saarbrücken a Neunkirchen. 1891. Sociedad de construcciones Monier, empresa constructora. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

En cuanto a los puentes propiamente dichos, aunque ya en una de sus primeras realizaciones, el puente de Wildegg en Suiza, se superaron los treinta y cinco metros de luz, las luces oscilaban entre veinte y treinta metros. Por ejemplo, el de la carretera de Ebhausen en Wurtenberg, construido en 1891, tenía veinte metros de luz.

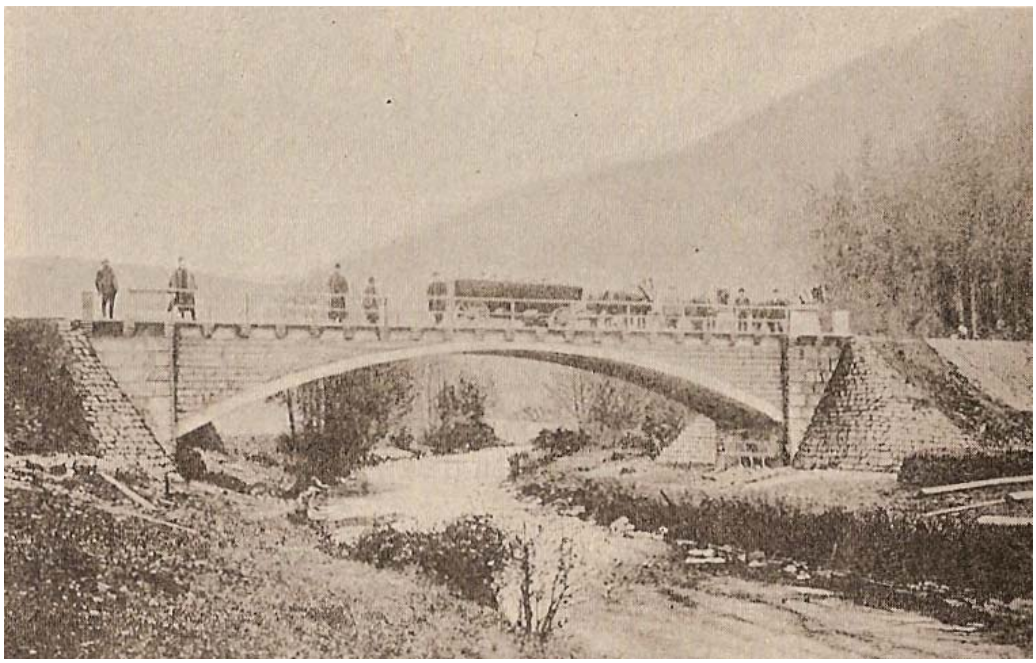


Figura 68. Puente de la carretera de Ebhausen en Wurtenberg. 1891. Sociedad de construcciones Monier, empresa constructora. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

La solución habitual, que llegó a ser típica, consistía en un único arco, empotrado en los estribos, formado por una losa delgada de hormigón armado de anchura igual al tablero.

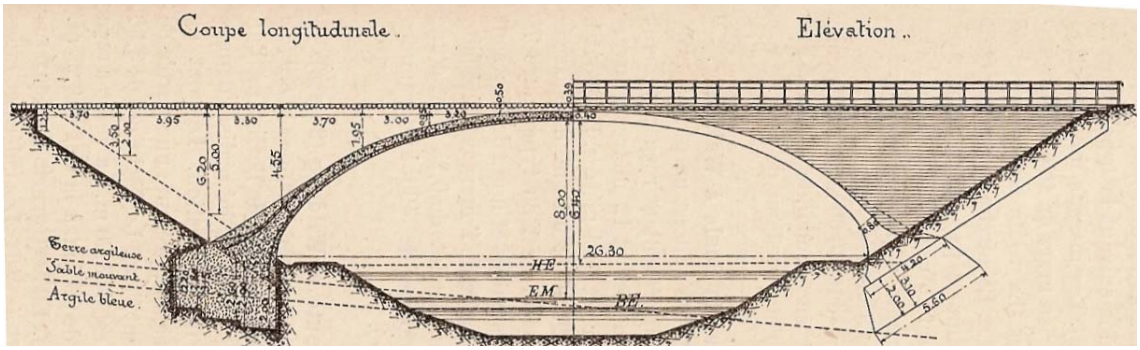


Figura 69. Puente sobre el canal de Oberland en Draulitten (Alemania). 1891. Sociedad de construcciones Monier, empresa constructora. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Más adelante extenderían la aplicación del hormigón armado a los puentes rectos, como el paso superior sobre el ferrocarril en Grimmelfingen (Alemania) y el de Krapina (Croacia). Este último sería construido en 1900 por la casa de Viena. Tenía veinte metros de luz.





Figuras 70 y 71: Arriba, paso superior en Grimmelfingen (Ulm, Alemania); abajo, puente de Krapina (Croacia). Hacia 1900. Sociedad de construcciones Monier; y Wayss, empresas constructoras. En Mörsch, *Le béton armé.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Wayss y Freytag encontraron también para el *Monierbau* muy variadas utilizaciones en otros campos de la ingeniería civil: muros de revestimiento de canales, como los del canal del Spree en Berlín (1890) o el del Lange Brücke en Dantzig (1895); tuberías de abastecimiento y saneamiento de poblaciones (Offenbach); depósitos (Deuben) e instalaciones industriales (torre de depósitos para la fábrica de gas de Charlotenburgo).

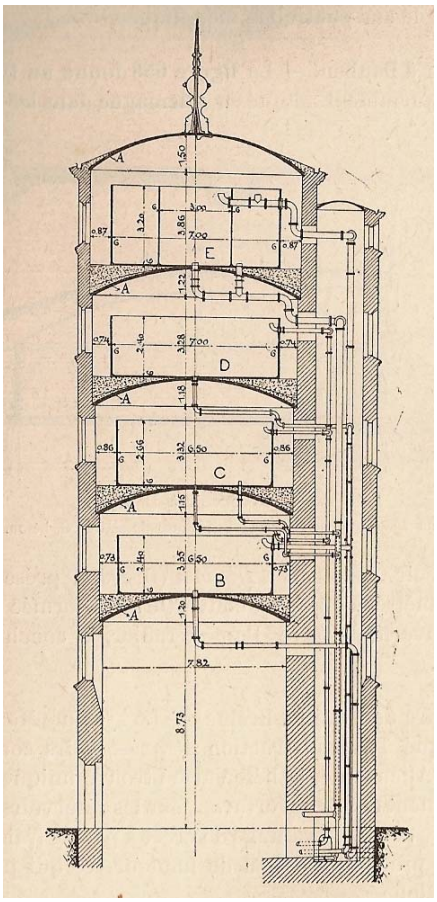


Figura 72. Torrre con cuatro depósitos de Charlottemburgo. Hacia 1890. Sociedad de construcciones Monier, empresa constructora. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

La actividad en edificación también fue muy importante, con numerosas y variadas construcciones. Los técnicos de Wayss y Freytag desarrollaron un sistema constructivo racional y sencillo de ejecutar, a diferencia del concebido por el inventor del sistema. Para empezar, los forjados se formaban por losas de hormigón armado apoyadas sobre viguetas metálicas.

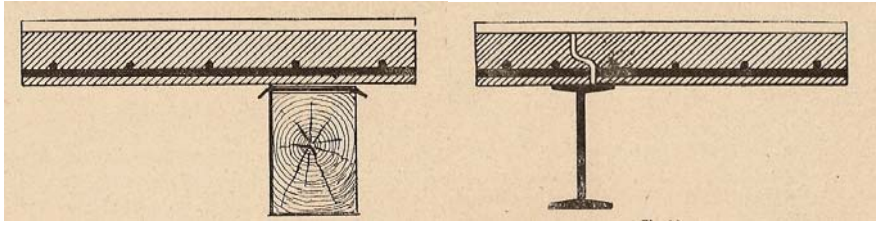


Figura 73. Configuración básica de los forjados desarrollada por la Sociedad de Construcciones Monier. En Rosenberg, *Los diversos sistemas de construcciones de cemento armado..*

También diseñaron forjados con bóvedas, apoyadas asimismo sobre viguetas, aunque mucho más separadas que en el caso de los forjados planos. Con estas bóvedas se resolvieron

los pisos y la cubierta de los Almacenes de Trieste, que representaron un total de 260.000 m^2 de forjados[127].

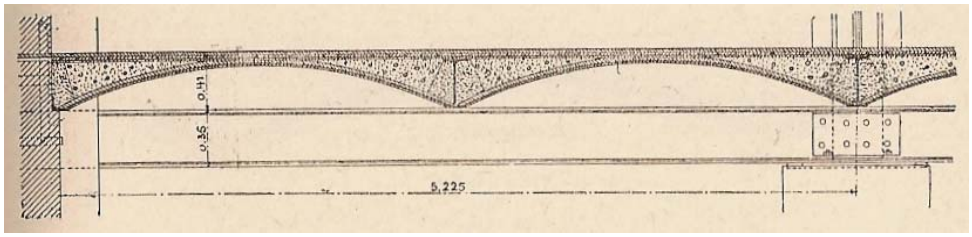


Figura 74. Forjados de los Almacenes de Trieste. Hacia 1890. Sociedad de Construcciones Monier, empresa constructora. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Con bóvedas de seis metros de luz, apoyadas sobe pilares metálicos, se resolvieron los pisos del gran edificio de la Administración Colonial en Camerún. Fue construido en 1891.

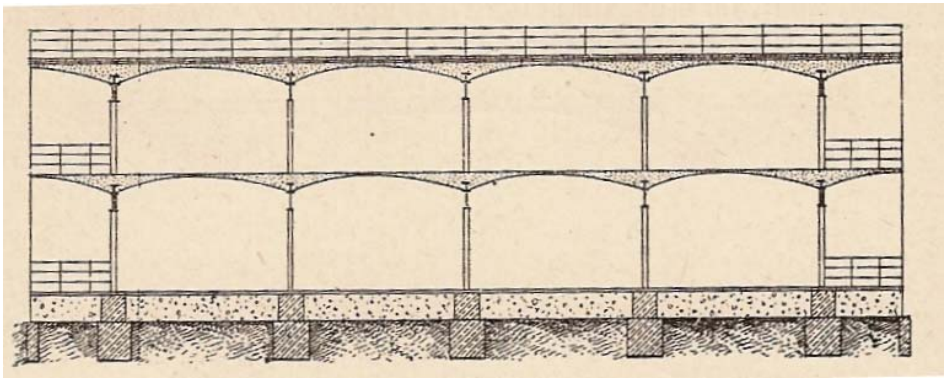


Figura 75. Edificio de la Administración Colonial alemana en Camerún. 1891. Sociedad de Construcciones Monier, empresa constructora. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Inicialmente sus construcciones tenían bastante elementos metálicos (vigas, viguetas pilares) pero paulatinamente fueron evolucionando hasta formar conjuntos monolíticos con todas sus piezas de hormigón armado. Se empezó a utilizar en edificios industriales, como las fábricas de hilaturas de Spire (Alemania) y Tammenfors (Finlandia), o los almacenes de la dirección de los Ferrocarriles Prusianos en Opladen[128].

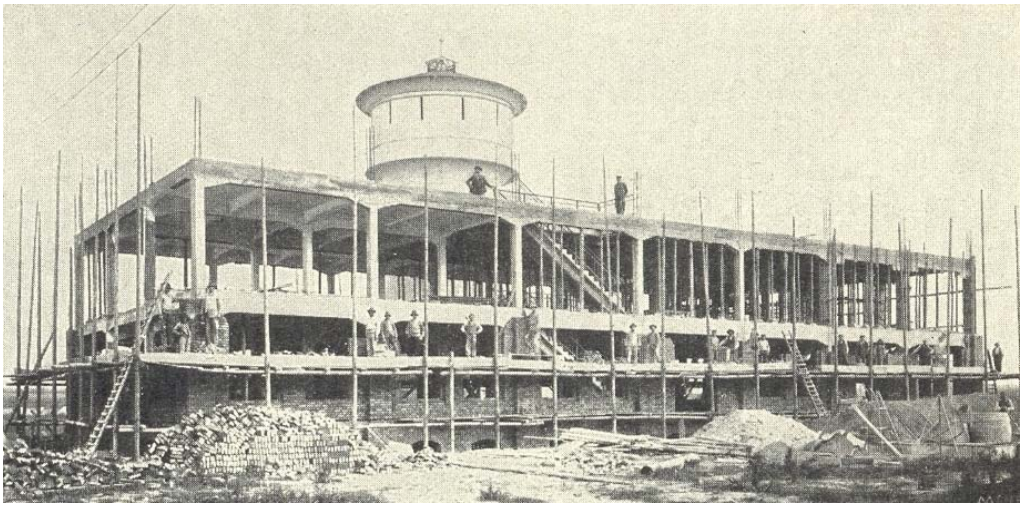


Figura 76. Edificio de la dirección de los Ferrcarriles Prusianos en Opladen. 1895. Sociedad de Construcciones Monier, empresa constructora. En Mörsch, *Le béton armé*. Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Ciertos edificios públicos también empezaron a incorporar los entramados estructurales de hormigón armado. Como más significativos podrían citarse los Almacenes Tietz de Munich, cuyos forjados se formaban con losas de hormigón armado sobre jácenas descolgadas de aproximadamente cinco metros de luz. El proyecto de este edificio lo llevaron a cabo los arquitectos Helmann y Titmann

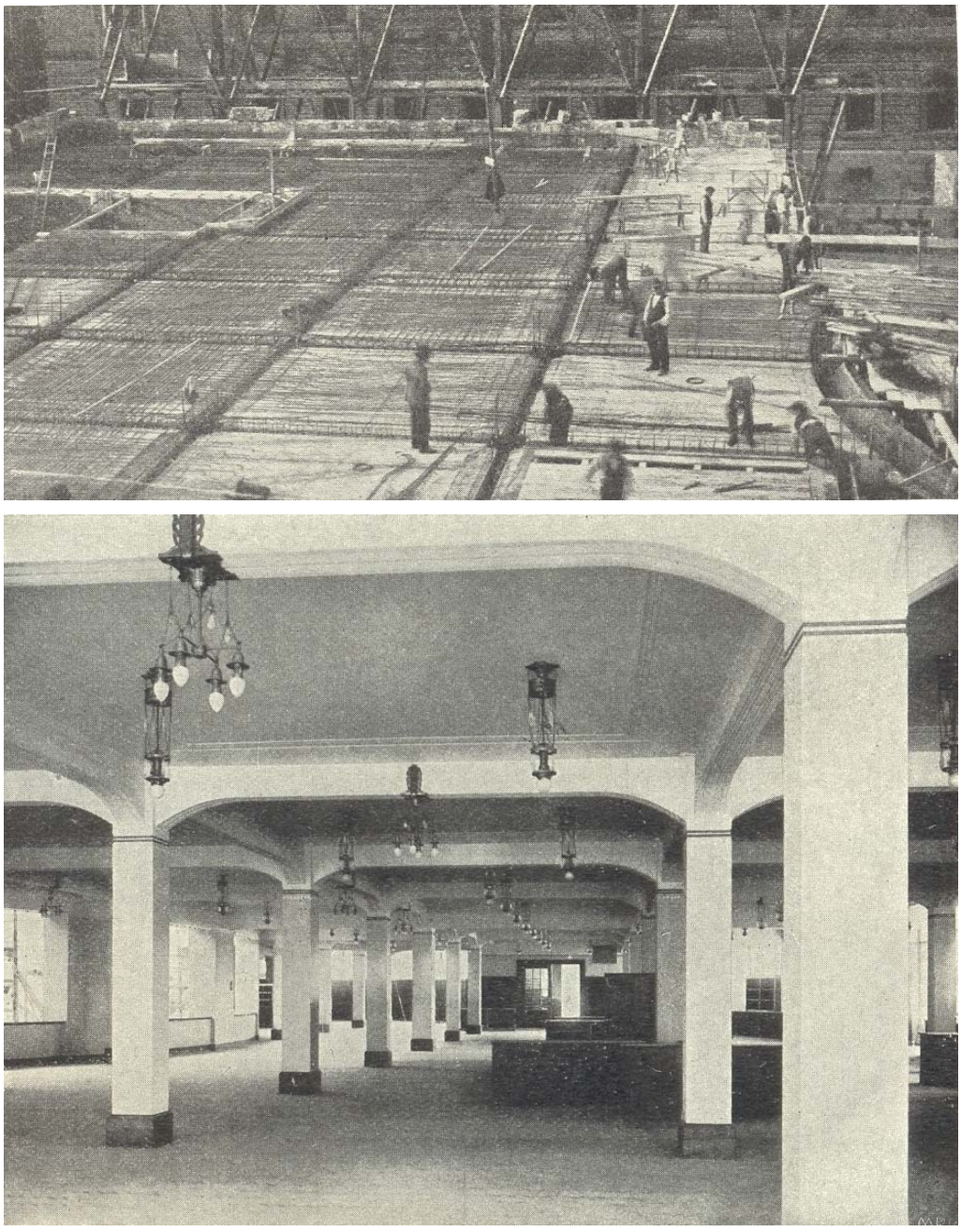


Figura 77. Almacenes Tietz de Munich. Helmann y Titmann, arquitectos. Hacia 1900. Arriba, ejecución de los forjados. Abajo, estructura terminada. En Morsch, *Le béton armé.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos.

Elementos muy destacados de su producción arquitectónica fueron las bóvedas y cúpulas. Entre estas últimas destaca la del Mausoleo del Emperador Federico III de Prusia en Postdam, terminada en 1889, que se resolvió con dos delgados casquetes de hormigón armado, el exterior la cúpula propiamente dicha y el interior sirviendo de falso techo[129].

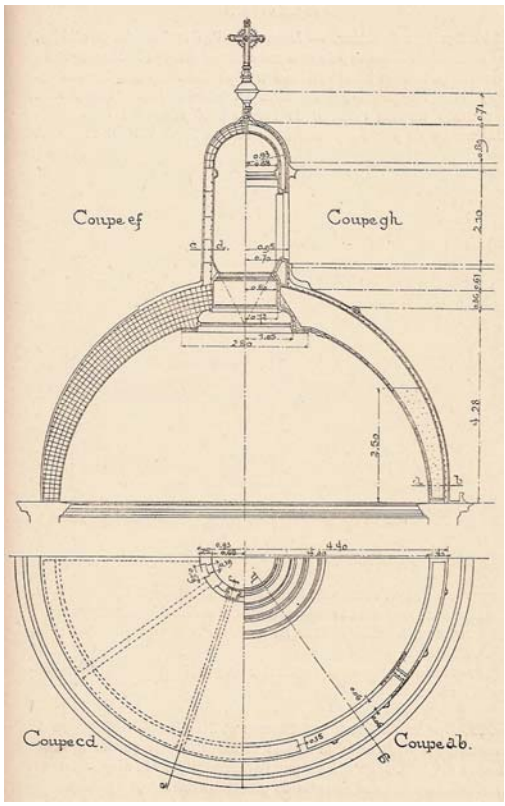


Figura 78. Estructura de la cúpula del Mausoleo de Federico III en Postdam. 1889. Sociedad de Construcciones Monier, empresa constructora. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Por el cambio de siglo estaban ya preparados para construir bóvedas grandiosas como las de la iglesia de San José en Würzburgo (veinte metros de luz), la sala de gimnasia de la Gotzingerplatz en Munich o las de la nueva Estación Central de Nürenberg[130].

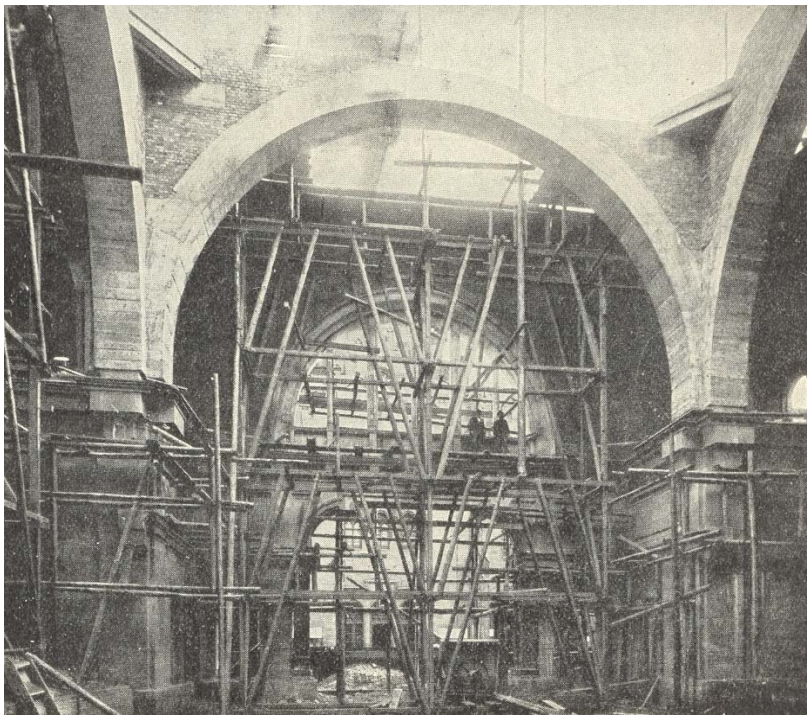


Figura 79. Arcos de hormigón armado de una de las cúpulas de la Estación Central de Nuremberg. 1900. Sociedad de Construcciones Monier, empresa constructora. En Morsch, *Le béton armé.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos.

10. La fiebre del hormigón armado a finales del siglo XIX.

A finales del siglo XIX las construcciones de hormigón armado empezaron a tener una resonancia extraordinaria. Constantemente se planteaban nuevas aplicaciones, que en muchos casos venían a resolver viejos problemas constructivos.

En la confusión de esta fase embrionaria, con el nuevo material aún sin definir técnicamente, un desbordante flujo de nuevos sistemas constructivos de hormigón armado haría su aparición en los países más desarrollados de Europa

La mayoría de las veces, las iniciativas provendrían de empresarios de la construcción. Algunos contratistas que ya tenían experiencia con obras de hormigón idearon algún procedimiento para no quedarse atrás en el floreciente mercado que se auguraba para el nuevo material. Otros, viendo oportunidad de hacer negocio, se sumaron rápidamente a la carrera por registrar una patente.

No obstante, también hubo técnicos que intentaron desarrollar su propio procedimiento a partir de una base racional, intentando después introducirse en el mercado.

El ingeniero español Juan Manuel de Zafra retrataría poco tiempo después esta etapa en la evolución del nuevo material: *"se multiplican las pseudo invenciones, brotan los llamados sistemas, variantes todos, racionales algunos, infantiles o disparatados otros, de la única idea fundamental de poner armadura donde el hormigón la necesita. En la competencia industrial que se desarrolla, las patentes no son de invención, sino de corso, para poder cada uno, por variar la posición de un alambre, o cosa por el estilo, bautizar con su nombre un sistema y espigar en el campo sin ser molestado por los demás"* [131].

Muchos de los nuevos sistemas surgieron como una alternativa, más sólida y resistente al fuego, a los forjados de edificación tradicionales. Algunos extendieron después su campo de aplicación al resto de elementos estructurales arquitectónicos. Otros, en cambio, estuvieron desde el principio específicamente orientados a construcciones de ingeniería civil.

Al hierro le quedaba poco tiempo como principal protagonista de la construcción. El hormigón armado se iba a extender rápidamente por todos los países, pero sería en Francia y Alemania donde lo hiciera con mayor intensidad.

10.1. Proliferación de sistemas en Francia.

En la década de los 1890 se vivió en Francia una verdadera "fiebre" del hormigón armado. El éxito que las construcciones de Monier estaban teniendo en Alemania no podía dejar de llamar inevitablemente la atención en el país donde primero había surgido la idea. Por otro lado, la República Francesa vivía de nuevo momentos de expansión, ofreciéndose numerosas oportunidades para la construcción. Así las cosas, no tardarían en multiplicarse las iniciativas para utilizar el hormigón armado en la ingente cantidad de obras que se preveía realizar.

Después del de Monier, el sistema más antiguo fue el *sidéro-ciment* de Jean Bordenave. A principios de los ochenta este constructor de París diseñó un sistema de tuberías de hormigón armado, que aplicaría por primera vez en la traída de agua potable para Venecia, de 6,50 km longitud[132]. En 1886 patentó sus tuberías, cuya armadura se formaba con perfiles de acero de sección en doble T encorvados a máquina para formar una hélice "cuyo paso estaba en proporción con la resistencia que debía tener, y cuyas espiras se enlazaban unas con otras según las generatrices y se ligaban en los puntos de intersección con las espiras.

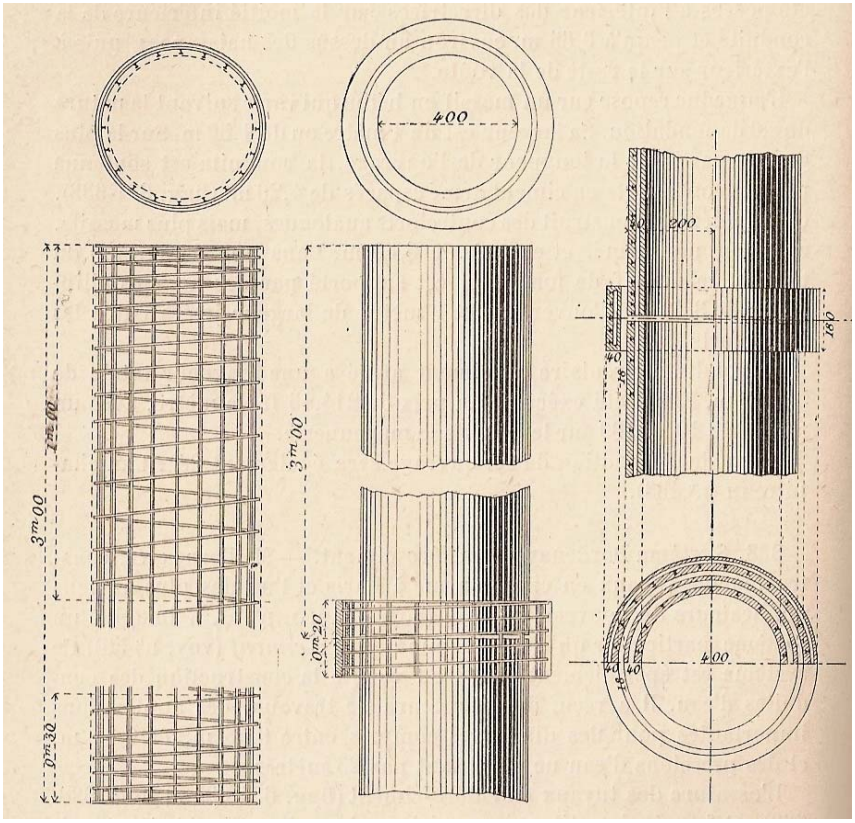


Figura 80. Tuberías de *sidero-ciment*, sistema de hormigón armado inventado por Jean Bordenave. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

La citada conducción de Venecia fue la aplicación más antigua del *sidero-cemento.* Después (1893) realizaría cinco sifones, con una longitud total de 5400m, para la conducción de agua potable a la ciudad argelina de Bona. En 1896 construyó otra conducción de 25 km para la conducción de aguas a Hipona.

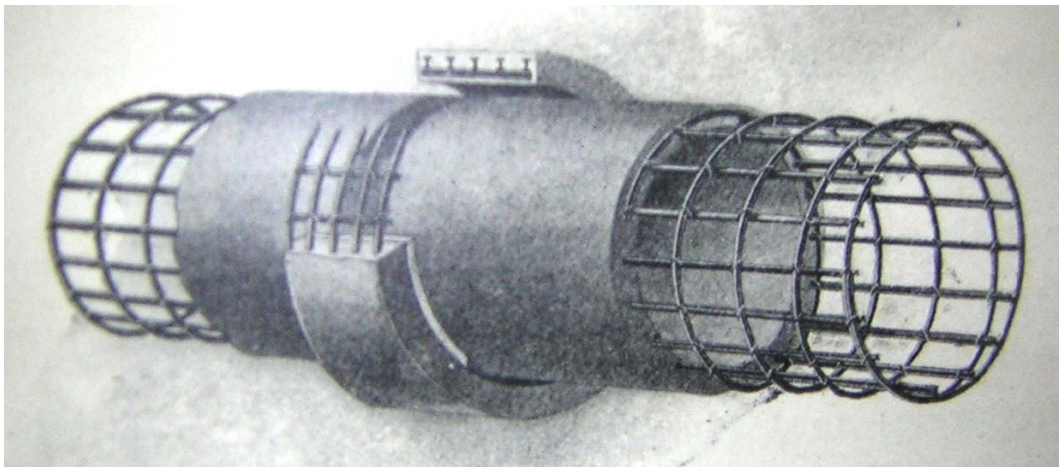


Figura 81. Tuberías de *sidero-ciment*. Jean Bordenave, constructor. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

El sistema también se podía aplicar a la construcción de depósitos. La armadura de llas paredes se calculaba como si fueran tubos de gran díámetro. El zampeado o solera de fondo se resolvía con una losa e hormigón con una cuadrícula de mallas siempre rectangulares, aunque el depósito fuera redondo[133].

De esta forma se construyó en 1892 un depósito cilíndrico de 300 m^3 de capacidad para la compañía de aguas de Boulogne-sur-Seine[134].

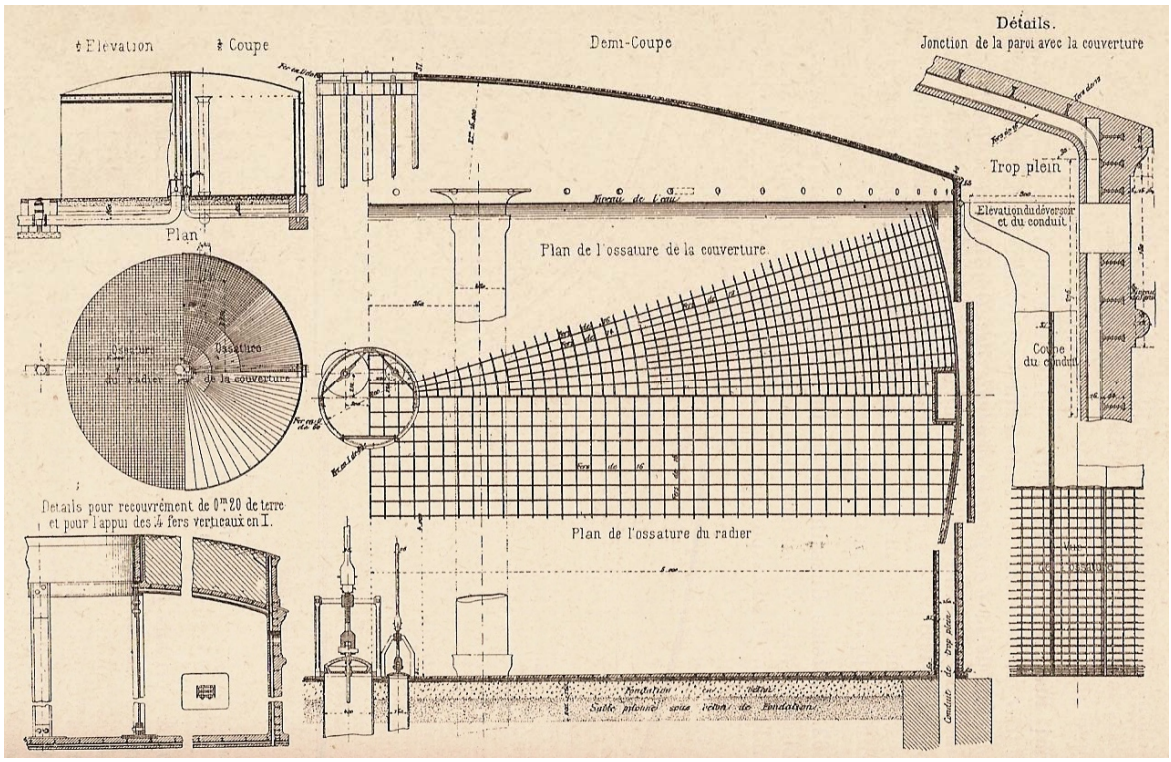


Figura 82. Depósito de Boulogne-sur-Seine. 1892. Jean Bordenave, constructor. En Cristophe, *Le béton armé et ses aplications.*

A finales de los ochenta el ingeniero de Artes y Manufacturas Paul Cottancin patentó un sistema de fabricación de *"objetos plásticos de cualquiera calidad, cuyas paredes encierran uno o varios armazones metálicos formados por un enrejado de alambres tejidos o placas perforadas*

de forma y dimensiones variables". Expresamente podía aplicarse en *"balaustres, empalizadas, cartelas, aleros, tubos y en la confección de grandes depósitos de cemento"*, además de en *"cloacas, túneles, bóvedas, tejados, cornisas, frisos, etc"*[135].

Pero no sería en la fabricación industrial de objetos de hormigón donde su sistema tendría hallaría mayor aplicación, sino en la construcción de edificios. Cottancin lo presentó en 1889 ante la Sociedad de Ingenieros Civiles de Francia como un sistema de "*construcciones de cemento con osatura metálica"*[136], aunque no se tiene noticia de su utilización hasta algunos años más tarde, en 1893, cuando el arquitecto Anatole Baudot lo empleara para construir un hotel -vivienda particular- en la calle Pomereu de París. Se trata, posiblemente, del primer edificio de hormigón armado hecho en Francia[137]. Con esta obra comenzó una fecunda colaboración entre ambos técnicos, de la que resultarían edificios tan notables como la original iglesia de *Saint Jean de Montmartre*, construida entre 1894 y 1904.



Figura 83. Iglesia de *Saint Jean de Montmartre*. Paris, 1904. Anatole Baudot, arquitecto.

El sistema de Cottancin hizo relativa buena fortuna, aunque partía de un principio equivocado, ya que no contemplaba la adherencia entre el hormigón y las piezas de hierro, que para él era *"una fuerza difícil de calcular, con grandes variaciones según cada caso y que pierde su intensidad con el tiempo, puesto que es un esfuerzo de tracción sobre el cemento, que es un material que no resiste a tracción".* En su lugar proponía utilizar mallas de acero continuas, replegadas sobre sí mismas, que se oponían *"al deslizamiento de los sólidos bajo la acción de fuerzas exteriores, sin necesidad de hacer intervenir fuerzas adhesivas que debiliten la resistencia de los sólidos aprisionados por las mallas; lo que permite a estos sólidos no tener que*

resistir más que los esfuerzos de compresión, que son los únicos que estos cuerpos resisten bien"[138].

Por tanto, su sistema estaba concebido principalmente para elementos superficiales, losas o placas que se reforzaban con enrevesadas celosías, cadenas continuas formadas con barras o alambres que se doblaba repetidas veces sobre sí mismo.

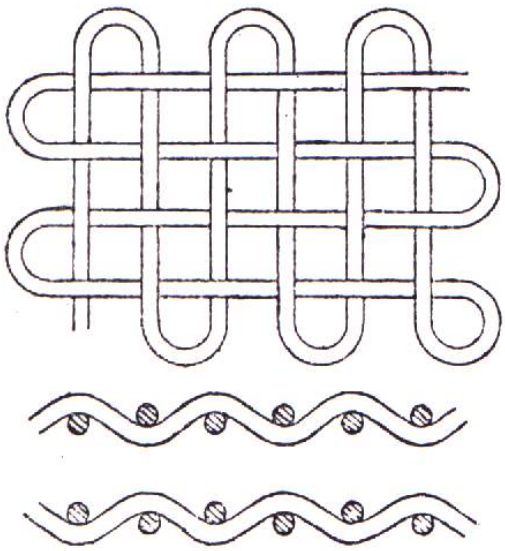


Figura 84. Mallas de celosía para losas de hormigón armado sistema Cottancin.

Esta armadura, ya de por sí dificultosa para los aplicaciones habituales, podía complicarse ampliamente en casos particulares.

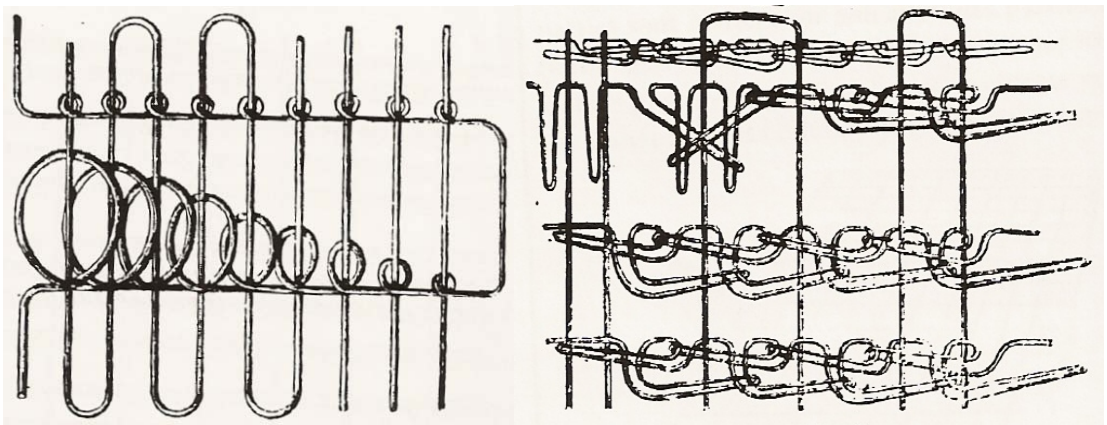


Figura 85. Mallas de celosía para losas de hormigón armado sistema Cottancin. Configuraciones especiales. Biblithèque Nationale de France.

A mayor abundamiento, en los forjados de grandes luces estas placas se reforzaban haciéndolas más rígidas con unos nervios a los que su inventor llamó *épines-contreforts* (espinas-contrafuertes).

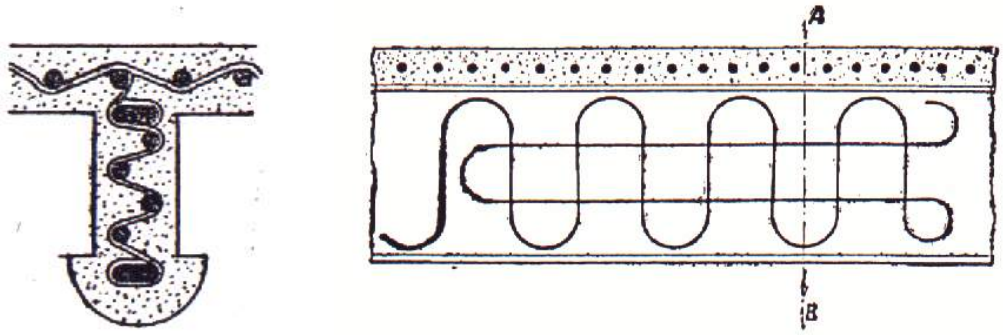


Figura 86. Nervios o *épines- contreforts*, sistema Cottancin de hormigón armado. En la *Revista de Obras Públicas.*

De esta forma, según su publicidad, conseguía que sus construcciones tuvieran *"alrededor del doble de resistencia que todas las demás"*, pero la ejecución debió resultar complicadísima. A pesar de todo, Cottancin colaboró con distintos arquitectos en construcciones muy variadas. Por ejemplo, en París construyó la Escuela Parroquial de la calle Bobilot (arquitecto Leduc) y un edificio de oficinas en la *rue de Petites-Ecuries* (arquitecto Farochon); en Estrasburgo, la sala de Fiestas del *café du Globe*; y en Túnez, el instituto *la Nouvelle Sadikia* y la casa de campo de *Chaouat* (arquitecto Chabal).

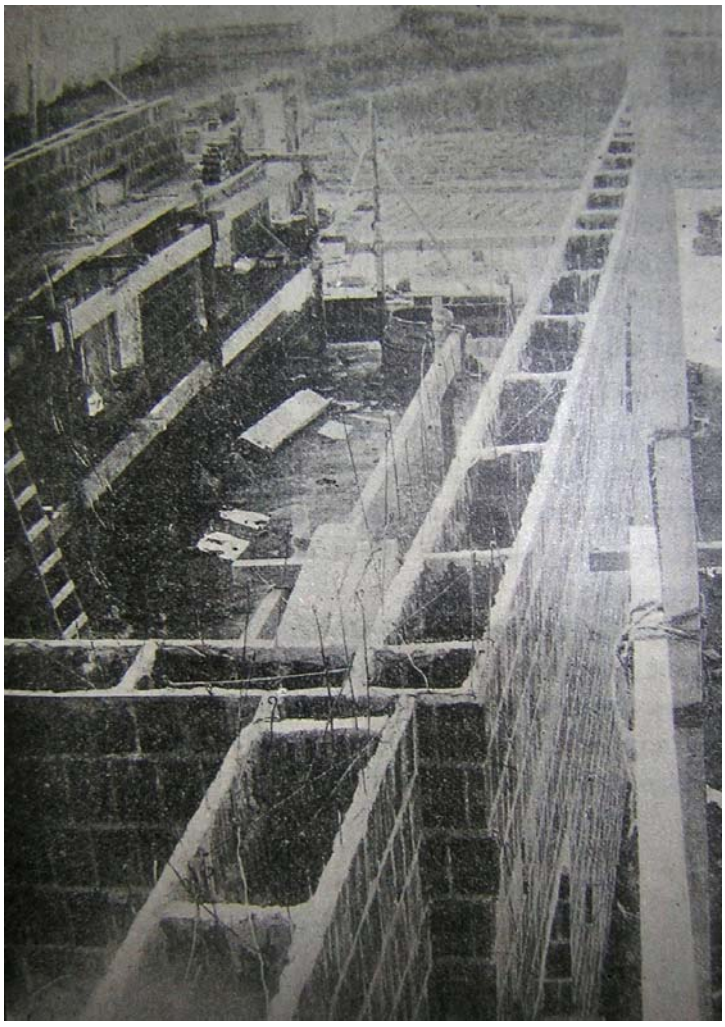


Figura 87. Disposición constructiva de los muros del sistema Cottancin. La Sadikia (Túnez). Maillet, arquitecto. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

A ellos habría que sumar un lavadero público en Juilly (Seine et Marne)[139] y varios depósitos e instalaciones industriales, como los forjados de la fábrica Schweitzer[140], diseñados para soportar una sobrecarga de 1000 Kg/m^2.

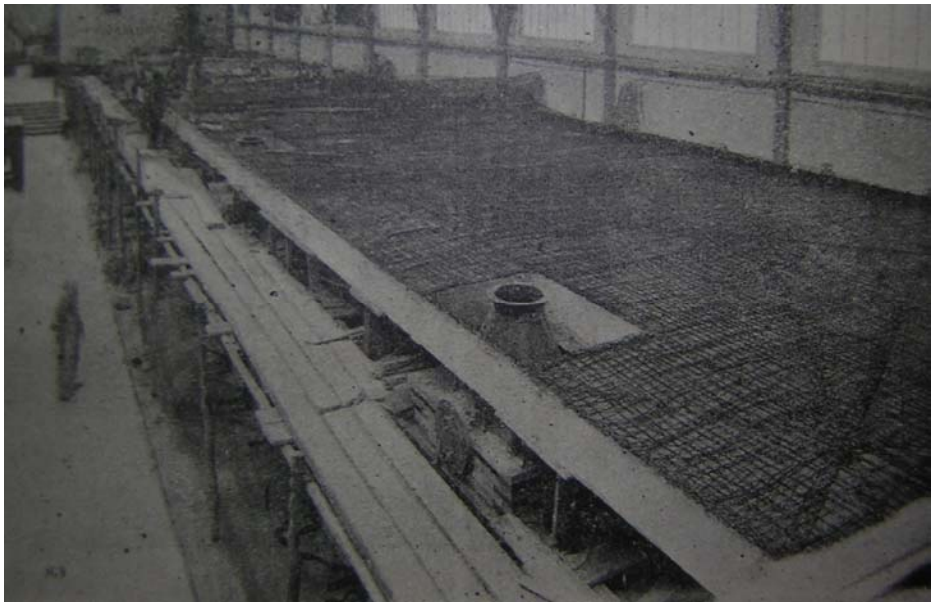


Figura 88. Forjados de la fábrica Schweitzer. Hacia 1900. Paul Cottancin, constructor. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Característica del sistema Cottancin fue su solución para las cubiertas, formadas con una retícula de nervios en diagonal. Esta disposición fue adoptada, por ejemplo, en la fábrica de los hermanos Plé, en Paris[141].



Figura 89. Fábrica de Plé Frères. Hacia 1900. Paul Cottancin, constructor. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Su actividad más importante sería precisamente la construcción de forjados y cubiertas de edificios de París, como los del Hotel Ritz en la plaza Vendôme, o los del Liceo Victor Hugo. Estos últimos fueron un encargo de su principal valedor, el arquitecto Baudot, con el que construiría también una gran fábrica de hilaturas en los alrededores de Reims. Otra de sus más destacadas intervenciones la llevaría a cabo en el Seminario de comunes de Orfrasière.

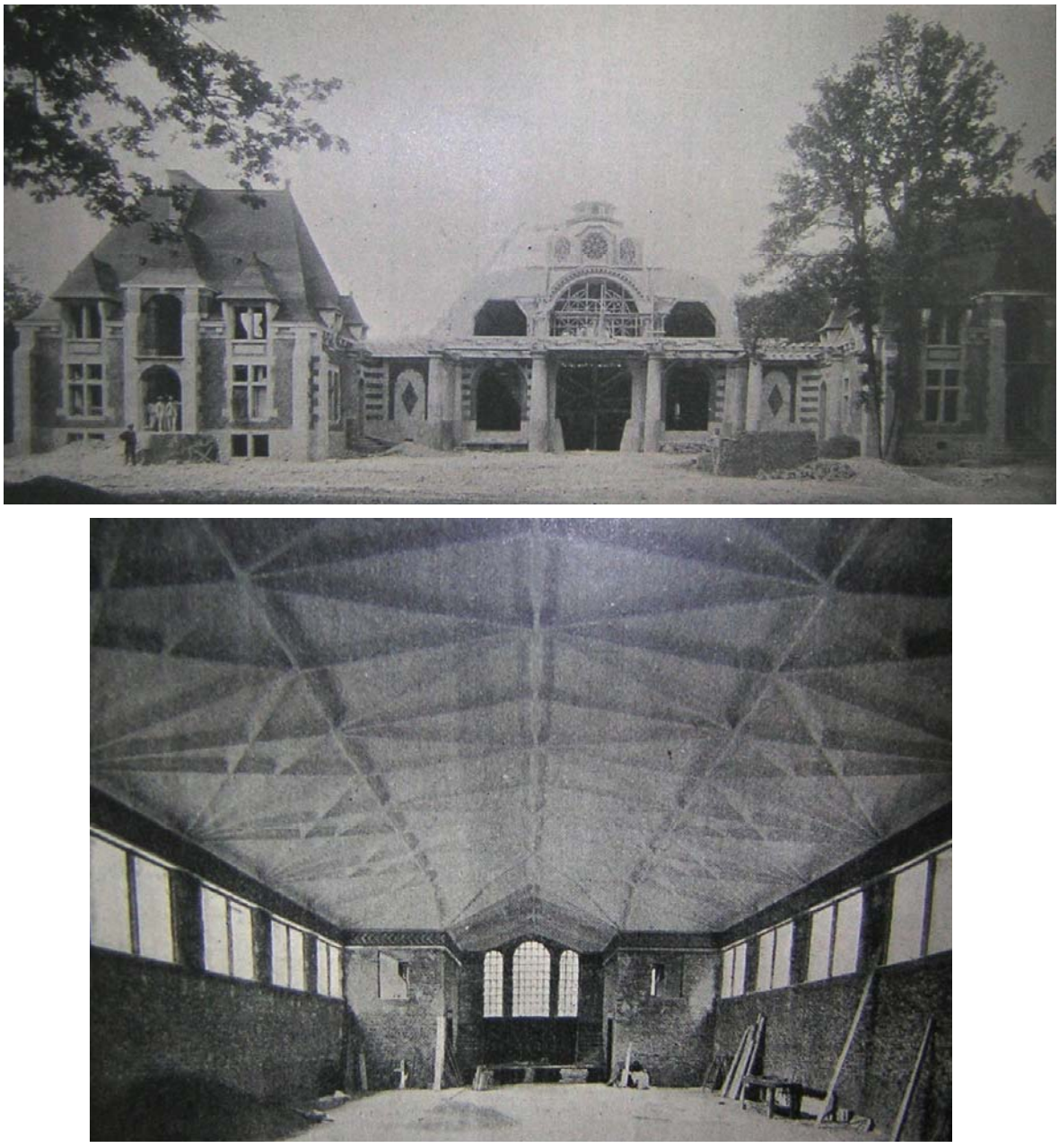


Figura 90. Écurie des Communs de l'Orfraisière. Paris. Hacia 1900. Paul Cottancin, constructor. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Aunque no patentó su sistema hasta 1892, el ingeniero Edmond Coignet, hijo del famoso inventor del *hormigón aglomerado*, llevaba investigando el hormigón armado desde bastante tiempo atrás. En 1888 ya expondría ante la Sociedad de Ingenieros Civiles sus teorías sobre el reparto de esfuerzos entre sus componentes, esto es, tracciones para las barras de hierro, compresiones para el hormigón. En colaboración con el también ingeniero Napoleón de Tedesco desarrolló un método racional de cálculo de estructuras de hormigón armado que, presentado de nuevo ante dicha Sociedad en 1894, constituiría el punto de partida para la investigación del hormigón armado en Francia [142].

A partir de 1893 simultanearía su trabajo de investigación con la actividad constructora, utilizando su propio sistema de vigas y losas de hormigón armado. En este por primera vez las armaduras presentaban una disposición razonada y coherente con los esfuerzos que debían soportar: en vigas, barras longitudinales, dispuestas en dos lechos (superior e inferior) no simétricos, y enlazadas verticalmente por ligaduras de alambres calculadas para resistir el esfuerzo cortante; en losas, mallazo de barras o alambre similar a la del sistema Monier.

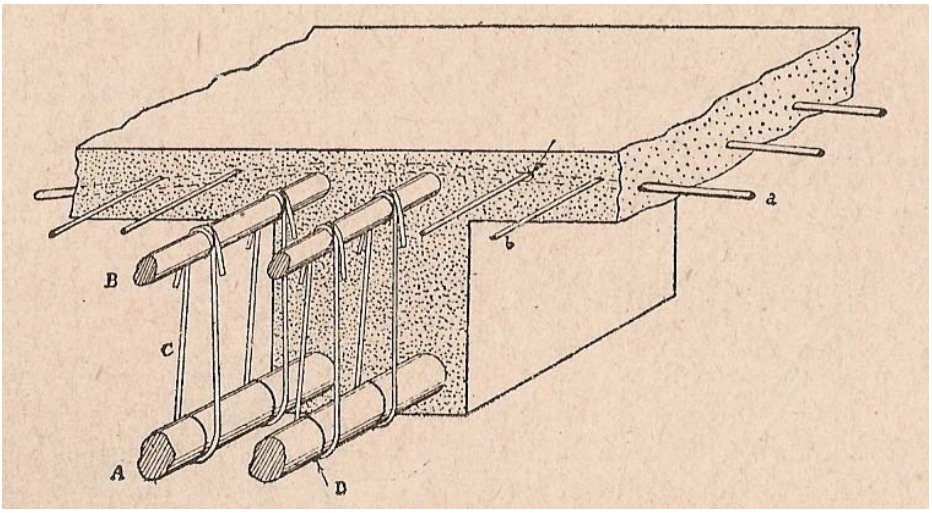


Figura 91. Esquema de vigas y forjados de hormigón armado, sistema de Edmond Coignet. En Tedesco y Forestier, *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.*

El sistema de Edmond Coignet para edificación combinaba elementos prefabricados con otros hechos “in situ”. Los pilares y jácenas se construían en la obra, pero los forjados se formaban con viguetas hechas previamente en un taller. Evidentemente, este sistema constructivo sólo daba buenos rendimientos en edificios grandes, con importantes superficies de forjados.

Con su sistema se construyeron los grandes almacenes *Magasin aux classes labourieuses*, terminados hacia 1899. También se levantó por la misma época el balneario de la villa de Biarritz[143]

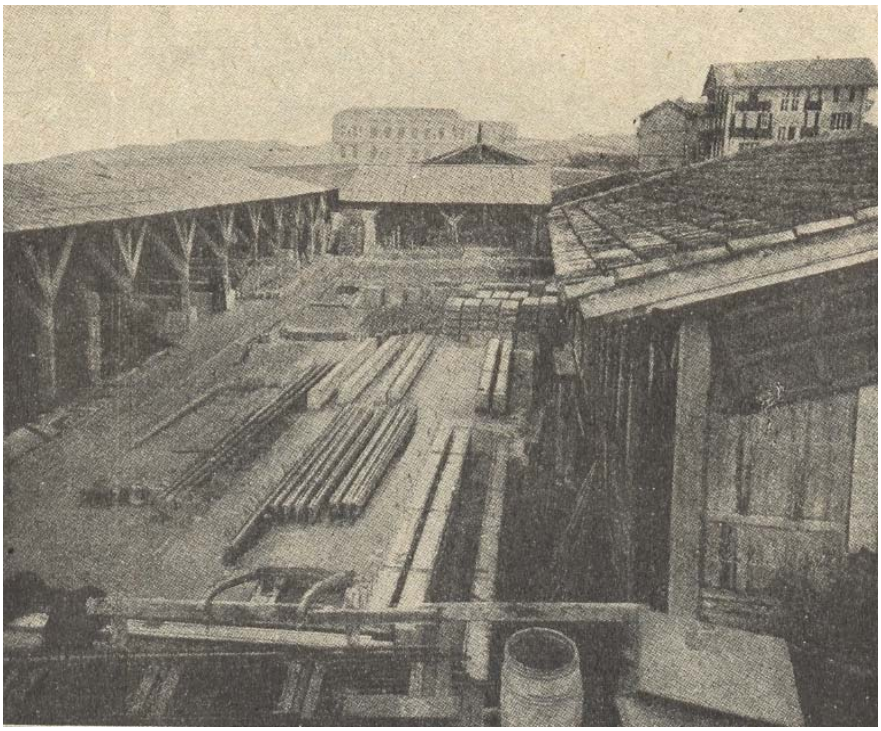


Figura 92. Taller de prefabricación de viguetas para la construcción del balneario de la villa de Biarritz. Hacia 1900. Edmond Coignet, ingeniero civil. En Tedesco y Forestier, *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.*



Figura 93. Almacenes "aux classes labourieuses". Vista del interior. Paris, 1899. Edmond Coignet, ingeniero civil. En Tedesco y Forestier, *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.*

Sin embargo, la mayor repercusión la obtendría con sus trabajos de ingeniería civil. Entre1892 y 1895 su empresa constructora ejecutaría gran parte de la red de saneamiento del Parque Agrícola de Achères, que incluía entre otras la galería elíptica de Argenteuil, formada por paredes de 8 cm de espesor armadas con mallas de barras de 18 mm de diámetro[144].

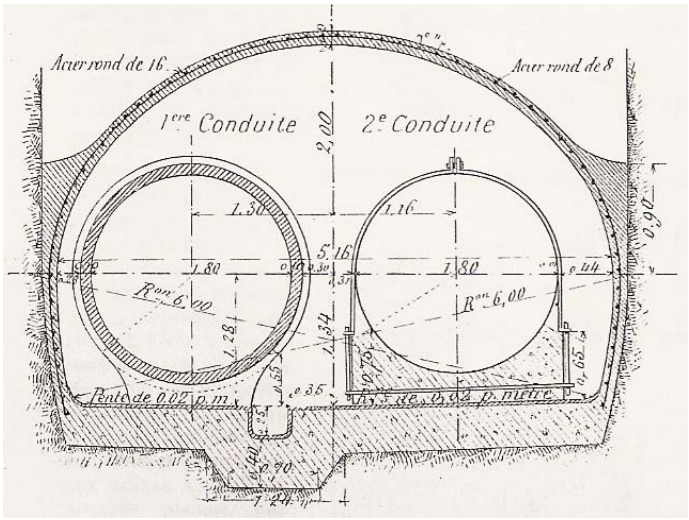


Figura 94. Conducciones de saneamiento del Parque Agrícola de Achères. París. 1895. Galería elíptica de Argenteuil. Edmond Coignet, ingeniero civil. Tuberías interiores construidas por A. Bonna. En *Le Genie Civil.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos

Con su propio sistema construyó entre 1895 y 1900 diversas instalaciones industriales y depósitos, entre ellos uno elevado de 500 m^3 de capacidad. Notable fue también un muelle en el Sena que le encargó la *Compagnie Éléctrique des Champs Elysées,* que constaba de un paramento exterior y un muro interior de contención de tierras, ambos pilotados y con tres niveles de arriostramientos transversales[145].

Fuera de la obra civil, la realización más destacada de Coignet quizás fuera el *Chateau d'eau* de la Esposición Universal de París de 1900.

La compleja estructura de este singular edificio, hecha completamente de hormigón armado, se formaba con un gran casquete semiesférico de 45 m de altura y 25 de anchura, apoyado sobre una serie de tabiques y arcos transversales formando galerías de circunvalación[146] .



Figura 95. Exposición Universal de París. Château d'eau. 1900. Edmond Coignet, ingeniero civil.

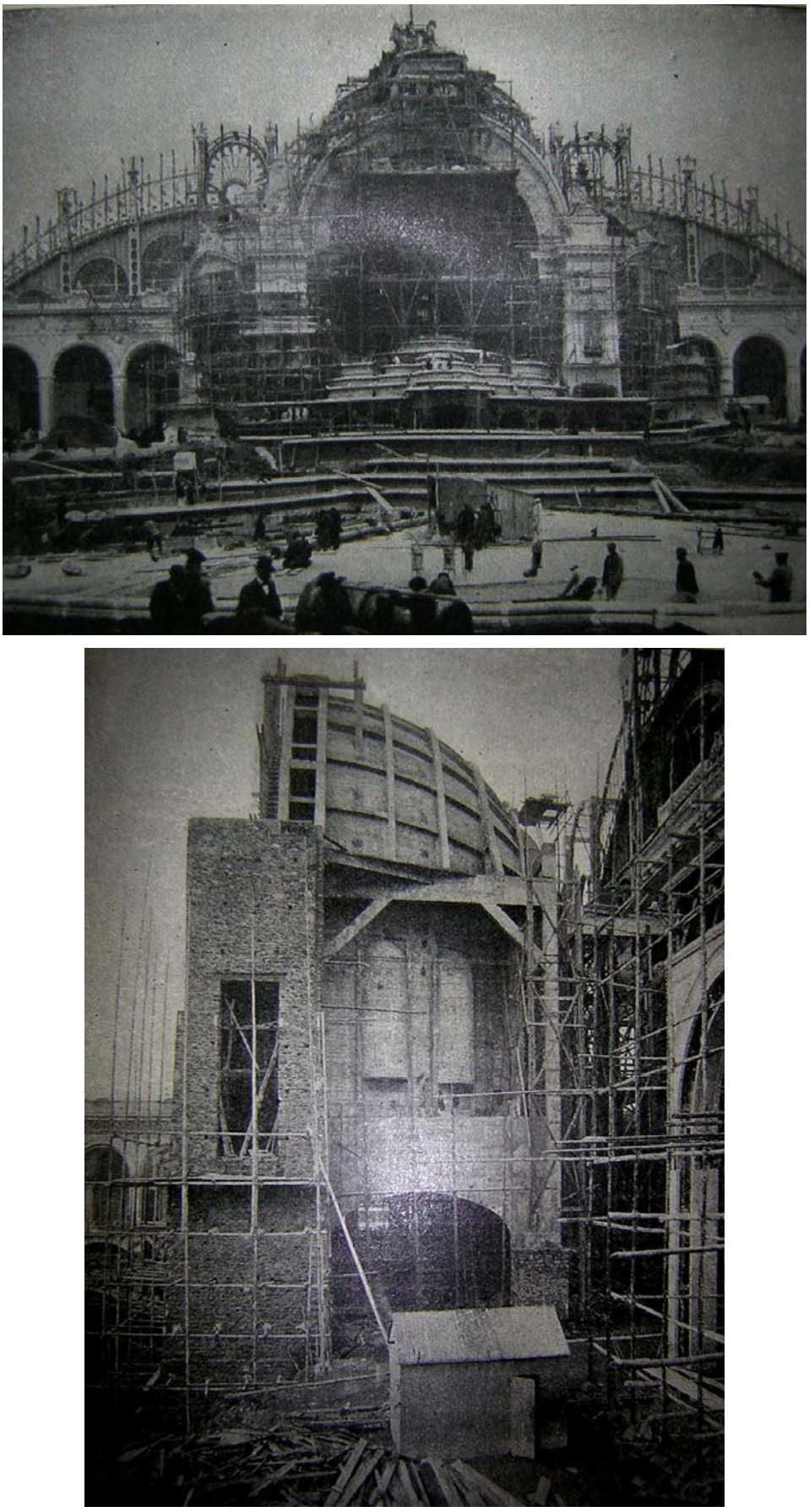


Figura 96. Obras del Château d'eau de la Exposición Universal de París de 1900. Edmond Coignet, ingeniero civil. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

En 1893 el ingeniero Aimé Bonna patentó un sistema de hormigón armado que estaba, como el de Bordenave, indicado para la construcción de tuberías de todas clases. Como principal aportación presentaba una doble serie de perfiles longitudinales y generatrices de acero, ambos de sección en cruz y unidos mediante entalladuras.

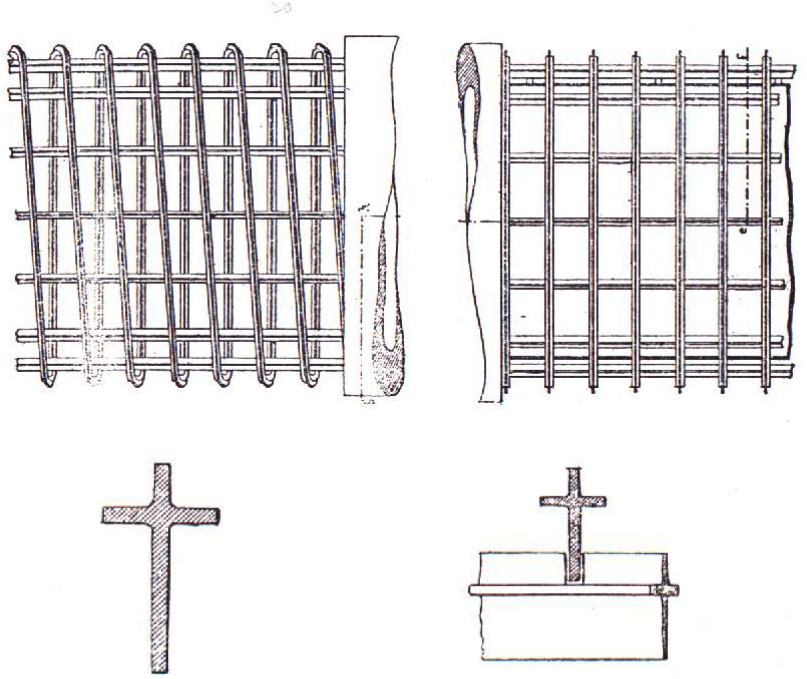


Figura 97. Tuberías de hormigón armado sistema Bonna. Armaduras longitudinales y detalle de piezas de conexión. En En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Con este esqueleto de barras rígidas se conseguían unas tuberías de gran resistencia y estanqueidad garantizada, además de económicas, por lo que fueron utilizadas en muchas obras importantes. Entre 1892 y 1914 ejecutó más de seiscientos kilómetros de conducciones (tuberías, galerías, bóvedas) principalmente para la ciudad de París, entre ellas una conducción forzada de 0,80 m de diámetro para el acueducto de Achères[147].

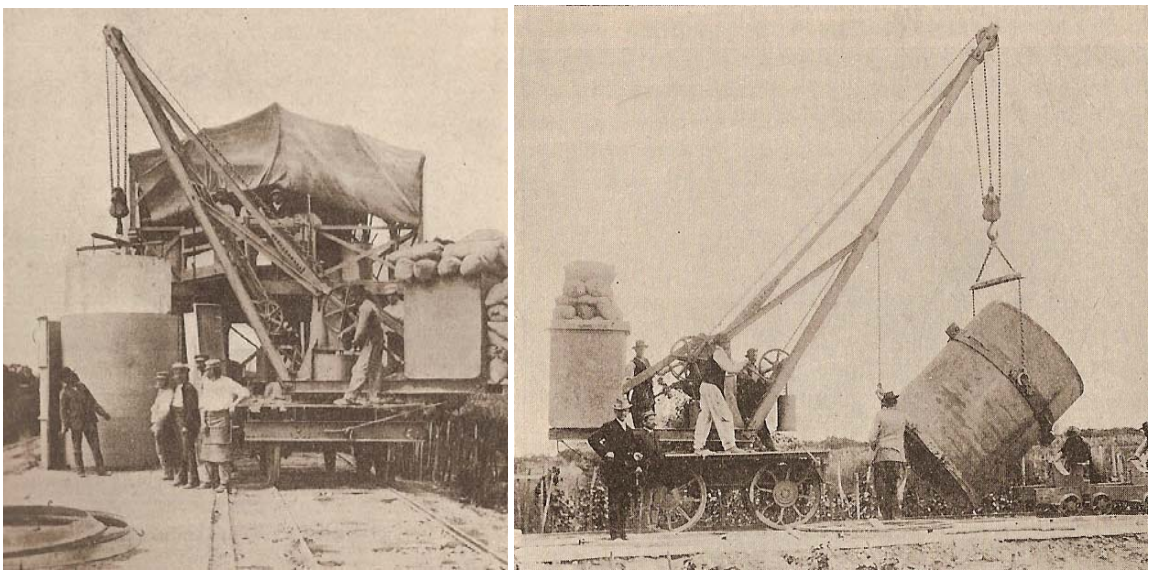


Figura 98. Ejecución de la tubería forzada del acueducto de Achères. Aimé Bonna, ingeniero.1895. Retirada del encofrado interior y puesta en obra de un tramo de tubería. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Bonna llegó a ser considerado el mayor especialista en este tipo de elementos, trascendiendo su fama a otros paises como España, donde participó en obras hidráulicas de gran entidad.

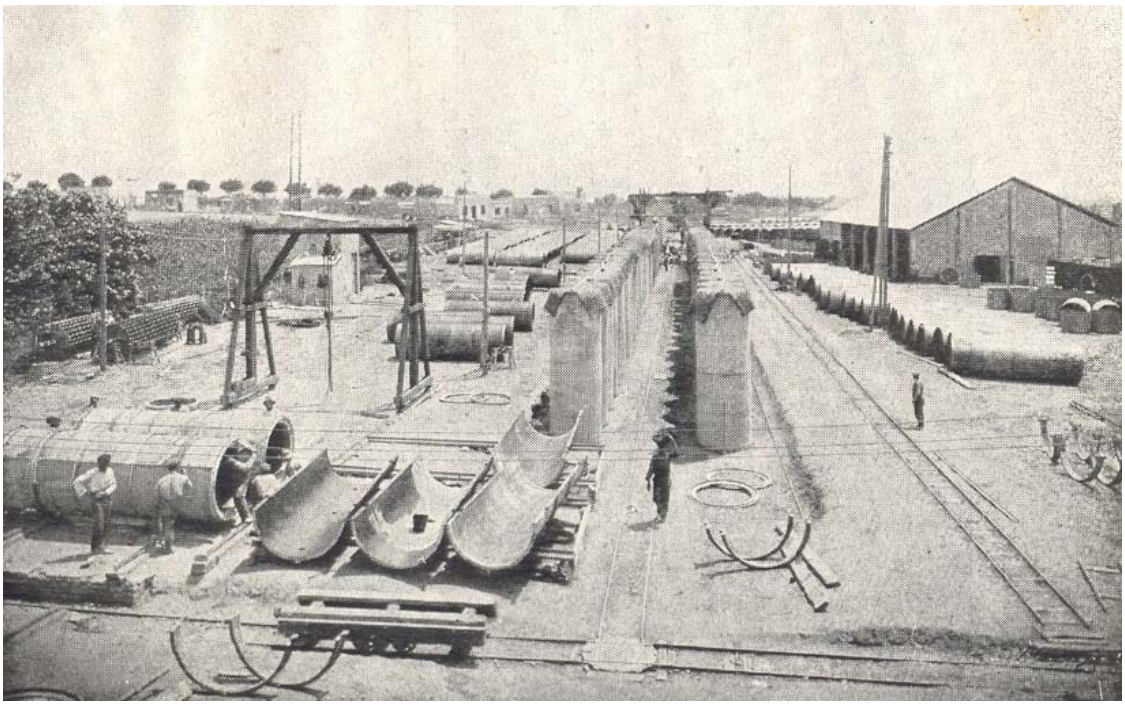


Figura 99. Planta de fabricación de tuberías del sistema Bonna no localizada. Probablemente en España. En el *Manual para el empleo del cemento Portland Asland.*

No obstante, Bonna intentó ampliar las aplicaciones de su sistema a otro tipo de construcciones. Su primera edificación, hecha en 1895, sería una fábrica de su propiedad situada en el Parque Agrícola de Achères. Tres años después construyó la fábrica de la *Compagnie Centrale des Émeris* en París. Sin embargo, en propiedad este edificio no se puede catalogar como de hormigón armado, pues se trataba más bien de una estructura metálica embebida en hormigón[148].

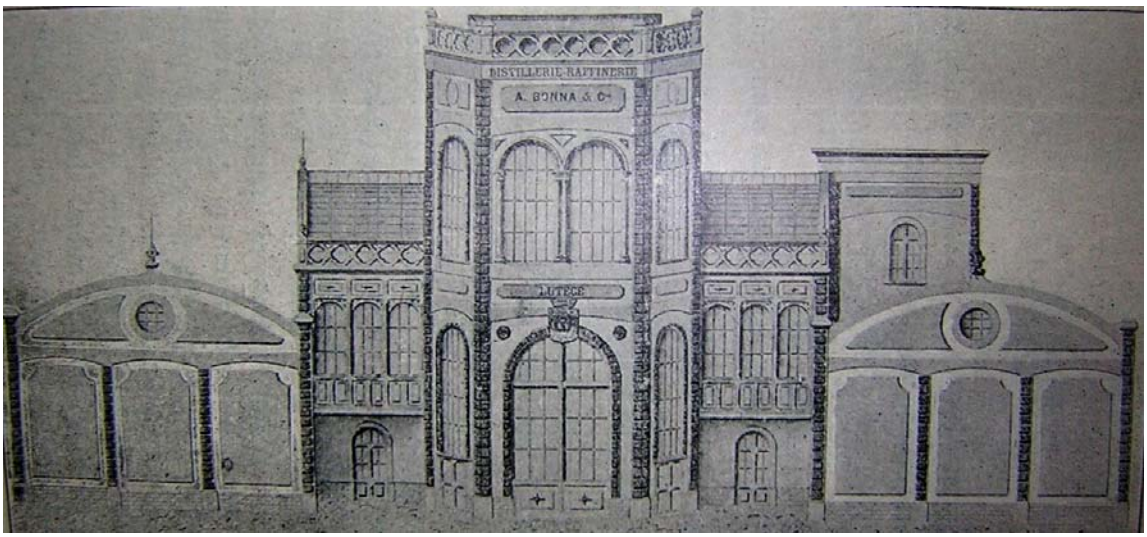


Figura 100. Fábrica de Aimé Bonna en el Parque Agrícola de Achères*.* 1895. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

En cambio, las instalaciones de *Sautter-Harlé et Cie* en París (1899) la estructura se resolvió íntegramente con diversos sistemas de hormigón armado, que Bonna utilizó de forma ecléctica[149].

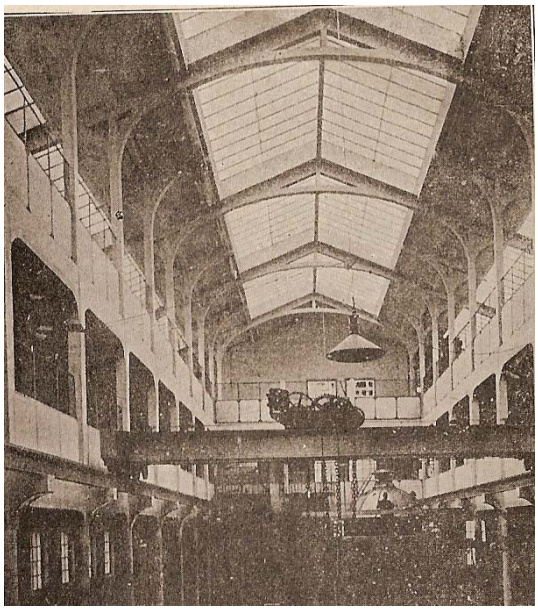


Figura 101. Nave de *Sautter-Harlé et Cie* en París. 1899 Aimé Bonna, constructor. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

La misma consideración (estructura metálica forrada de hormigón) tendría el puente de Liancourt, un tramo recto de 7,50 m de luz. Más adelante desarrollaría un sistema con barras que aplicó en varios puentes, entre los que destaca el del río Gers en Auch, resuelto con arcos empotrados de hormigón armado de 27 m de luz. Digna de mención también fue la pasarela del Camino de la *Belle-Croix*, sobre la línea de ferrocarril de Provins a Esternay. Se trataba de un arco, asimismo empotrado, de quince metros de luz[150].

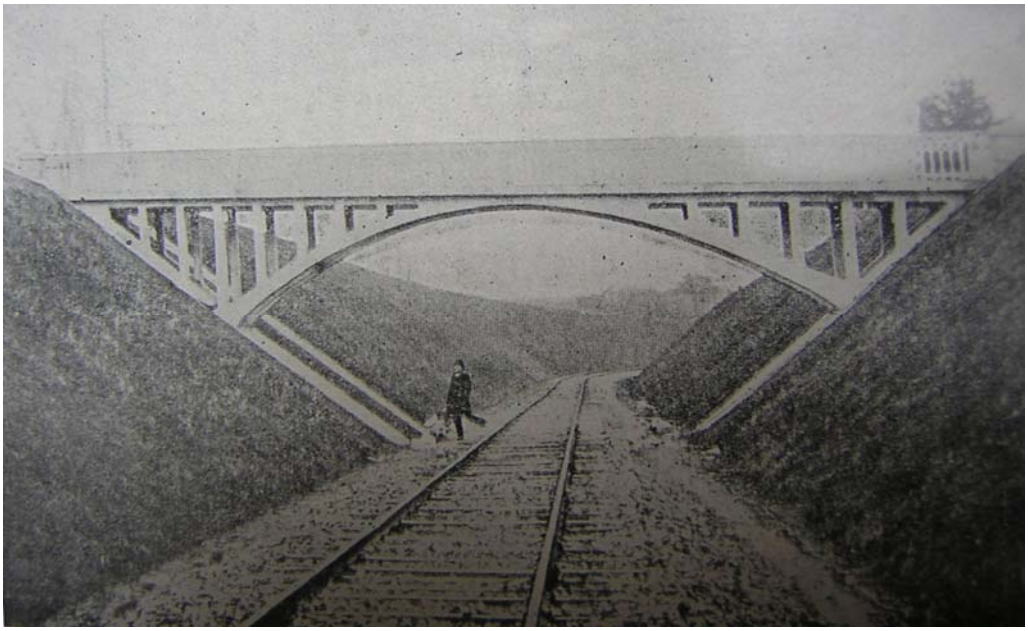


Figura 102. Pasarela de la Belle-Croix. Aimé Bonna, ingeniero.1895. En *El Cemento Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Entre los participantes de la Exposición Universal de 1899 figuraba una empresa llamada "J. Monier Fils", que se dedicaba a la fabricación de objetos de hormigón moldeado sobre una armadura de hierro. Había sido creada por el hijo mayor de Joseph Monier, Pierre, que había abandonado en 1885 la empresa familiar[151]. A mediados de los noventa, transformada en la Sociedad Anónima de trabajos en cemento de Plaine-Saint-Denis, llegó a realizar trabajos de cierta entidad, como una lavandería industrial en Boulogne-sur-Seine.

Ejecutada íntegramente en hormigón armado sistema Monier, se conformaba a partir de una gran cuba rectangular compartimentada por tabiques transversales. Todas las paredes tenían tres centímetros de espesor[152].

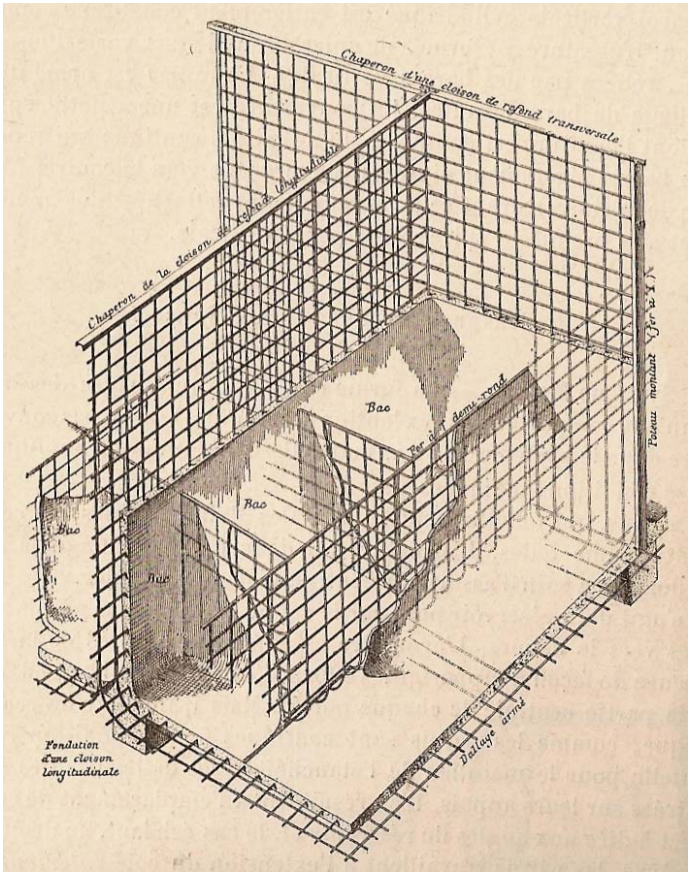


Figura 103. Lavandería de Boulogne-sur-Seine. *Société de Travaux en Ciment* de Plaine-Saint-Denis, empresa constructora. 1895. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

La Sociedad de Plaine Saint Denis utilizaba, como se ha dicho, el sistema Monier. Aunque con el tiempo fueron incorporando algunas modificaciones, como la disposición en los forjados de *"dos armaduras ligadas por una suerte de cremallera continua de tal forma que no se pueda producir su deslizamiento"*[153].

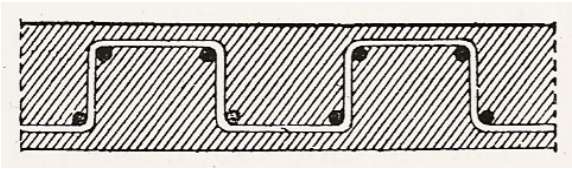


Figura 104. Detalle de armadura de los forjados de la Société de Travaux en Ciment de Plaine-Saint-Denis.

Entre 1895 realizaría varios depósitos para jardines, como el de la *Maison Pivert* en Pontorson. Su actuación más destacada sería la construcción del pabellón de Camboya en la Exposición Universal de París de 1900, construido según proyecto del arquitecto Alexandre Marcel[154].

Este pabellón tenía una escalera circular de doble revolución, que también construyó la Sociedad de la Plaine-Saint-Denis, pero utilizando el sistema Chaudy. Se resolvió de forma que las contrahuellas servían de vigas y las huellas eran losas con una sola cabeza o armadura metálica compuesta de alambres que se doblaban verticalmente para servir de montantes a las vigas de las contrahuellas[155].

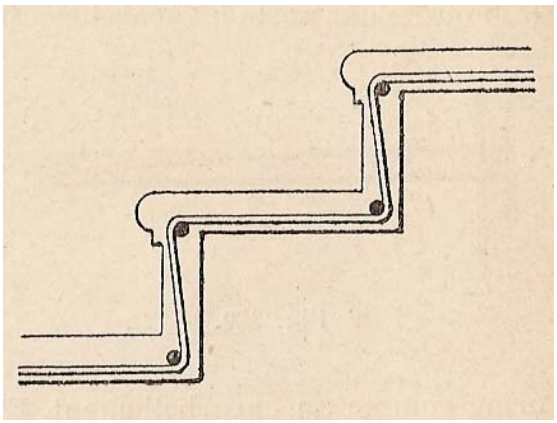


Figura 105. Detalle de las escaleras de hormigón armado sistema Chaudy. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*



Figura 106. Exposición Universal de París de 1900. Escalera circular del pabellón de Camboya. *Société de Travaux en Ciment* de Plaine-Saint-Denis, empresa constructora.

Entre 1895 y 1900 la cementera Pavin de Lafarge construyó diversas obras de hormigón armado. No contaba con un método de construcción propio, pero a partir de otros sistemas desarrolló algunos procedimientos particulares que utilizaba en sus obras[156].

Por ejemplo, en edificación utilizaba vigas con doble armadura simétrica, atada con alambre o chapas transversales y forjados con falso techo. Así eran los de las dos casas que construyó junto a las esclusas del canal de Jonage, en las proximidades de Lyon[157].

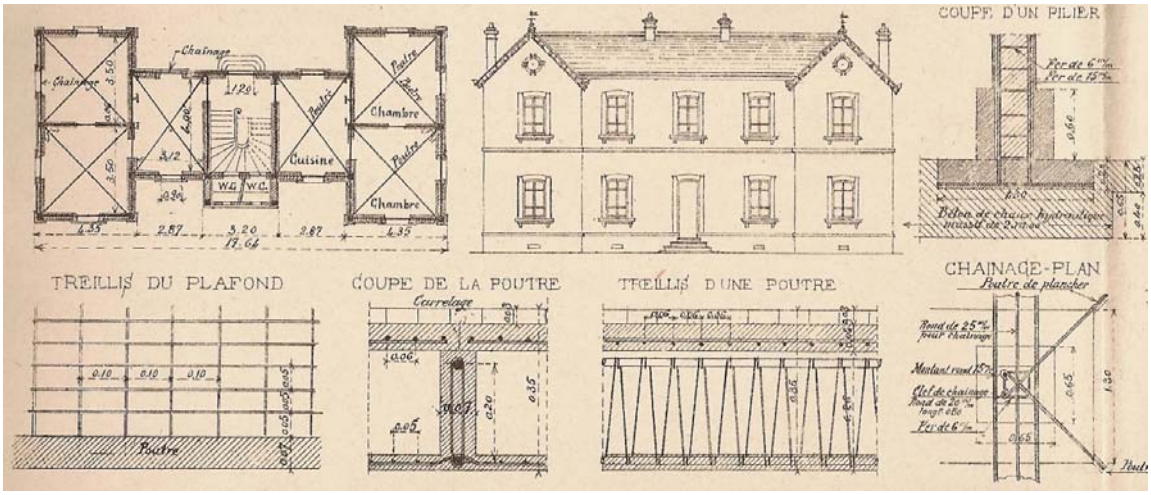


Figura 107. Casas junto a las esclusas del canal de Jonage (Lyon). 1897. Pavin de Lafarge, empresa constructora. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.*

La mayoría de sus realizaciones tuvieron lugar en Argelia, por entonces colonia francesa. Las más importantes serían obras hidráulicas como los canales de Hamiz, de Chéliff y de Massena (este último con un puente-acueducto de 15 m de luz). También construyó una chimenea de 43 m de altura junto a un dique de Argel[158].

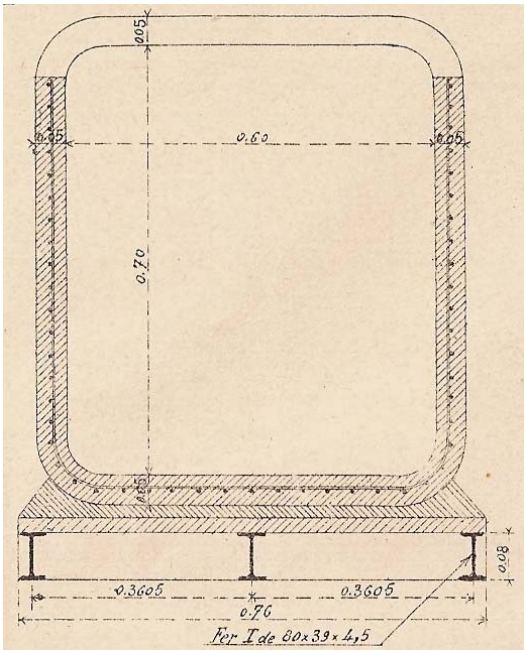


Figura 108. Canal de Massena. Puente acueducto sobre el río Kleba (Argelia) 1899. Pavin de Lafarge, empresa constructora. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.*

Otra empresa de cales y cementos que también probó fortuna con el hormigón armado fueron la la de Crèches. Antes de 1896 llevaría a cabo algunos trabajos por su región, dirigidos por el ingeniero de artes y manufacturas Jean Dubois. Fueron los forjados de varias viviendas particulares y algunos depósitos e instalaciones industriales en la ciudad de Maçon, entre ellos uno elevado de 200 m^3 encargado por el ayuntamiento[159].

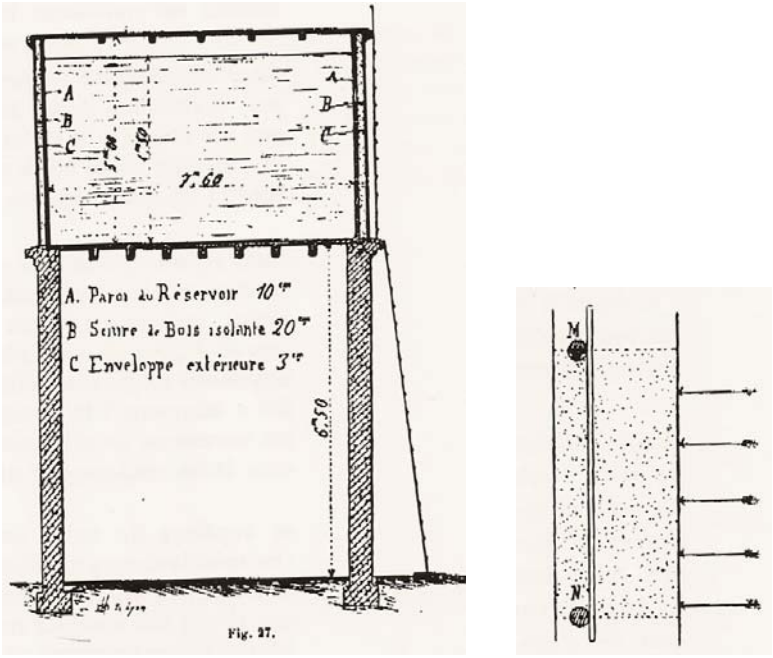


Figura 109. Depósito elevado del Ayuntamiento de Maçon. 1896. Jean Dubois, ingeniero de artes y manufacturas. Société de Chaux et ciments de Crèches, empresa constructora. Biliothèque Nationale de France.

A finales de siglo la Sociedad de Crèches construyó diferentes edificios industriales, principalmente en la Región de Borgoña. Entre ellos destaca la fábrica Grey en Dijon, con su estructura de entramados de pórticos y cubierta tipo "shed"[160].

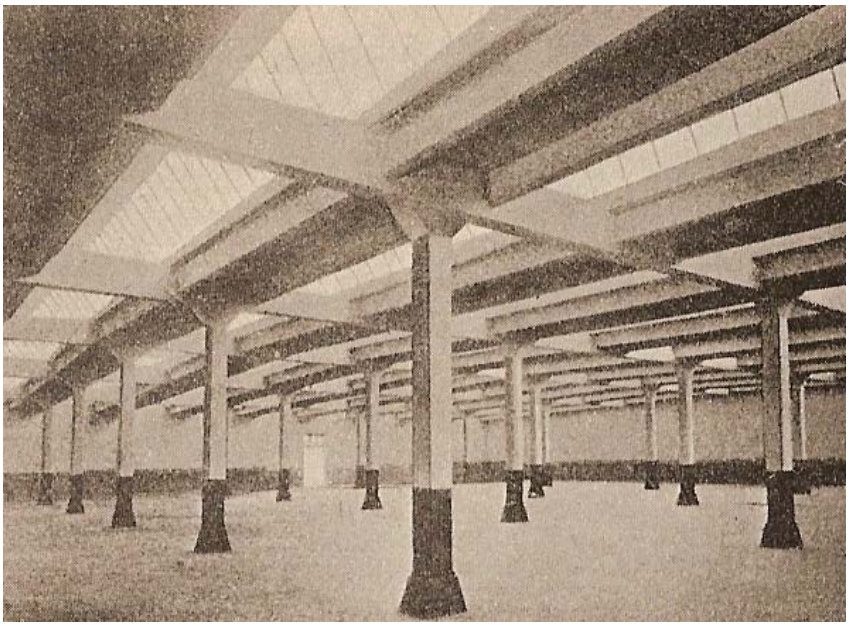


Figura 110. Fabrica Grey en Dijon (Francia). 1899. Société de Chaux et ciments de Crèches, empresa constructora. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

La *Sociedad de la Porte de France* también desarrolló su propio sistema, llevando a cabo trabajos muy variados: canalizaciones, depósitos, forjados, etc. El más original fue el Lavadero Público de Gy (Haute Saône), un curioso edificio de planta poligonal[161].

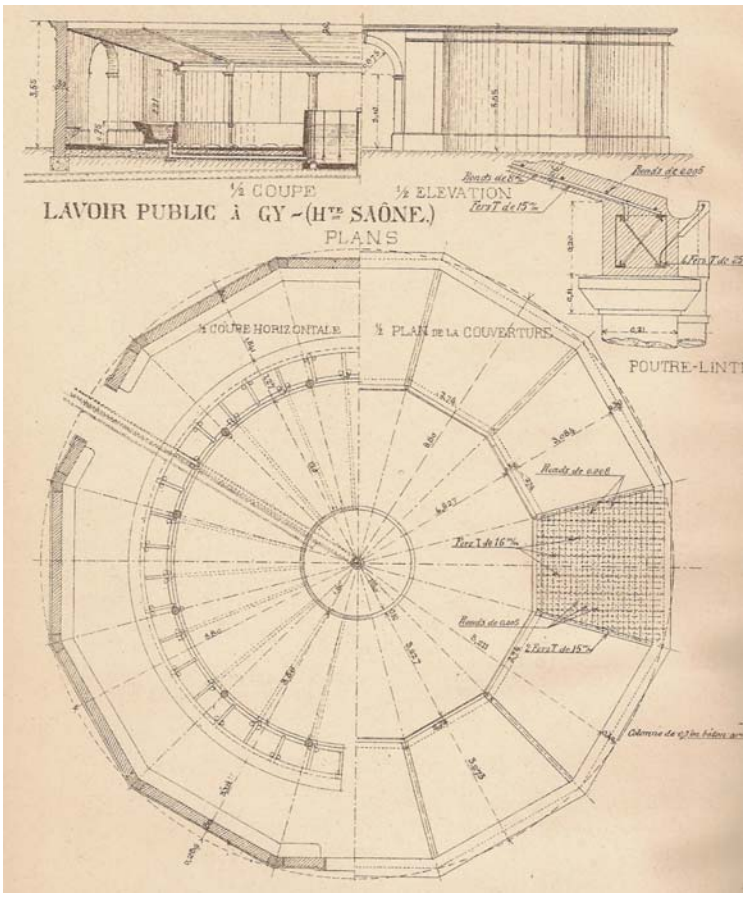


Figura 111. Lavadero Público de Gy (Haute Saône, Francia). 1899. Société de Chaux et ciments de la Porte de France, empresa constructora. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.*

Algo más de repercusión tendría el sistema inventado por el ingeniero de Artes y Manufacturas Louis Coularou en 1897. Aunque en realidad aportaba muy pocas novedades respecto a los que ya existían. Las vigas tenían doble armadura longitudinal (la superior interrumpida en los vanos) y estribos inclinados. Como novedad incorporaba forjados aligerados.

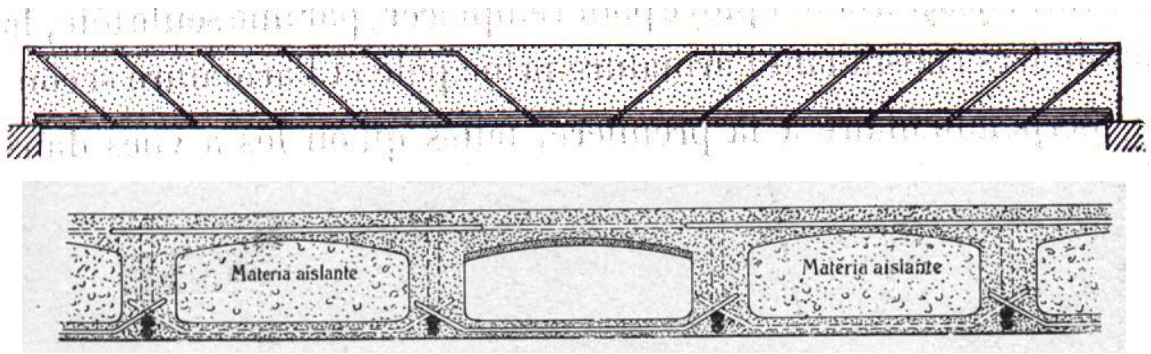


Figura 112. Vigas y forjados de hormigón armado sistema Coularou. En Rosenberg, *Los diversos sistemas de construcciones de cemento armado.*

El sistema de Coularou fue adoptado en la construcción de varios cuarteles: Saint Iriex, Auxerre, Saint Lô y Gérardmer. En esta última localidad también se utilizó en el hospital militar[162].

De todos los sistemas de hormigón armado que aparecieron en esta época, sin duda uno de los más originales fue el *Fer-béton* (hierro-hormigón), ideado por el ingeniero húngaro Alexandre Matrai. Aunque según su creador en realidad no se trataba de un sistema de hormigón armado, sino más bien *"de construcciones metálicas recubiertas de hormigón"*[163]. De hecho, continuamente incitaba a desconfiar del hormigón armado, cuyo conocimiento, *"a pesar de las infatigables investigaciones hechas por sabios de todos los países, no había salido todavía* [en 1899] *de los limbos misteriosos que lo rodean".* Como Cottancin, desconfiaba de la adherencia entre los dos materiales constituyentes; y tampoco se fiaba de la compacidad del hormigón que se podía conseguir en la obra. Así que, frente a las construcciones de hormigón armado oponía, en aras de conseguir la máxima seguridad, sus *"construcciones de hierros dispuestos y calculados para resistir solos todos los esfuerzos, haciendo abstracción de la adherencia y compacidad del aglomerante"*[164].

De esta forma, sus forjados estaban constituidos por un entramado de vigas metálicas en celosía, sobre las que se apoyaban losas de hormigón. Embebidas en estas losas, y atados a los extremos de las vigas se colocaban mallas de alambres, que transmitían casi directamente los esfuerzos a los apoyos. Las vigas se resolvían con perfiles metálicos corrientes y también funcionaban como arriostramiento del conjunto.

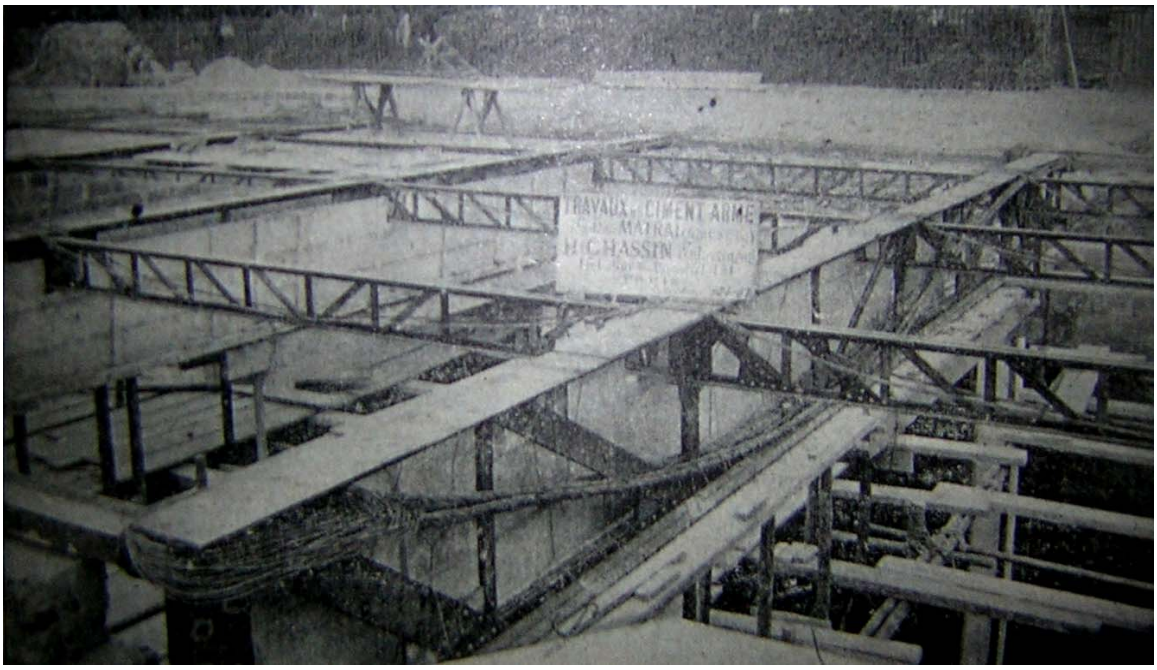


Figura 113. Estructura metálica del sistema Matrai en las obras del Metropolitano de Paris. 1900. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

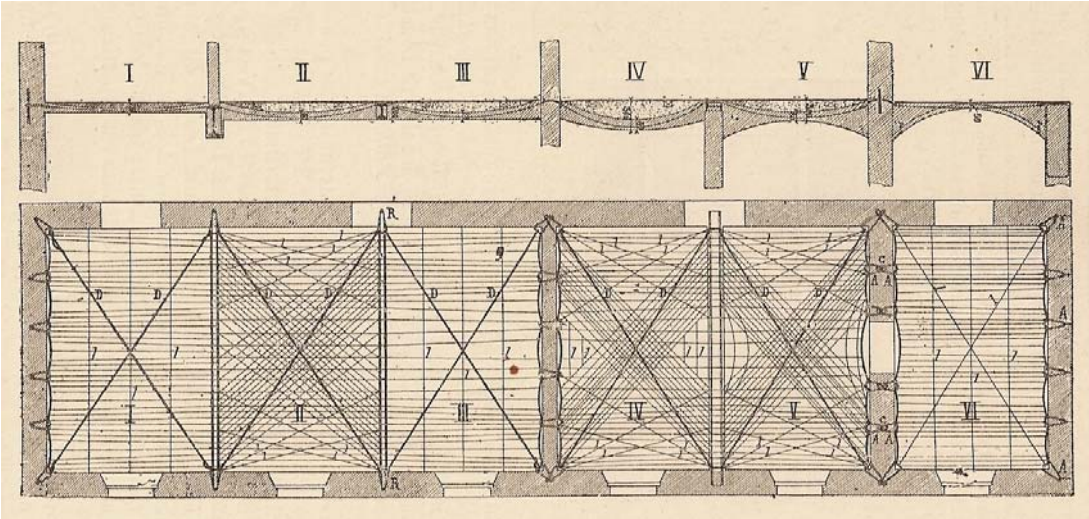


Figura 114. Forjados en *fer-béton* sistema Matrai. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé*

Alexandre Matrai era un ingeniero húngaro, antiguo profesor del Politécnico de Budapest. En torno a 1890 dejaría el servicio del Estado para asumir la representación de las costrucciones Monier en Hungría. Pasaría algunos años familiarizarse con el nuevo material de construcción para después patentar su propio sistema en 1893. La experiencia así adquirida le permitió diseñar su propio sistema, que patentó en 1893.

En los años siguientes desplegaría una intensa actividad en Hungría, con cientos de realizaciones entre forjados, cubiertas de edificios, balcones volados, muros y hasta cúpulas como la de la Sinagoga de Debreczen o la del monumento de Milenario en Pannonhalma[165].

En estas circunstancias se encontraba cuando el poderoso empresario francés Auguste Thomas decidió comprar los derechos de explotación de su patente en Francia para formar una empresa dedicada al proyecto y construcción de obras de hormigón armado[166].

A principios de 1899 quedó constituida la *Société anonyme des constructions en Fer-Béton*, con una estructura calcada de la que tan buenos resultados estaba dando a Hennebique. Formó, en efecto, una red de concesionarios encargados directamente de la ejecución de las obras, que se proyectaban desde la oficina central de París. Incluso lanzó también una revista de propaganda, *Le Fer-Béton,* a imitación de la de Hennebique.

La apuesta era fuerte, llegándose incluso a contratar al propio Matrai, que dejó su floreciente estudio de Hungría para asumir la dirección técnica de la compañía francesa.

Thomas no tardaría en hacer valer sus influencias, consiguiendo la recién constituida sociedad importantes trabajos públicos en París. Incluida en las obras de la Exposición de 1900, la cobertura de un tramo del Ferrocarril *des* Moulineaux sería una de las más notables.

En esta obra, la línea férrea quedaría cubierta por una losa de *fer-béton*, apoyada sobre jácenas metálicas de celosía, pilares de hormigón armado de sección octogonal y zapatas cuadradas. Se contemplaron dos tramos, de once y diecisiete metros de luz, respectivamente[167].

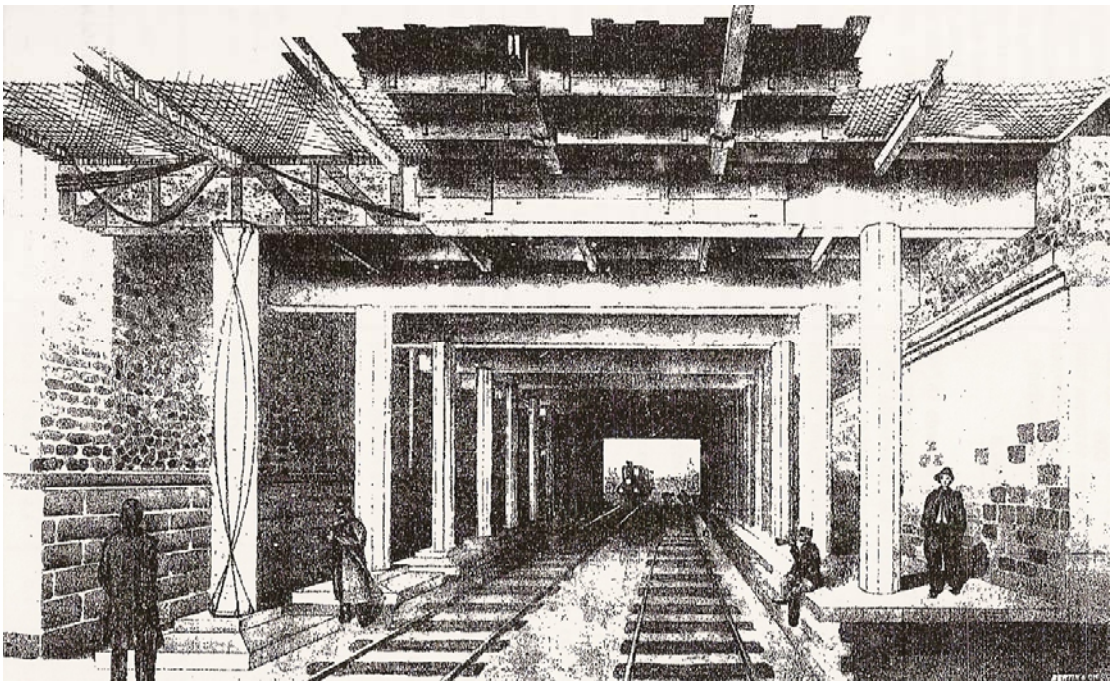


Figura 115. Cobertura del Ferrocarril *des Molineaux.* Paris, 1899. Guillerme Tronchet y Adrien Rey, arquitectos. Henri Chassin, constructor. En *Le Fer-Béton.* Bibliothèque Nationale de France.

También conseguiría la adjudicación de numerosas obras de la Compañía del Metro de París: andenes, cubiertas y forjados en diversas estaciones (avenue de Vincennes, gare de Lyon, Porte-Dauphine, l'Étoile,…)[168]. No en vano Henri Génevois, administrador del Metropolitano, formaba parte del consejo de administración de la sociedad del Fer-Béton.

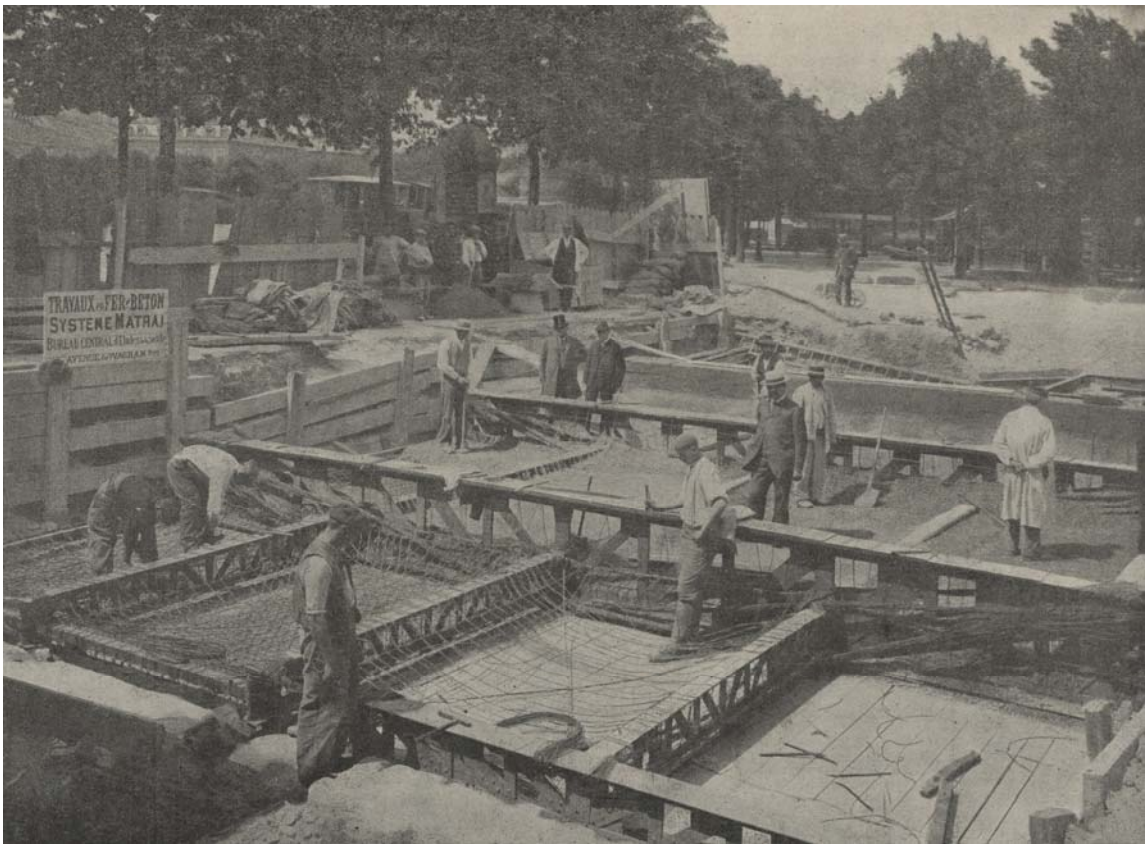


Figura 116. Construcción de la cubierta de la Estación de l'Étoile. Metropolitano de París. 1900. Sistema Matrai. Henri Chassin, constructor. En *Le Fer-Béton.* Bibliothèque Nationale de France.

De la ejecución de todos estos trabajos se haría cargo Henri Chassin, constructor de París muy relacionado con el hormigón armado. Desde 1899 estuvo vinculado a la sociedad del Fer-Béton como su concesionario en París, pero antes ya había realizado importantes trabajos como el Sifón de Chenevières, una conducción de saneamiento de dos kilómetros de longitud en las afueras de Paris o el depósito de Waelem en Bélgica[169]. En esta conducción, la tubería propiamente dicha tenía sección circular de dos metros de diámetro, y estaba construida con un sistema de hormigón y anillos de hierro patentado por Chassin en 1897.

También fue un encargo del Estado la construcción de los forjados y cubiertas de la Escuela de la Legión de Honor en Saint-Denis. Fueron construidos por Chassin en colaboración con el arquitecto Georges Renaud[170].

Fuera de París los encargos provendrían mayoritariamente del ámbito privado. Una de las zonas con mayor actividad sería Lyon y sus alrededores, donde tenía su sede la empresa de otros de los principales accionistas de la sociedad del Fer-Béton, los hermanos Lumière. La nueva factoría de los famosos hermanos se hizo con forjados, cubiertas y terrazas de hierro y hormigón sistema Matrai.

El tercer polo de la empresa se ubicó en los alrededores de Niza, donde su concesionaria la señorita Roussel, antigua representante de las construcciones Monier, desplegó una extraordinaria actividad constructora. Varios hoteles de Niza y Montecarlo se hicieron con forjados Matrai. Especialmente intensa fue su colaboración con el arquitecto François Médecin, con el que construyó varias villas de recreo y más de 3000 m^2 de forjados para el *"Eden Hôtel"* de La-Turbie-sur-Mer[171].

Todo hacía indicar que había surgido un serio rival para la organización Hennebique Sociedad del Fer-Béton. Pero la andadura del sistema de Matrai no iba a superar el cambio de siglo. En 1900, el hundimiento de la pasarela de acceso al Globo Celeste, su obra emblemática en la Exposición Universal, daría al traste con todas las expectativas de la Compañía[172]. Aunque lo más probable es que el accidente se debiera a circunstancias ajenas al *Fer-Béton*[173], lo cierto es que el sistema de Matrai quedó totalmente desprestigiado y la Compañía desaparecería tras la finalización de las obras que tenía en curso.

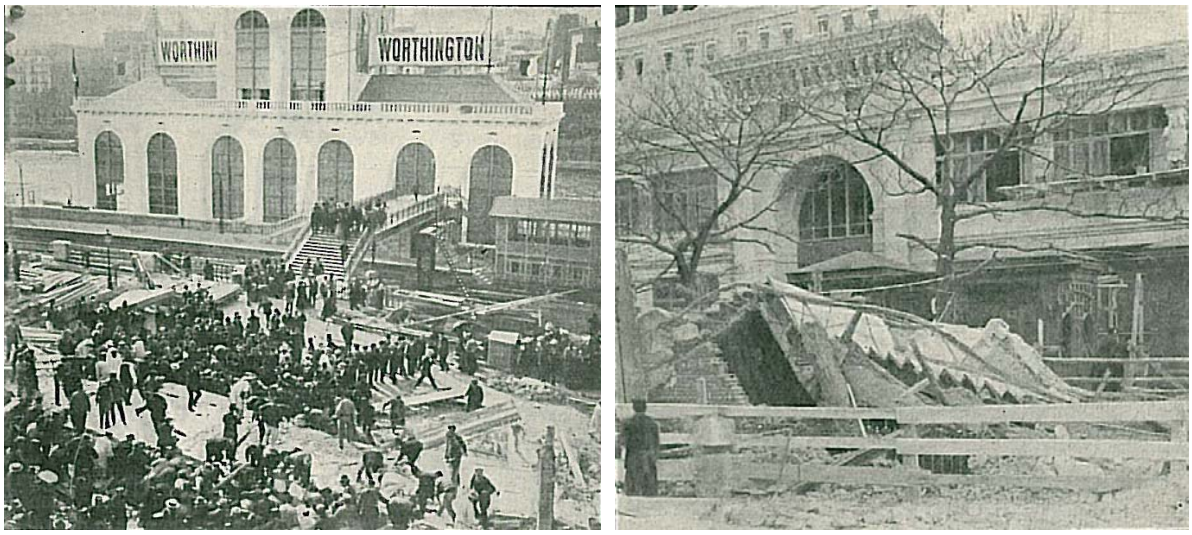


Figura 117. Hundimiento de la Pasarela de acceso al *Globe Celeste*. 1900. En *Le Genie Civil.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Sin embargo, el fracaso no significó el fin de la actividad para Alexander Matrai, a quien podemos ver tres años más tarde presentándose al concurso para la construcción del *Tercer Depósito* del Canal de Isabel II en Madrid[174].

Tampoco quedaría interrumpida, sin embargo, la carrera de Henri Chassin, el concesionario de París y antiguo constructor. En 1903 se hizo con el concurso de un depósito elevado de 500 m^3 convocado por el servicio de aguas de París. La obra, que se llevó a cabo un año después en La Villette (París), constaba de una cuba octogonal elevado a casi veinte metros de altura por ocho pilares arriostrados en distintos niveles[175].

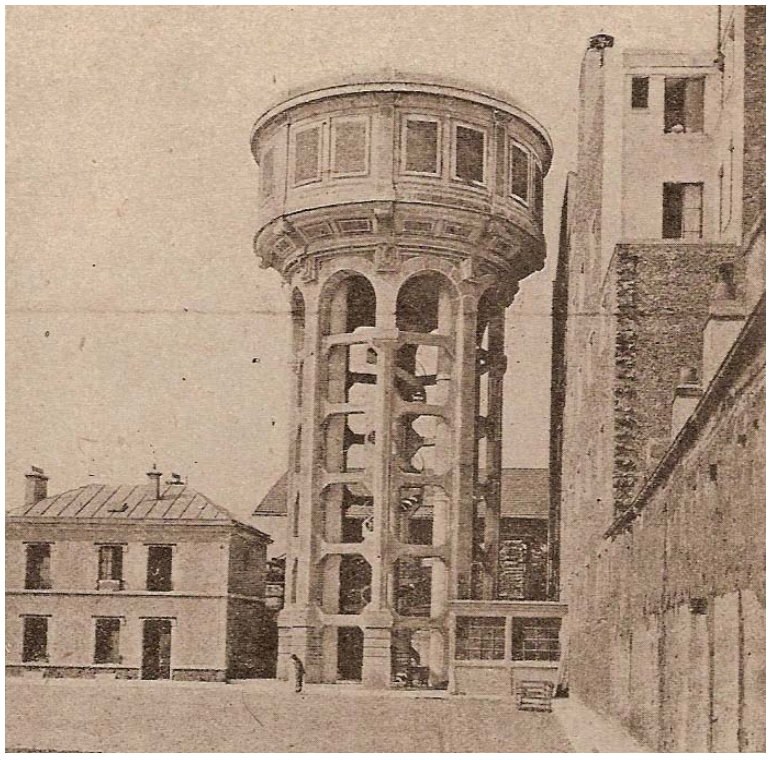


Figura 118. Depósito elevado de La Villette. Paris, 1904. Henri Chassin, constructor. En Tedesco y Forestier, *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé*

El sistema de la compañía Demay Frères tenía como rasgo distintivo la utilización de barras planas como armaduras principales, unidas con estribos de chapa replegados en hélice. Las armaduras de reparto en sus forjados y paredes eran, obstante, barras redondas.

Con él se construyeron los forjados de la Sociedad Vinícola de Rusia Meridional en Odessa (Ucrania)[176], además dos grandes depósitos de 1000 m^3 de capacidad en Reims y Abeauval[177].

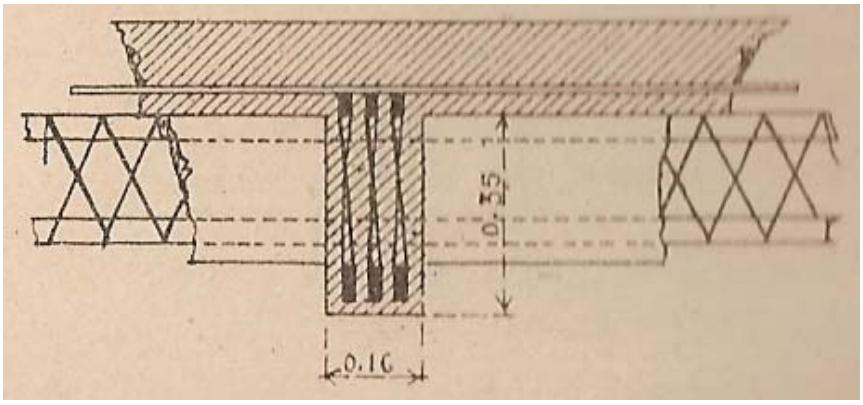


Figura 119. Esquema de armado de viga y viguetas de forjado. Sistema Demay Frères. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.*

El diseñado por el ingeniero civil Simon Boussiron, a pesar de ser de los últimos en llegar (su patente se registró en 1899), conseguiría hacerse un hueco en el mercado y ser una de las pocas compañías que lograron sobrevivir a la fiebre de las patentes.

Ello sería debido sobre todo a dos cualidades: por un lado, la disposición lógica y razonada de sus armaduras; por otro su sencillez de ejecución.

Efectivamente, la idea general del sistema era que las barras de acero resistieran las tracciones y el hormigón las compresiones. La gran adherencia entre ambos materiales, que sí tenía en cuenta, hacía que trabajaran solidariamente. Así por ejemplo, la armadura longitudinal de las vigas se colocaba sólo donde hacía falta, respondiendo a la ley de momentos flectores.

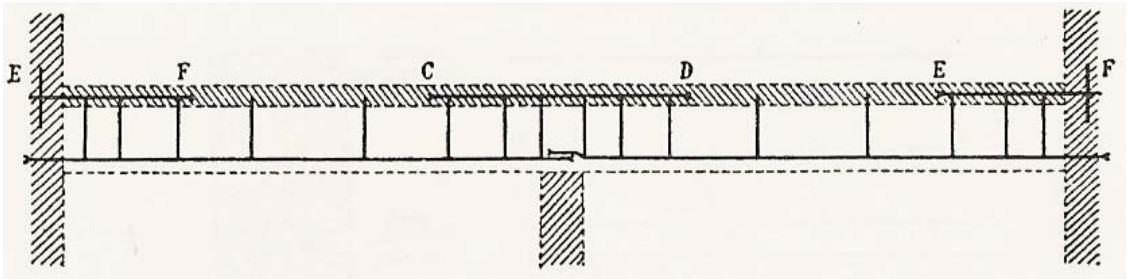


Figura 120. Armadura longitudinal de una viga biempotrada con un apoyo central. Sistema Boussiron. *El Cemento Armado.* Biblioteca Nacional de España.

Los cordones longitudinales se unían con montantes de hierro plano pensados para resistir los esfuerzos cortantes.

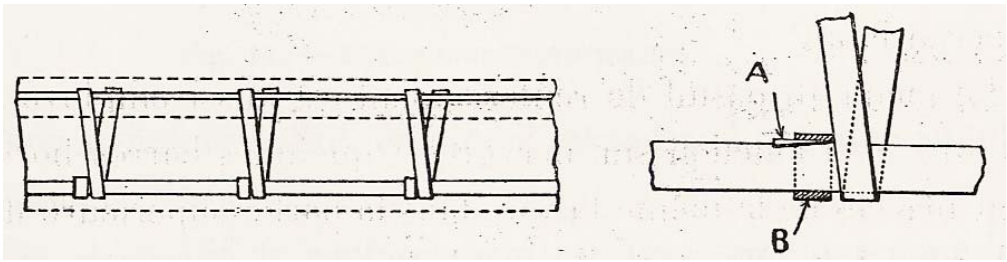


Figura 121. Detalle de los estribos en una viga del sistema Boussiron.

Al no utilizarse más que barras redondas y cintas de chapa planas, de uso corriente, el trabajo de forja era muy reducido y requería pocos útiles: *"una forja y unas tijeras, lo que permitirá ejecutarlo económicamente, aún en las regiones que disponen de pocos recursos industriales"* [178].

Rápidamente encontró aplicación en grandes edificaciones, como los cuarteles Saint-Michel en Toulouse, donde se construyeron 22.000 m^2 de forjados. Así mismo, lograría participar en la Exposición de 1900 con la construcción del restaurante de Congresos, un edificio de dos plantas y sótano con estructura de entramados de pórticos y forjados de hormigón armado[179].

Boussiron fundó por entonces una empresa constructora que iba a mostrar una gran actividad en el primer tercio del siglo XX. Destacaría en la construcción de puentes, el primero de los cuales sería el de la Rue Valette, en Perpignan (su ciudad natal), un arco de 75 m de luz, construido en 1899. Diez años más tarde su puente de Amélie-les-Bains sobre el Tech lo superaría con su configuración de arco triarticulado.



Figura 122. Puente de la Amélie-les-Bains sobre el Tech (Francia). 1909. Simon Boussiron, ingeniero civil. Cortesía de Magali Pons. www.structurae.de.

Otra de sus grandes especialidades serían las cubiertas de gran luz para edificios industriales y hangares. Una de las primeras, construida antes de 1902, fue la de la Fábrica de aceites de Colombes.

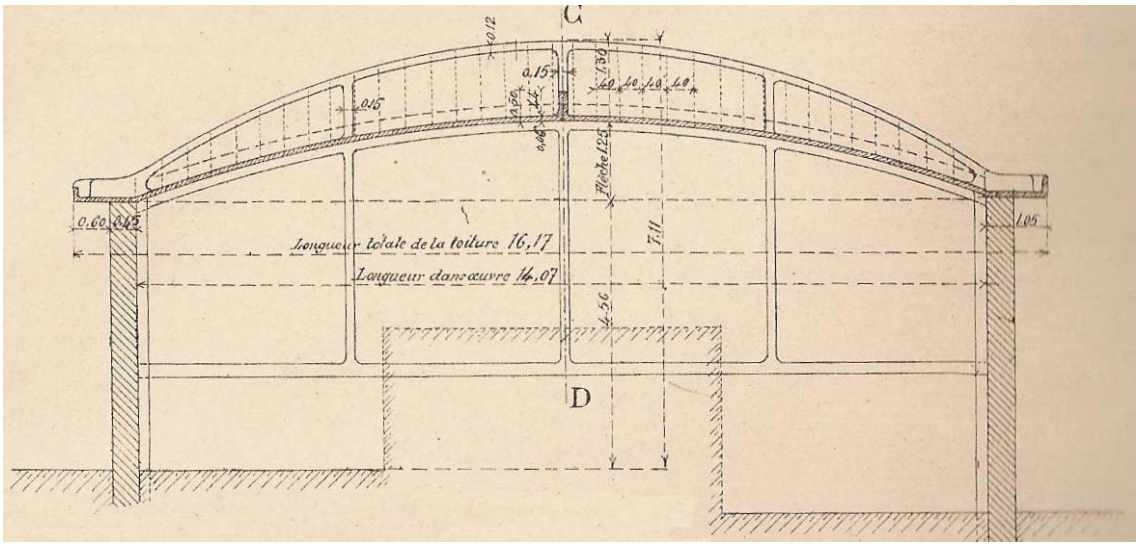


Figura 123. Nave de la Fábrica de Aceites de Colombes (Seine). 1900. Simon Boussiron, ingeniero civil. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.*

La maestría de Boussiron en la construcción de bóvedas de hormigón armado quedaría patente algunos años después con una obra de gran repercusión, la bóveda de cobertura (de 27 metros de luz) del canal de San Martin, en París. Su proyecto lo hizo el ingeniero Augustin Mesnager en 1906, pero Boussiron, adjudicatario de las obras, lo adaptó incluyendo tres semiarticulaciones que acababa de patentar. En 1908 quedaron terminados los trabajos[180].

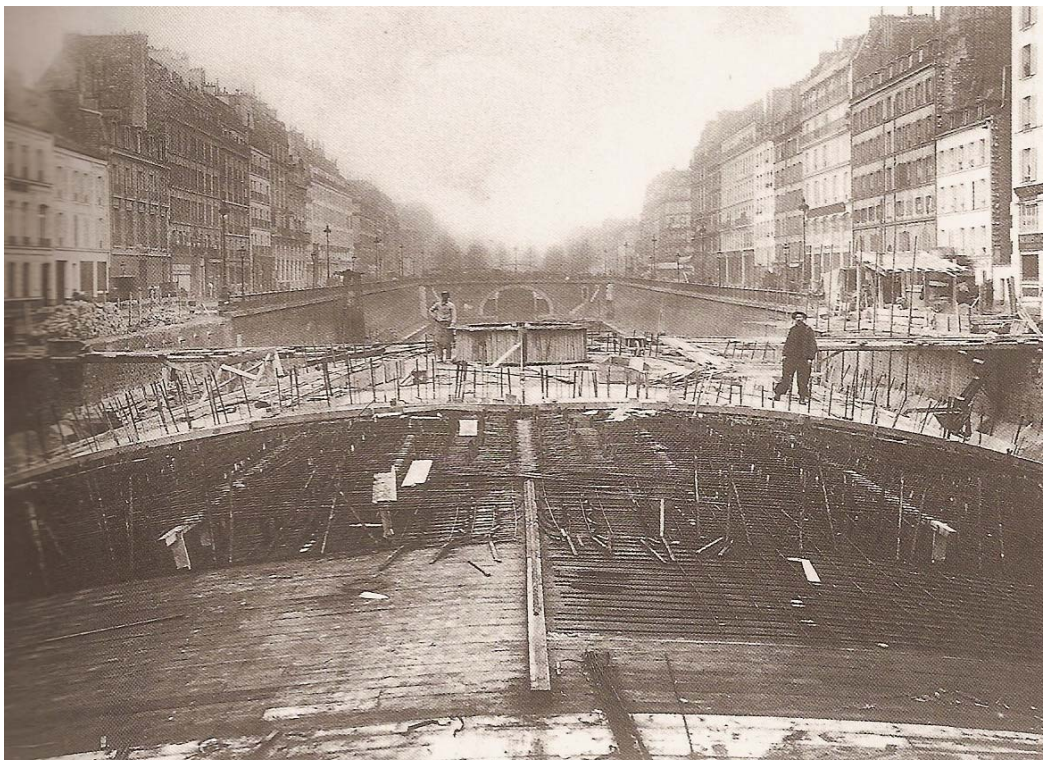
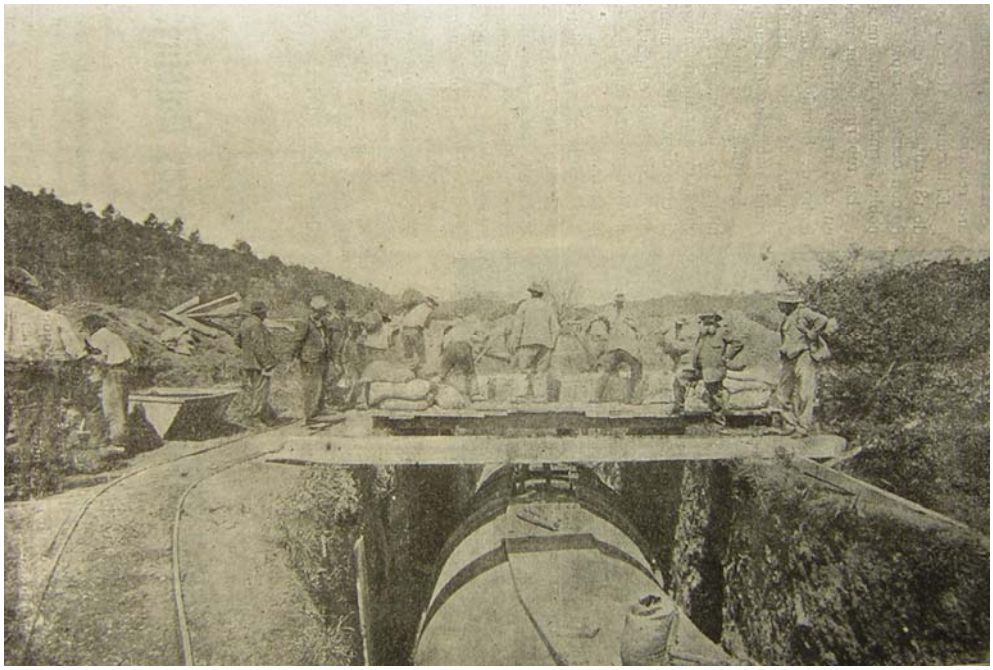


Figura 124. Cobertura del canal de San Martín. París, 1908. Augustin Mesnager y Simon Boussiron, ingenieros. Cortesía de Bernard Marrey.

Por esta época se sumaron a la carrera del hormigón armado la empresa de los ingenieros Giros y Loucher, especializada en obras hidráulicas como el sifón del Oued-Isser y los depósitos circulares de Sidi-Hassen y Mellinet (todos en Orán).

Su competencia en este tipo de trabajos quedó patente con la construcción en 1905 de la conducción para la Fábrica de Luz de Entraygnes sur Argens, suministradora de energía en la región de Tolón. Se trataba de una tubería con sección en forma de corona circular de 18 cm de espesor, armada con un "*esqueleto metálico formado por directrices de acero perfilado en forma de T, metidas en el tercio exterior del espesor del hormigón*"[181]



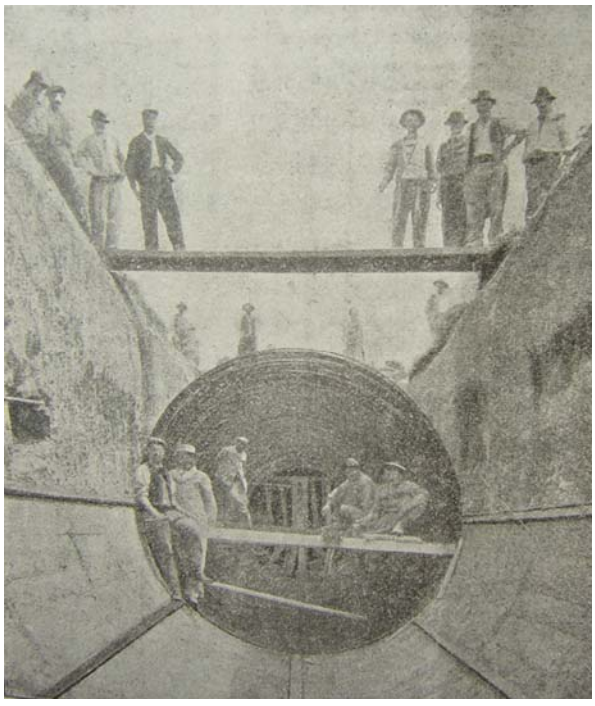


Figura 125. Construcción de la tubería de para la fábrica Hidro-eléctrica de Entragues sur Argens. 1905. Giros y Loucher, ingenieros civiles. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Alguna trascendencia tuvo también el sistema Degon, que presentaba algunas variantes para forjados, siempre con el principio de conseguir una solidaridad completa entre las armaduras principales y las barras de anclaje secundarias. Se utilizaría en la construcción de los forjados de varias casas particulares y algunas construcciones industriales, como un silo en Momignies[182] y una fábrica de almidón en Marcoing[183]

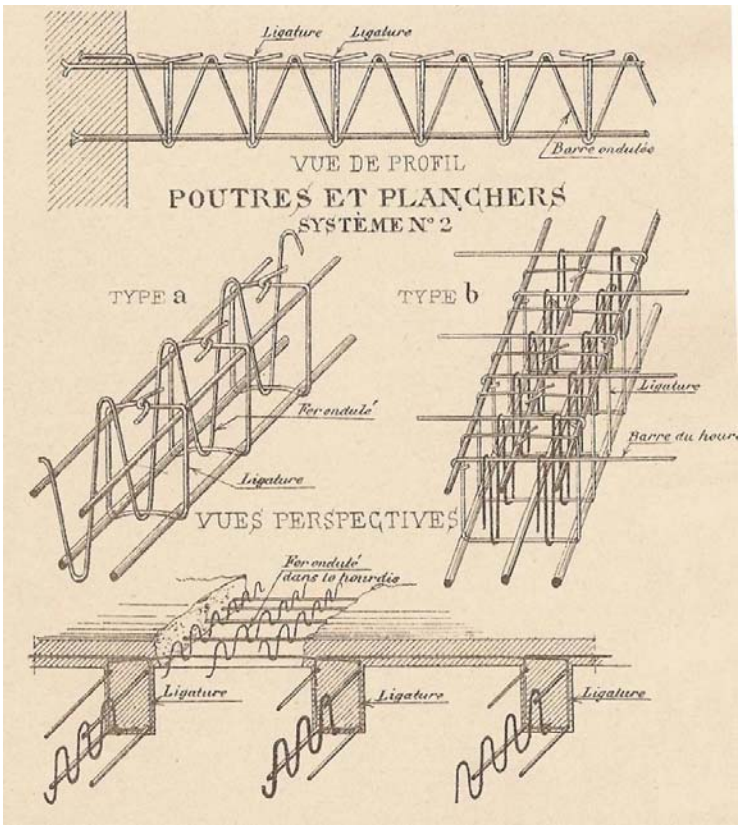


Figura 126. Vigas y forjados de hormigón armado sistema Degon. En Berger y Guillerme, *La Construction en ciment armé*.

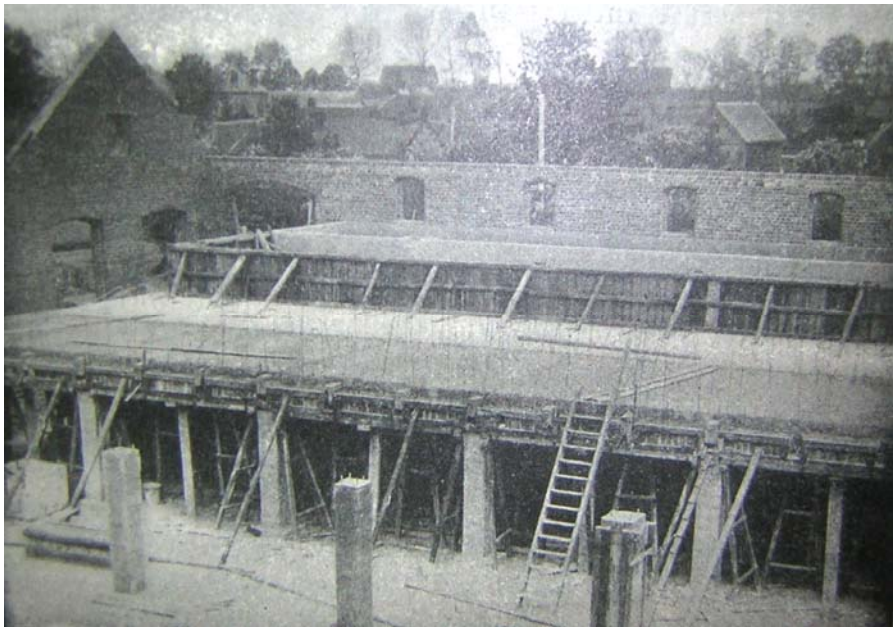


Figura 127. Fábrica de almidón de Marcoing. Sistema Degon. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé*. Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar. Madrid.

Otra propuesta digna de mención fue la del sistema Tricon, cuyos forjados aligerados con piezas cerámicas guardan cierta semejanza con los actuales

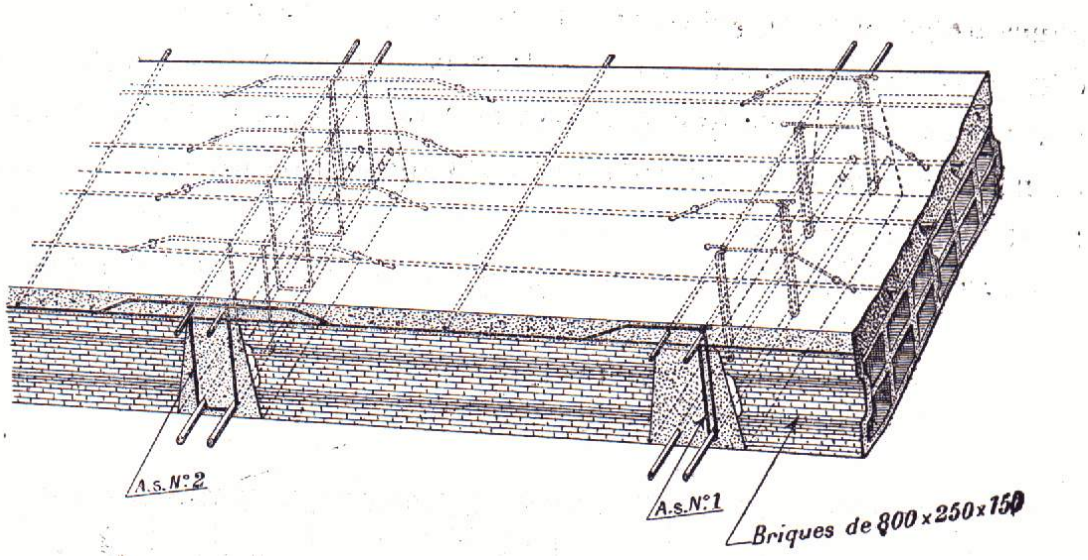


Figura 128. Forjados de hormigón armado sistema Tricon. En Planat, *L'art de bâtir*.

El último sistema original de hormigón armado fue el patentado por Paul Piketty en 1900. Terminando el siglo XIX este antiguo alumno de la Escuela Politécnica, estaba al frente de una importante empresa constructora[184]. Es probable que su primer contacto con el hormigón armado fuera la construcción de varios puentes del Departamento de la Sarthe, proyectados por el ingeniero de Puentes y Calzadas Harel de la Noë, y cuya contrata la llevó la empresa de Piketty[185].

Lo más característico de su sistema eran sus vigas con armaduras longitudinales dispuestas en un lecho inferior y otro superior, enlazadas mediante estribos inclinados en los apoyos [186].

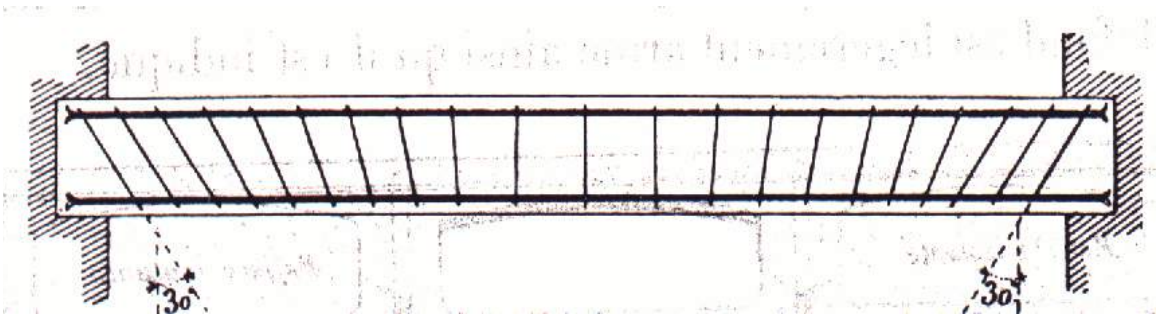


Figura 129. Vigas de hormigón armado sistema Piketty. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé*. Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar. Madrid.

Aunque tuvo bastante éxito en edificación, también destacaría en la construcción de puentes. Por ejemplo, de 1901 data el de Vigueux (Seine et Oise) estaba formado por dos arcos empotrados de hormigón armado (de veinte metros de luz) y tablero superior[187].



Figura 130. Puente de Vigueux. 1901. Paul Piketty, constructor. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé*. Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar. Madrid.

Piketty construyó asimismo buen número de pasarelas, pasos superiores, tableros nuevos y llevó a cabo diversas reformas de puentes metálicos con hormigón armado.

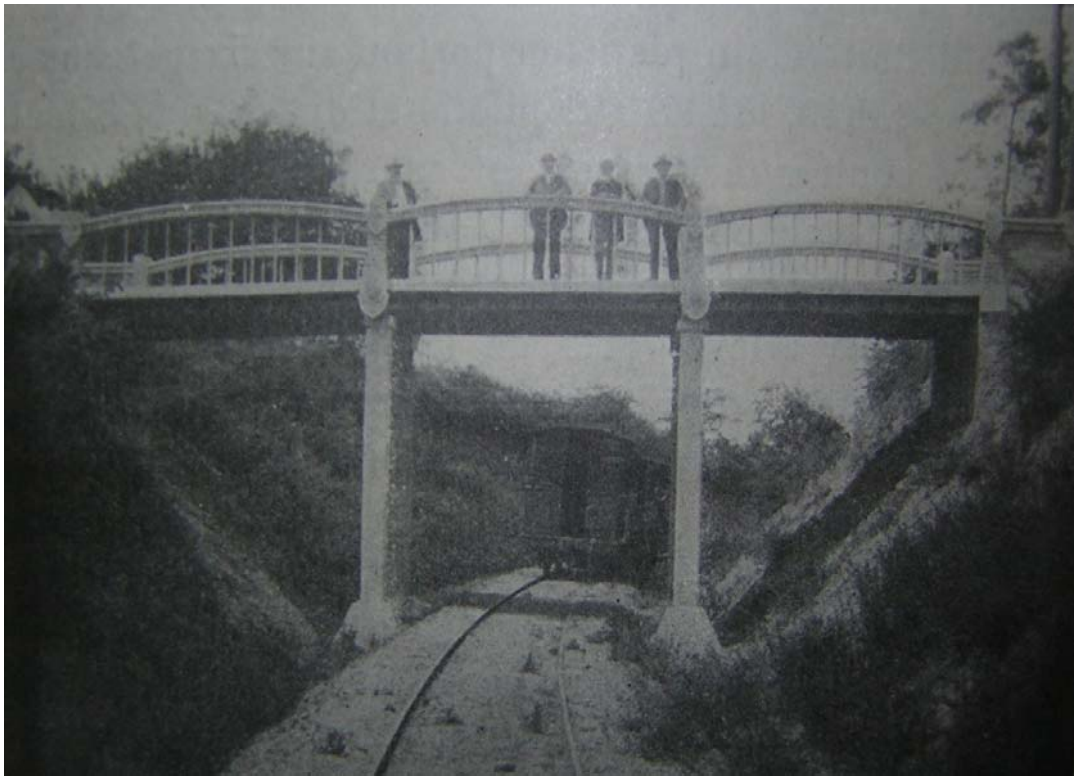


Figura 131. Paso superior sobre un Ferrocarril. Sin identificar. Hacia 1900. Paul Piketty, constructor. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé*. Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar. Madrid.

El magnífico comportamiento con que una de sus construcciones, la sala de distribución de billetes en la parisina estación de metro de Ménilmontant, mostró en un incendio ocurrido el 10 de agosto de 1903 llevó a algunos tempranamente a proclamar “el triunfo del cemento armado”. El suceso, en el que perdieron la vida 84 personas, dejó sin embargo indemnes los forjados de hormigón armado de la sala[188].

10.2. La competencia de la Sociedad de construcciones Monier en Europa Central.

La ventaja obtenida con sus investigaciones había permitido a la Sociedad de Construcciones Monier dominar el naciente mercado de la construcción con hormigón armado en Alemania y Austria-Hungría. En la práctica tenía el monopolio de estas obras, contándose por centenares sus realizaciones.

Sin embargo, como ocurría en Francia, en los noventa fueron apareciendo nuevas empresas con sistemas de hormigón armado que tendrían su importancia en determinados campos, si bien nunca estuvieron en condiciones de disputarle la primacía.

Ya en sus comienzos tendría que enfrentarse con la hostilidad de la casa Rabitz, una empresa constructora de Berlín que tenía patentado un sistema que guardaba algunas analogías con el de Monier. En efecto, sus losas y muros sólo se diferenciaban en la disposición de la malla de alambres, entrelazada a 45 en el sistema Rabitz[189].

Una de sus aplicaciones más importantes fue el revestimiento del canal Wenow en Marienthal, que se hizo en 1898.

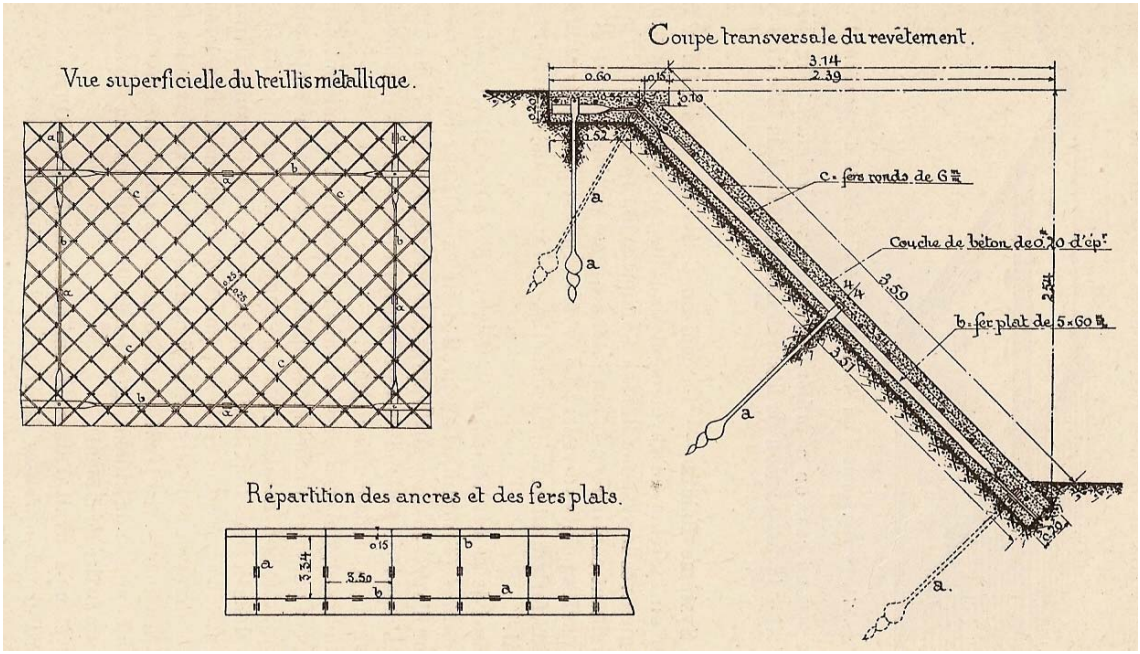


Figura 132. Revestimiento del canal Wentow en Marienthal. 1898. Rabitz, empresa constructora. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

En 1894 el profesor Möller, de la Escuela Politécnica de Brüswick patentó un original sistema de losas nervadas, que se anclaban por la parte inferior mediante una barra suspendida de sección plana. Fue explotado con bastante aceptación por la empresa constructora Drenchahn y Sudhop, también de Brünswick, en forjados de almacenes, fábricas, depósitos, etc.

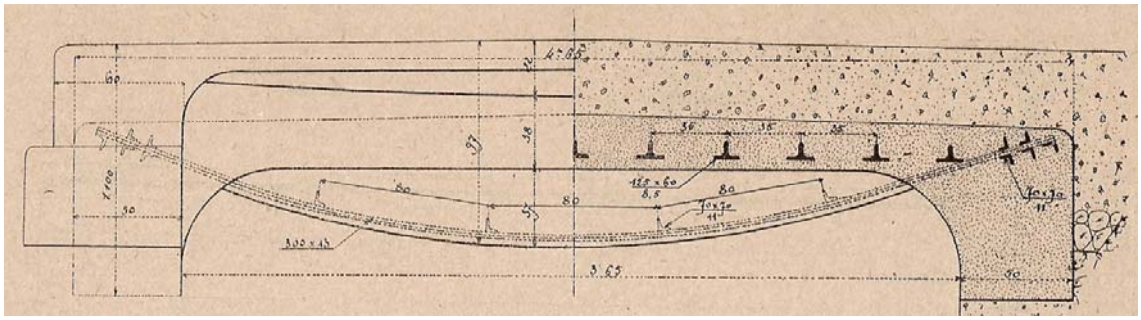


Figura 133. Disposición de armaduras en un puente sobre la línea de Ferrocarril de Berna a Friburgo, sistema Möller. En Tedesco y Forestier, *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.*

También tuvo un empleo muy extendido en la construcción de puentes y pasarelas, siendo la más representativa la construida sobre la línea del ferrocarril en Kreisensen, hacia 1896. Estaba formada por cinco tramos rectos de doce metros de luz.

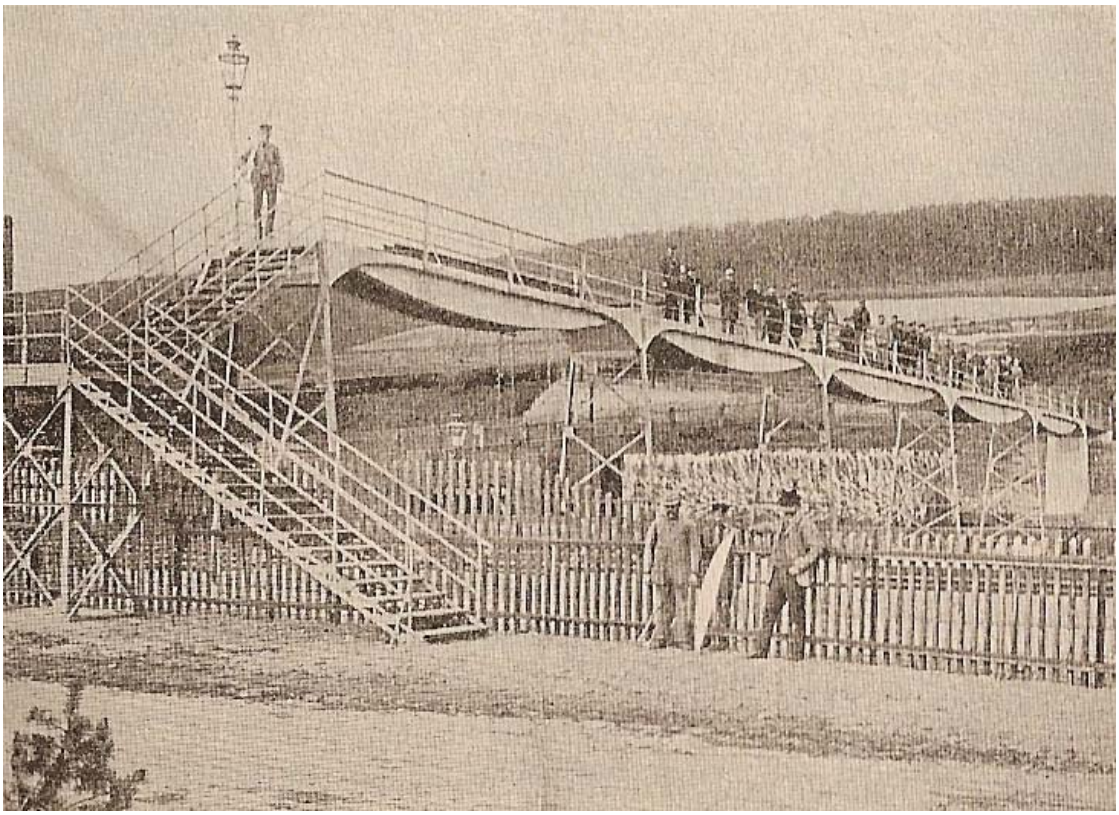


Figura 134. Pasarela sobre el ferrocarril de Kreiensen, 1896. Möller, constructor. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Otras aplicaciones interesantes del sistema Möller fueron el puente sobre el Selke en Alexisbad y un muro de revestimiento costero en la bahía de Kiel, entre Holtenau y Friedrichsort, de 1700 m de longitud[190].

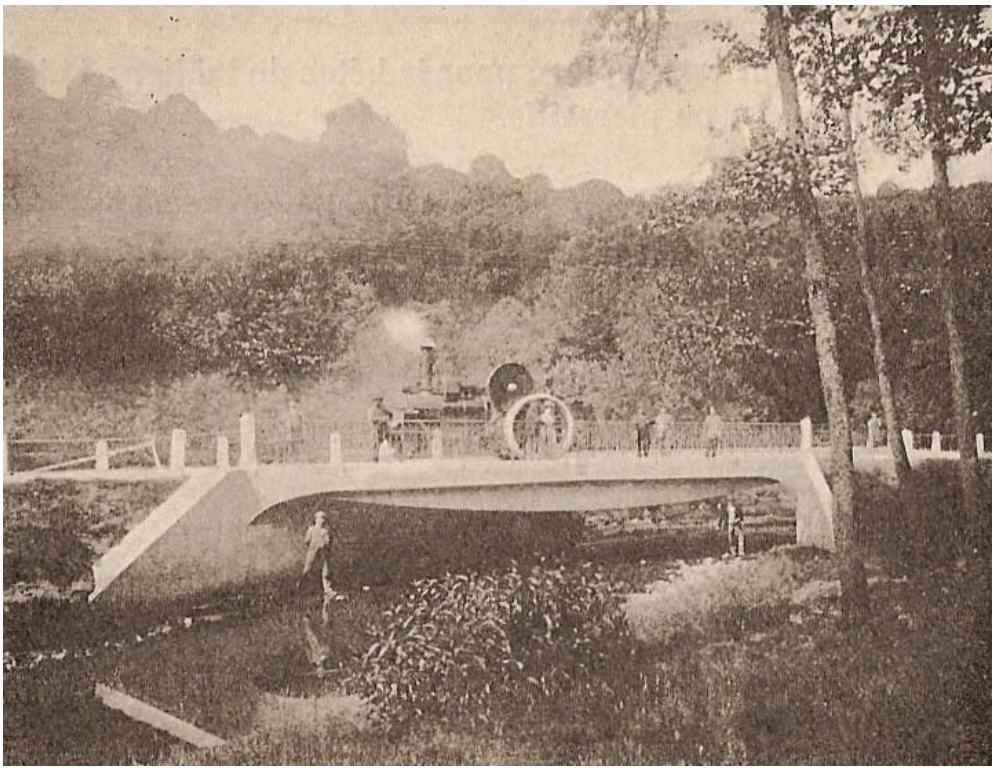


Figura 135. Puente sobre el Selke en Alexisbad (Austria). 1896. Möller, constructor. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

En el sistema patentado en 1892 en Budapest por Robert Wünsch también se empleaban perfiles metálicos como armaduras. Por ejemplo, sus forjados se resolvían con viguetas de sección T sumidas en una losa de hormigón.



Figura 136. Forjados de hormigón armado sistema Wünsch. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Este sistema tenía su aplicación más destacada en la construcción de bóvedas de grandes luces con trasdós plano. Estaban compuestas de dos series de armaduras, formadas con perfiles, una horizontal y la otra curva, que se unían en los arranques gracias a otra barra vertical que se prolongaba hasta la cimentación.

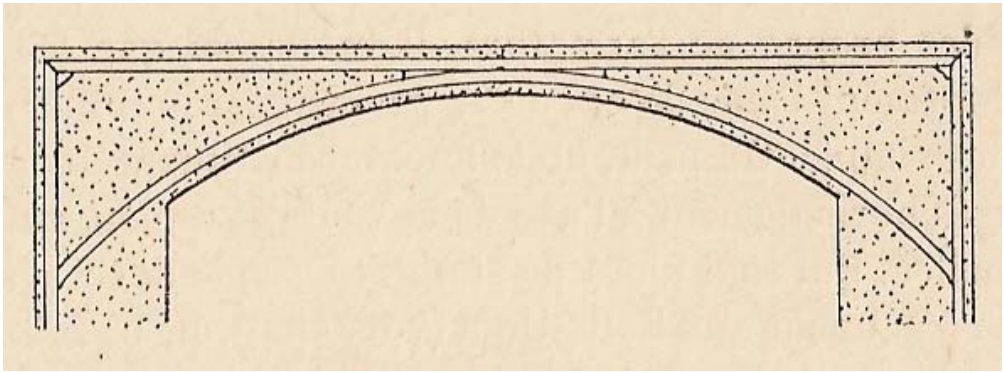
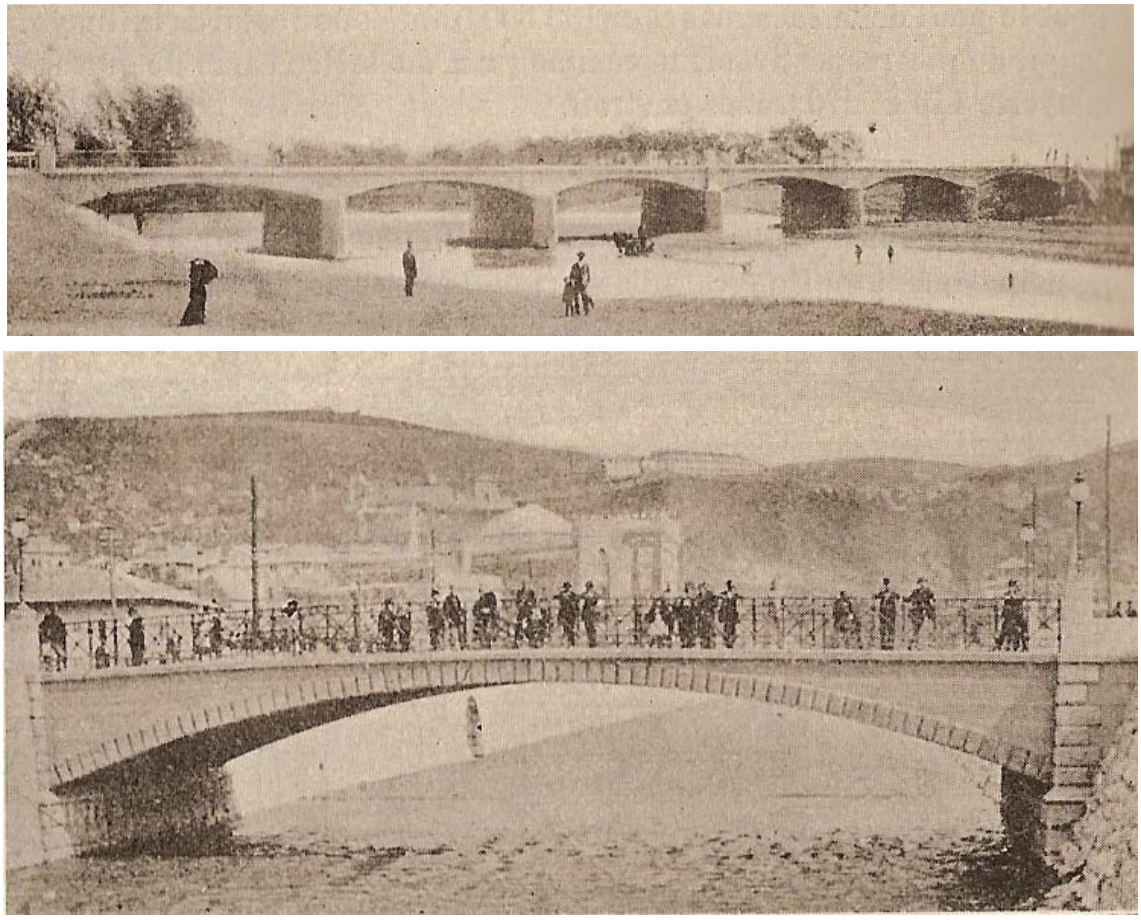


Figura 137. Bóveda con el trasdós plano. Hormigón armado sistema Wünsch. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Con esta configuración de armaduras se construyeron los puente sobre el Neutra en Neuhäsel (seis arcos de 17 metros de luz) y el del Emperador en Sarajevo (25 m de luz)[191].



Figuras 138 y 139. Arriba, Puente sobre el río Neutra en Neuhäsel (Hungría). 1892. Abajo, Puente del Emperador sobre el río Miljacka en Sarajevo (Bosnia). 1897. Robert Wünsch, constructor. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Varios fueron los sistemas específicamente orientados a la construcción de forjados, como el de la casa berlinesa Jules Donath y Compañía

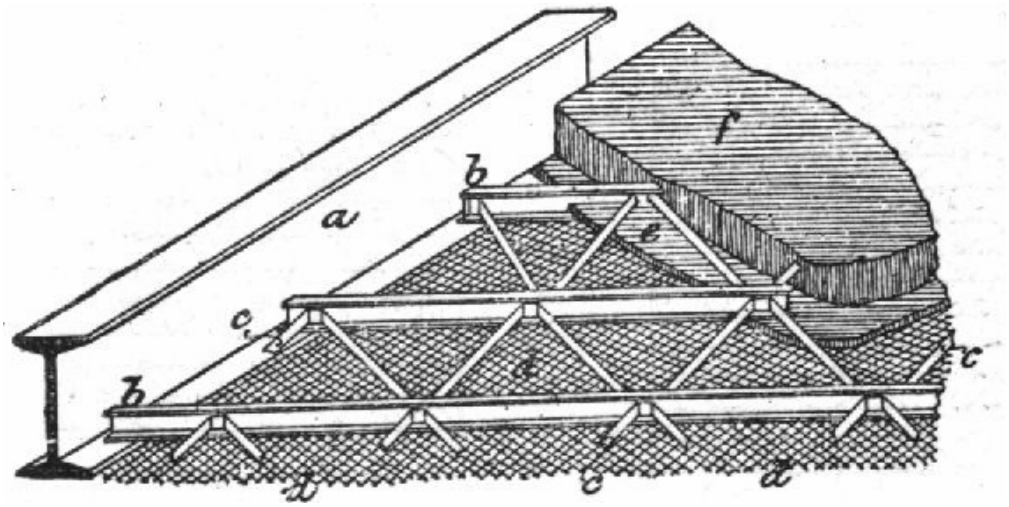


Figura 140. Sistema de forjados de hormigón armado sistema Donath. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

En el sistema Habrich, explotado por la compañía Thomas y Steinhoff de Mülheim se utilizaban hierros planos retorcidos en espiral para constituir forjados y bóvedas. La cubierta del hangar de la estación de mercancías de Bâle (Suiza) se resolvión con bóvedas de este tipo de 16 m de luz[192].

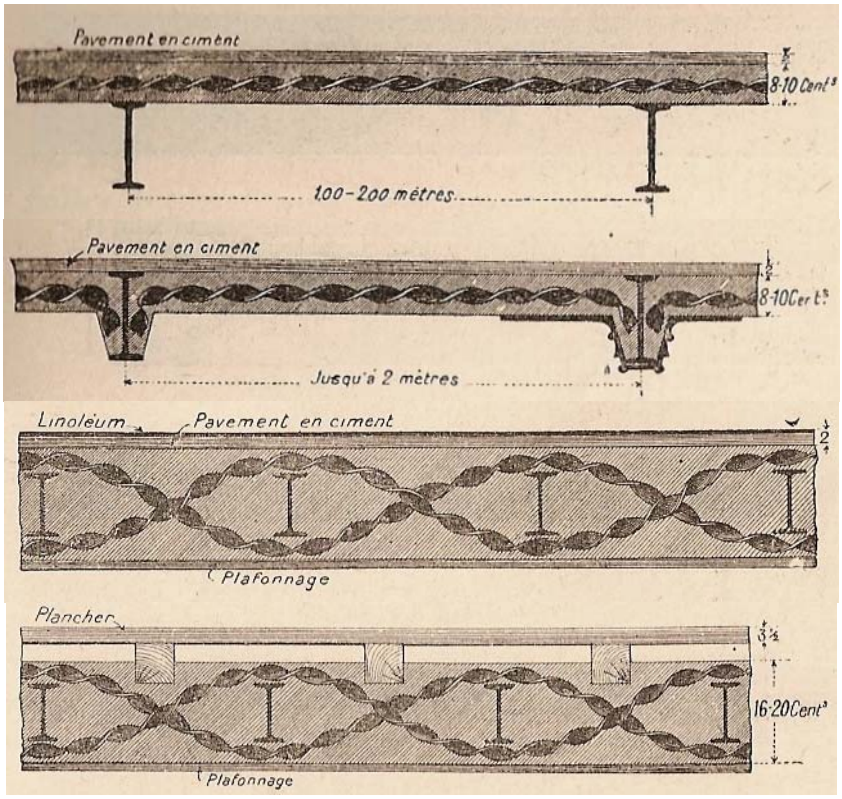


Figura 141. Forjados de hormigón armado sistema Habrich. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

La Sociedad de construcción de máquinas de Nuremberg utilizaba otro curioso sistema de forjados, el Klett, con nervios formados por vigas de sección en doble T rodeadas de hormigón y los losas con barras curvas que sostenían hierros en L de pequeñas dimensiones[193]. Se utilizó en la cubierta del *Grand Hall* de la Estación de Nuremberg.

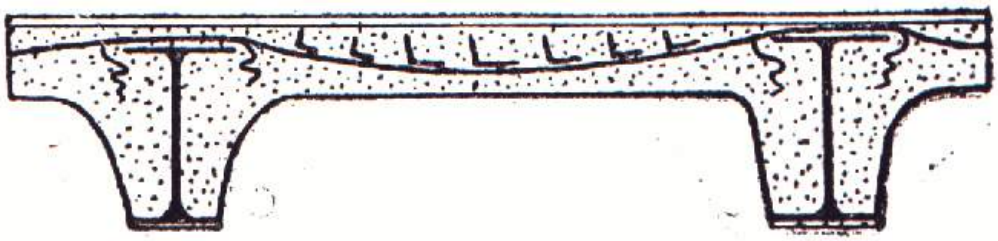


Figura 142. Forjados de hormigón armado sistema Klett. En la *Revista de Obras Públicas*. Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Pero de todos los sistemas que aparecieron en los Imperios Centrales el que más trascendencia tendría, aparte del Monierbau, sería el patentado en 1892 por el profesor Joseph Melan, de la Escuela Politécnica de Brünn.

Los puentes de Melan, bóvedas de hormigón con armadura rígida de perfiles metálicos, tuvieron una gran difusión en Austria-Hungría, pero sobre todo conocerían un extraordinario desarrollo en Estados Unidos.

De sus puentes austro-húngaros pueden reseñarse el de Czernowitz sobre el río Klokuczkabach, uno de los primeros sería en construirse (1892). Seis años más tarde se levantó el de Steyr, un arco de 42 m de luz articulado en los arranques y la clave[194]. De menor entidad pero también destacable sería l paso superior sobre la línea del Mosela en Wasserleich[195]

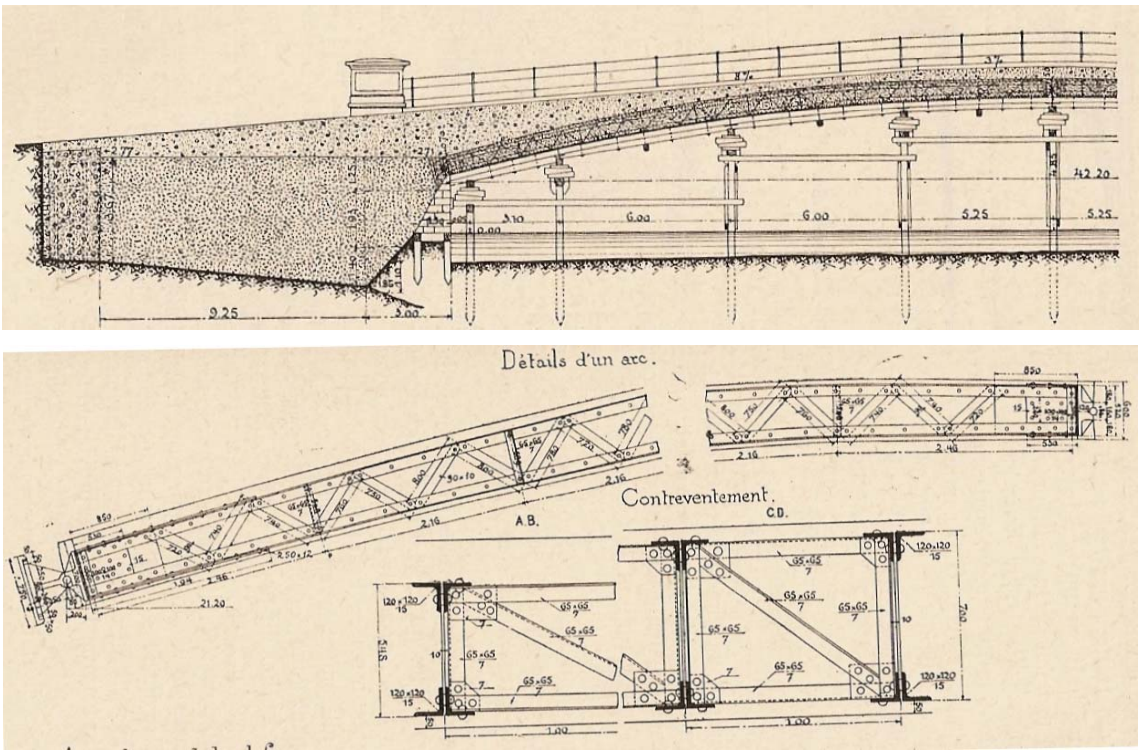


Figura 143. Puente de Steyr (Austria). 1898. Sección transversal y detalle de las armaduras. Joseph Melan, constructor. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

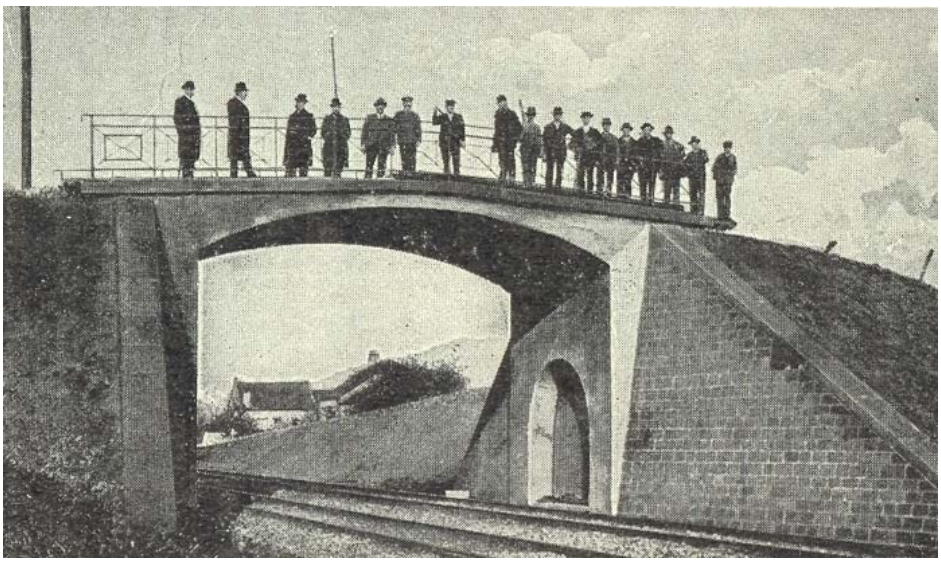


Figura 144. Pasarela de Wasserliesch sobre la línea de ferrocarril de la Mosella (Bélgica). 1900. Vista y detalle de las armaduras. Joseph Melan, constructor. En Mörsch, *Le béton armé.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos.

10.3. Progresos del hormigón armado en otros países.

A finales del siglo XIX las construcciones de hormigón armado comenzaron a extenderse por todo el Mundo. En muchas ocasiones, esta expansión fue debida a la iniciativa empresarial de algunas compañías, principalmente la firma francesa Hennebique, que buscaban ampliar su mercado. De este modo, aunque siempre con la valiosa intervención de técnicos y empresarios autóctonos, se introdujo el hormigón armado en naciones como España o Italia.

En cambio, en otros países, a pesar de las incursiones de las empresas foráneas, surgirían empresas nacionales que capitalizarían el mercado local de las construcciones de hormigón armado. Así ocurrió por ejemplo en Holanda, donde desde 1890 operaba la Sociedad de Amsterdam, también conocida como Wittenburg, el barrio donde se encontraba su fábrica.

Tras unos comienzos dubitativos, con la incorporación del ingeniero A. Sanders, notable investigador del nuevo material, recibió el impulso que necesitaba para configurarse como una gran empresa constructora. En los últimos años del siglo registró una actividad extraordinaria, realizando destacadísimos trabajos, como el grandioso edificio de la Caja de Ahorros de Amsterdam, el Hotel Mercurius en La Haya, las oficinas del Ferrocarril de Utrecht o el Hospital Wilnhelmina. En su trayectoria también hubo lugar para otras construcciones menores, como una fábrica de margarina en Osch o los andenes de la estación de Rotterdam[196].

Sorprendentemente, Gran Bretaña, país que había capitaneado buena parte del progreso de las construcciones de hormigón en el siglo anterior, apenas destacaría en el desarrollo del hormigón armado. Cedería el protagonismo a compañías extranjeras, principalmente francesas, que se implantaron rápidamente al otro lado del Canal de la Mancha.

Así, desde 1895 la firma Hennebique tenía al ingeniero Louis Gustave Mouchel como agente general en el Reino Unido[197]. Este dirigió la construcción del primer edificio de hormigón armado de Gran Bretaña, la fábrica de harinas Weaver & Company Limited de Swansea, terminada en 1897.

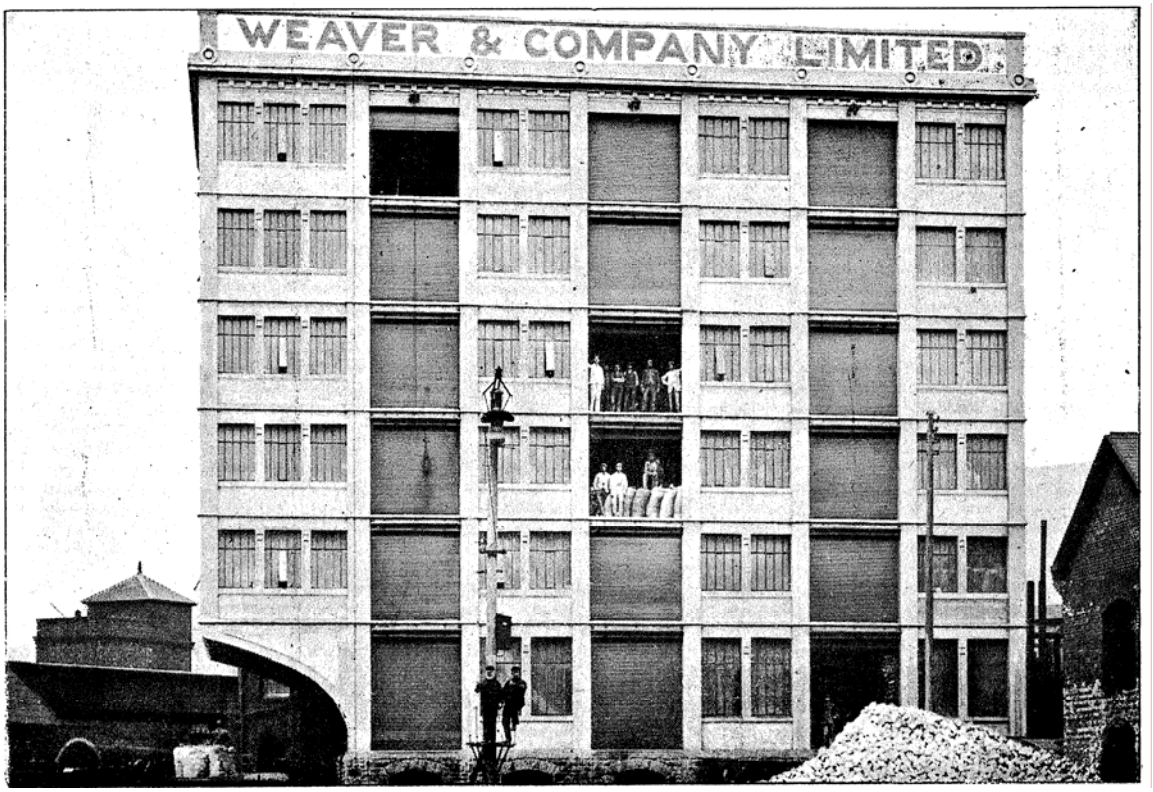


Figura 145. Fábrica de harinas Weaver en Swansea (Gran Bretaña). 1897. Organización Hennebique, empresa constructora. En *Construcciones en hormigón armado*. Biblioteca Foral de Bizkaia.

Pero lo más destacado de la producción de Hennebique en Gran Bretaña fueron sus grandes obras portuarias, como los muelles sobre palizada de pilotes construidos en 1898 en Woolston (Southampton).[198]

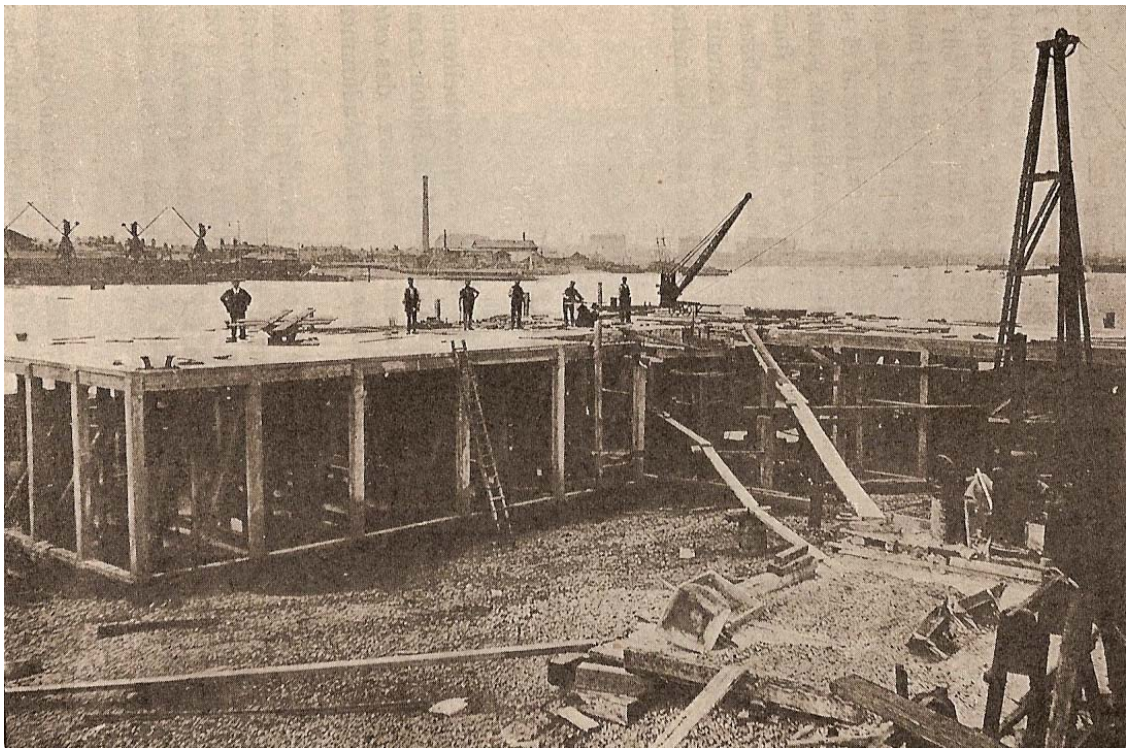


Figura 146. Muelle sobre palizada de pilotes en Woolston (Southampton). Organización Hennebique, empresa constructora. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Otra de sus realizaciones descollantes fueron los imponentes almacenes del Canal Marítimo de Manchester, cinco edificios idénticos de dos alturas sobre planta rectangular de 130 m de longitud por 33.50 m de achura. Los construyeron a lo largo de 1904 sus concesionarios Lovatt y Brueder[199].

Tras la estela de Hennebique, también intentó introducirse en el Reino Unido la Sociedad de Construcciones en *Fer-Béton,* que en 1899 realizó una demostración de su sistema en Edimburgo. Se hicieron unos forjados de prueba que se sometieron a impactos y a temperaturas de más de mil grados centígrados[200]. La prueba se saldó con éxito, pero tras la súbita desaparición de la compañía francesa en 1900, el intento quedó en vano.

Mejor suerte correría el sistema Monier, aunque en otra parte del Imperio Británico tan alejada como Australia. A mediados de los noventa, el inmigrante alemán W. J. Baltzer se asoció con varios hombres de negocios para introducir el sistema que estaba revolucionando la construcción en su país natal. En 1896, tras comprar a Wayss y Freytg la licencia del *Monierbau* para las Colonias Australianas, la *Carter Gummow & Company*, con Baltzer en la dirección técnica, construyó los acueductos de Johnstone's Creek y Whites Creek en Annandale.

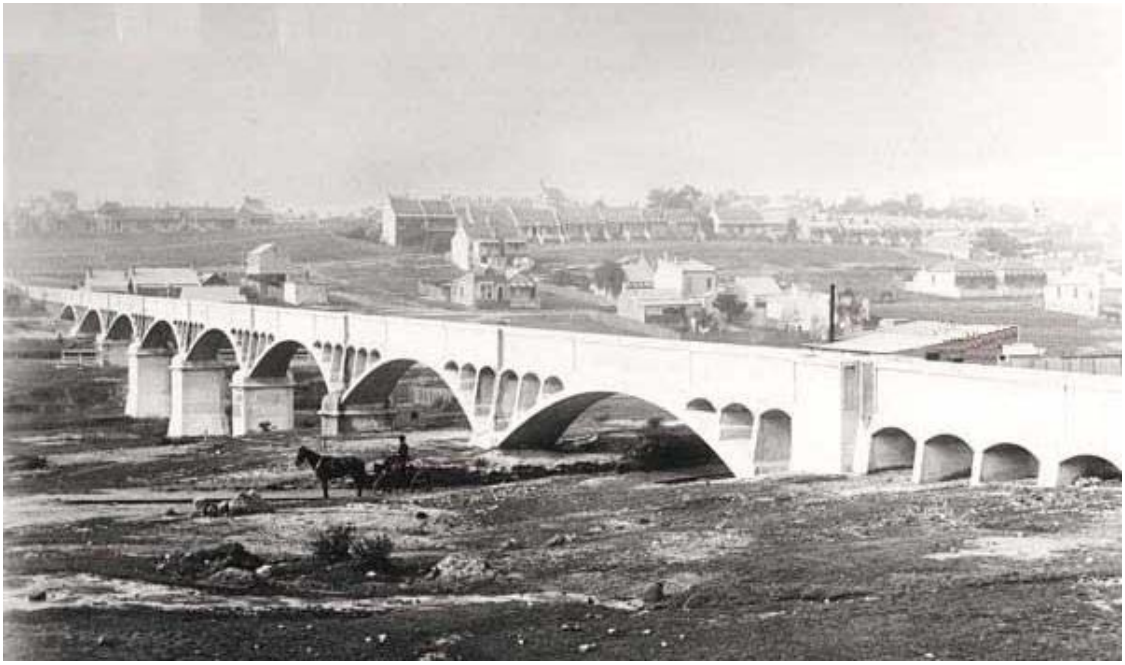


Figura 147. Acueducto de Johnstone's Creek. Annandale (Australia).1896. W.J. Baltzer, ingeniero.

Al mismo tiempo el ingeniero Alfred Barton Brady construía con el sistema Wünsch el puente Lamington sobre el Mary-River en Maryborough (estado de Queensland). Se trataba de una obra ya de envergadura, un puente de 186 m de longitud, formado por once arcos de quince metros de luz[201].

Terminando el siglo, la sociedad formada por el ingeniero John Monash y el constructor Joshua Anderson compró a Carter Gummow & Company la patente Monier para el estado de Victoria, lanzándose a construir hasta quince puentes en arco entre 1899 y 1903.



Figura 148. Puente de Ford's Creek. Mansfield (Australia). 1903. John Monash, ingeniero. University of Melbourne Archives

Desgraciadamente, uno de ellos, el Kings Bridge, de Bendigo, colapsó mientras se le hacía una prueba de carga. En el proceso judicial que siguió al accidente se determinó que había sido debido a causas de fuerza mayor, pero la empresa no pudo superar el incidente y se disolvió.

John Monash fundó entonces una empresa de ingeniería, la *Reinforced Concrete & Monier Pipe Co.* con la que, a pesar de todo, seguiría apostando por el hormigón armado. En los años siguientes estudiaría con empeño el estudio del nuevo material, no tardando en desarrollar procedimientos propios complementarios al sistema Monier. Los llevaría a la práctica por primera vez en la construcción del puente de la calle Stawell, de la ciudad de Ballarat. Fue su primer puente en viga recta, construido en 1904.



Figura 149. Stawell Street Bridge. Ballarat (Australia). 1904. John Monash, ingeniero. University of Melbourne Archives.

Los proyectos de la empresa se multiplicaron, abarcando obras de arquitectura residencial e industrial y todo tipo de obras civiles Sin embargo, al estallar la Gran Guerra Monash decidió incorporarse al Ejército, dejando la compañía paralizada. A su regreso, no retomaría la actividad[202].

En la vecina isla de Nueva Zelanda el hormigón armado despertó un gran interés, comprensible en un país en pleno desarrollo, con necesidad de hacer edificios resistentes a los terremotos. El nuevo material se hizo común a partir de 1900, utilizándose en diversos edificios de Auckland y Wellington. En 1907 se construiría el *Grafton Bridge*, el mayor arco de hormigón armado del mundo[203].



Figura 150. Grafton Bridge. Auckland (Nueva Zelanda). 1907. R.F. Moore, ingeniero civil. Upper Hutt City Library.

En Italia, desde 1899 la casa G. Odorico de Milán construía obras de hormigón armado empleando distintos sistemas. Con el de Monier construyó un puente acueducto en arco de diecinueve metros de luz en Onigo de Pavía (Treviso)[204]. También probó con el sistema de Matrai, con el que hacia 1900 hizo una importante superficie de forjados en edificios industriales y residenciales. Por ejemplo, construyó 600 m^2 en la fábrica de hilaturas de Venzaghi, de Busto Arsizio[205].

Pero en la introducción del hormigón armado en Italia quien fue realmente decisivo fue el ingeniero civil e industrial Giovanni Antonio Porcheddu. Hacia 1894 se asoció con Hennebique como agente general de su sistema en Italia. En las décadas siguientes, de su estudio de Turín saldrían incontables proyectos de todo tipo: edificios de viviendas, fábricas, puentes,….llegando

algunas de sus realizaciones a superar no sólo las de la casa matriz en Francia, sino a ser de las más importantes a nivel mundial[206].

Una de estas construcciones paradigmáticas fueron los silos de grano del puerto de Génova, enorme complejo industrial que ocupaba una superficie de 7155 m^2, distribuida entre almacenes de grano, salas de maquinaria (incluso una torre de montacargas), terminal de carga ferroviaria y edificio de administración. Fue construido entre 1898 y 1901, según proyecto de los arquitectos Carissimo, Crotti y De Cristoforis, con la estructura a cargo de las oficinas técnicas de Porcheddu en Turín y Hennebique de Bruselas[207].

Entre sus realizaciones no podían faltar los depósitos y los silos, las construcciones estrella de la casa Hennebique. Por ejemplo, antes de 1900 se construyó el de Scafati, sobre la cubierta de una fábrica de tres plantas.

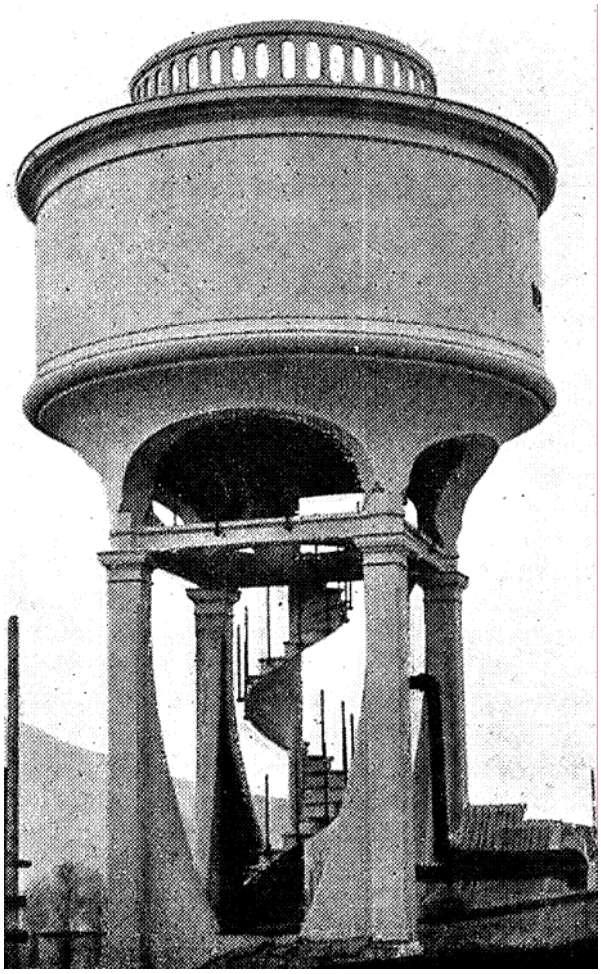
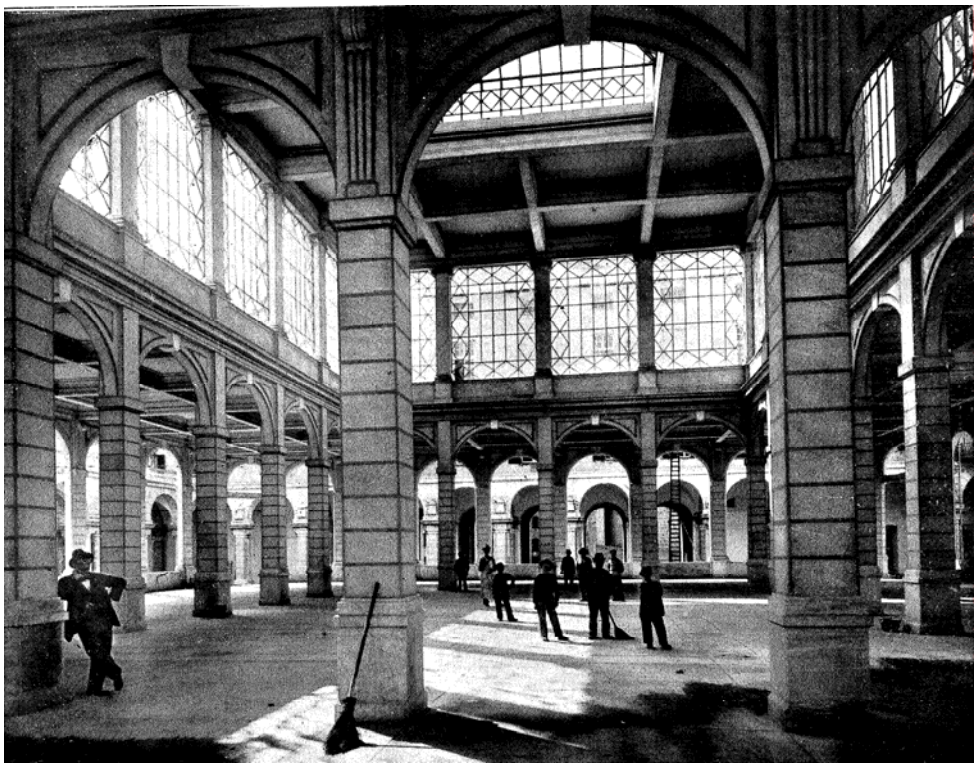


Figura 151. Depósito elevado de Scafati (Italia).1900. Giovanni Porcheddu, ingeniero civil. En *Construcciones de hormigón armado.* Biblioteca Foral de Bizkaia.

Y también llevaría a cabo edificios públicos singulares, tan destacados como el mercado de Génova, y el Ayuntamiento de Bolonia, los dos realizados en torno a 1900.





Figuras 152 y 153. Arriba, Mercado de Génova. Abajo, Ayuntamiento de Bolonia. Hacia 1900. Giovanni Porcheddu, ingeniero civil. En *Construcciones de hormigón armado.* Biblioteca Foral de Bizkaia.

Porcheddu también colaboraría con otros técnicos, trabajando como contratista al margen de las grandes compañías internacionales. Así ocurrió, por ejemplo, en el acueducto de Borgone, proyectado por el ingeniero Rezzonico en 1902. Tenía 1400 metros de longitud y se formaba con una caja de sección rectangular sobre pilares cuadrados[208].

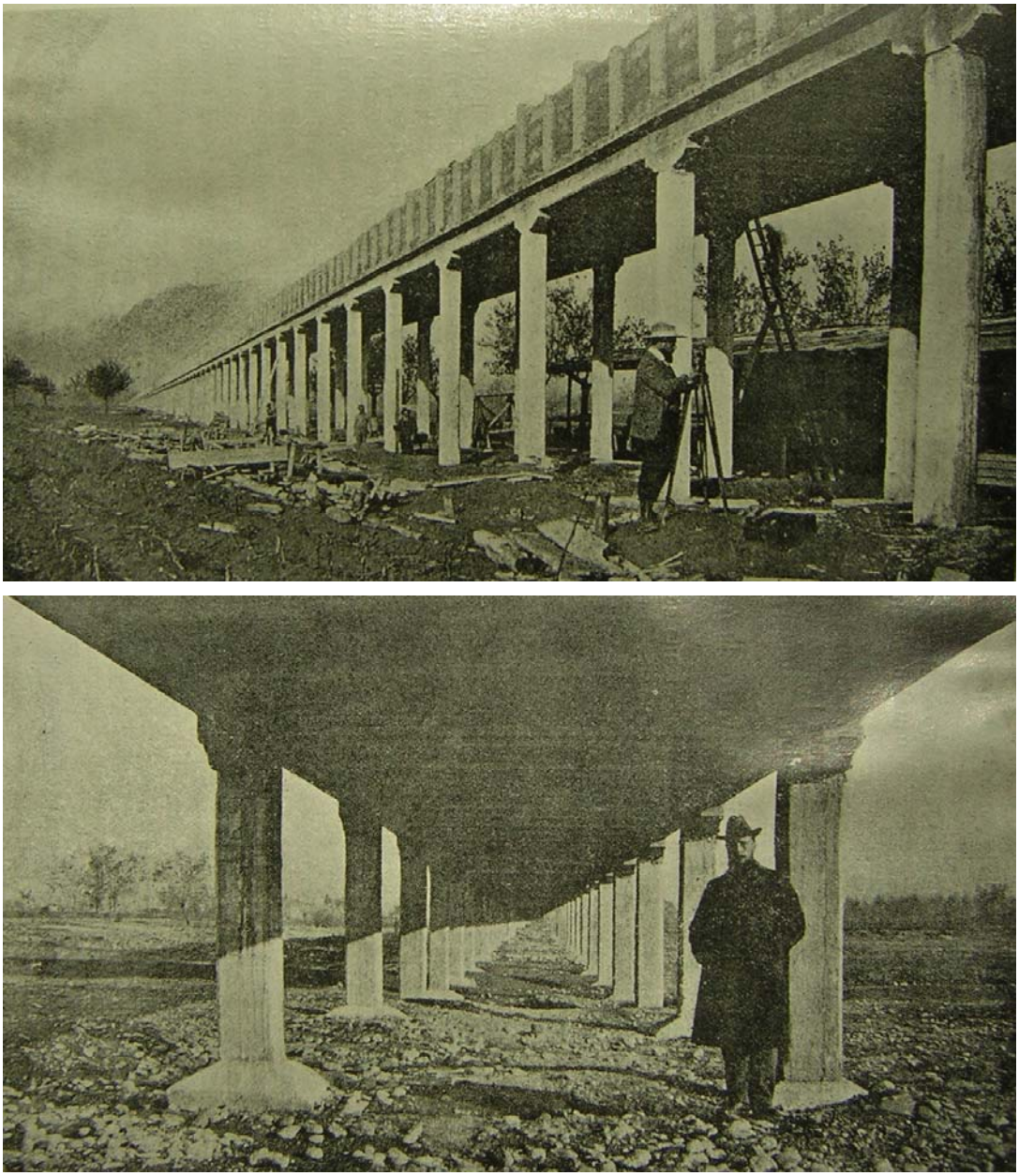


Figura 154. Acueducto de Borgone (Italia). 1902. A. Rezzonico, ingeniero civil. En *El Cemento Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid

Junto a Italia, Suiza fue uno de los países que mejor acogió al nuevo material de construcción. Tanto la la sociedad de Wayss y Freytag como la casa Hennebique contaron allí con un firme apoyo y realizaron obras pioneras.

La Sociedad de Construcciones Monier, por ejemplo, construyó en 1891 el revolucionario puente de Wildegg, un arco muy rebajado de 37 m de luz, con la dificultad añadida de estar desviado 45º respecto al cauce del río

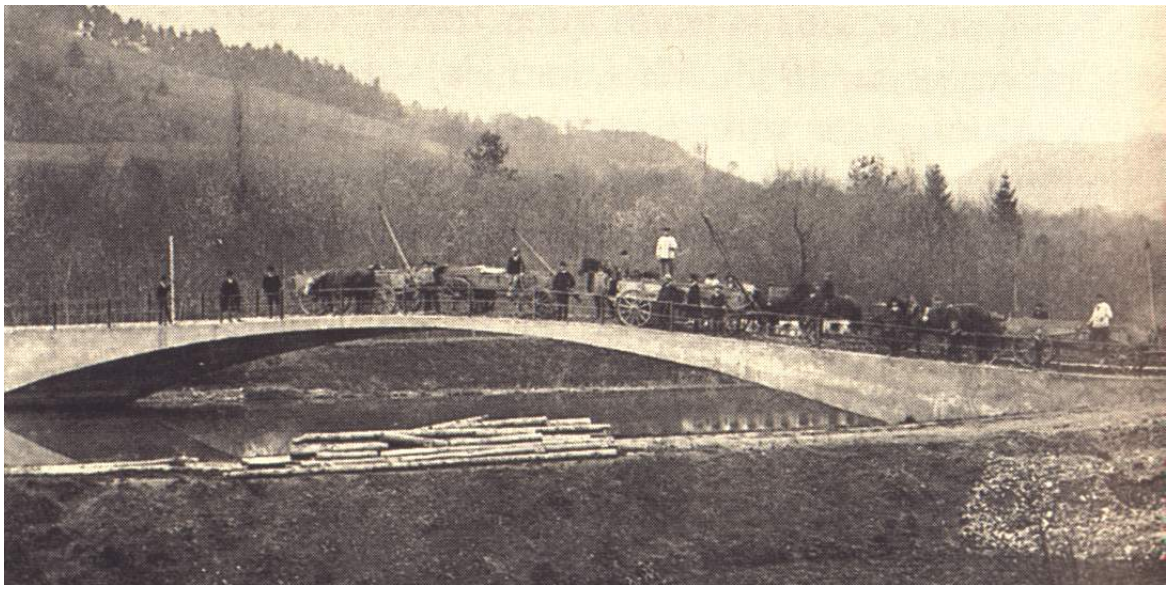


Figura 155. Puente de Wildegg (Suiza); 1890. Sociedad de construcciones Monier, empresa constructora. Cortesía de Bernard Marrey.

Por su parte, para Hennebique Suiza sería una pieza esencial de la organización. Desde 1893 Samuel de Mollins sería su agente general en este país, regentando así la primera sucursal extranjera de la firma francesa. Este brillante ingeniero civil diseñaría los primeros puentes de hormigón armado para líneas de ferrocarril, como el de Creux du Mas (también llamado puente de Rolle), en la línea de Lausana a Ginebra[209].



Figura 156. Puente de Creux-du-Mas en Rolle (Suiza), 1896. Samuel de Mollins. Ingeniero. Direction des Archives de France. Cité de l'architecture et du patrimoine. Centre de'archives d'architecture du XXe siècle.

El innovador puente de Rolle inauguraba además la tipología de tablero sobre vigas rectas, que este caso eran de 4,25 m de luz[210].

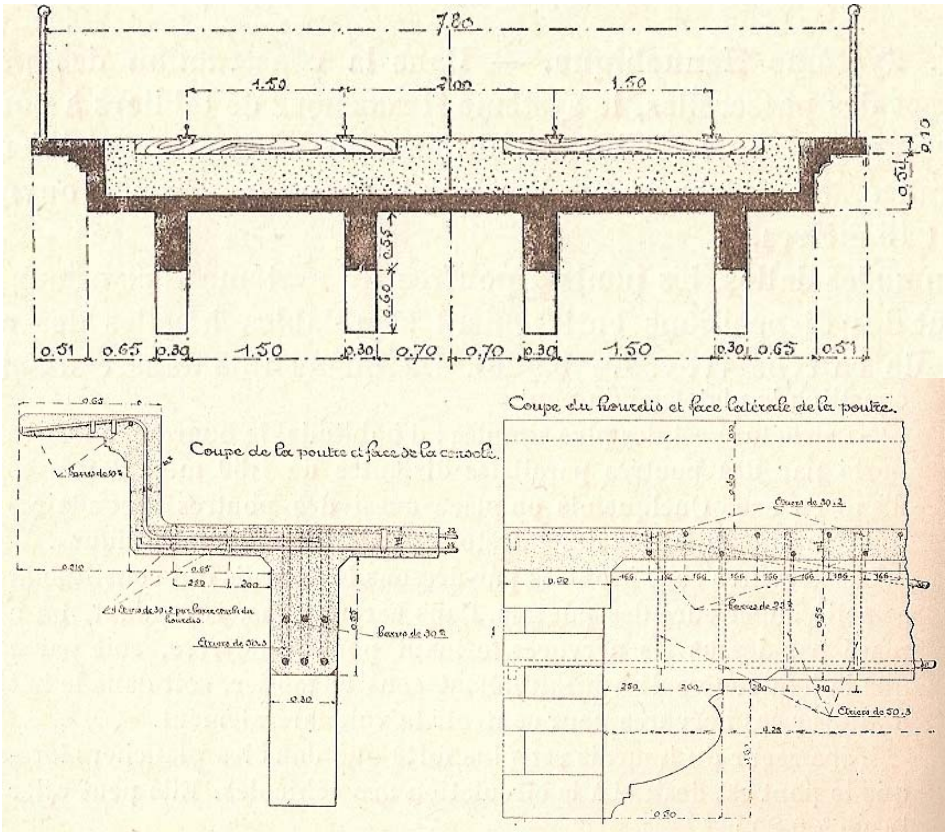


Figura 157. Detalles de la estructura del Puente de Creux-du-Mas (Suiza). 1896. Samuel de Mollins, ingeniero. En Cristophe, *Le béton Armé et ses applications..*

Otra de las construcciones emblemáticas de hormigón armado en Suiza fue el canal del túnel ferroviario del Simplon. La ejecución de esta grandiosa obra de infraestructura, que después de casi un siglo de proyectos iba a constituir la primera comunicación directa entre Italia y Suiza, requería una fuerza motriz de 790 CV. Para suministrarlos se construyó una central hidroeléctrica, abastecida desde el Ródano mediante una conducción de más de cuatro kilómetros de longitud. Buena parte de ellos se resolvió con un canal en caja de hormigón armado sistema Hennebique, apoyado a media ladera mediante pilares[211].

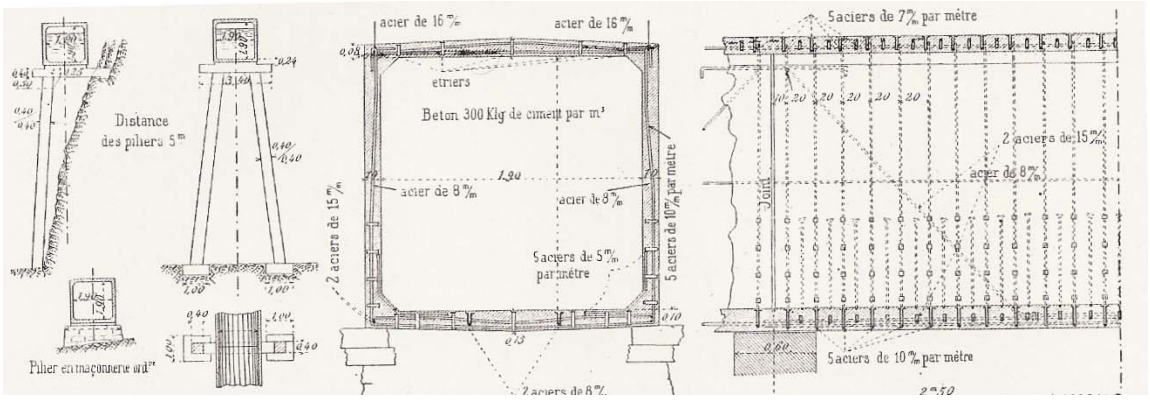


Figura 158. Detalles de la estructura del canal del túnel del Simplon (Suiza). 1899. Samuel de Mollins, ingeniero. En *Le Génie Civil.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

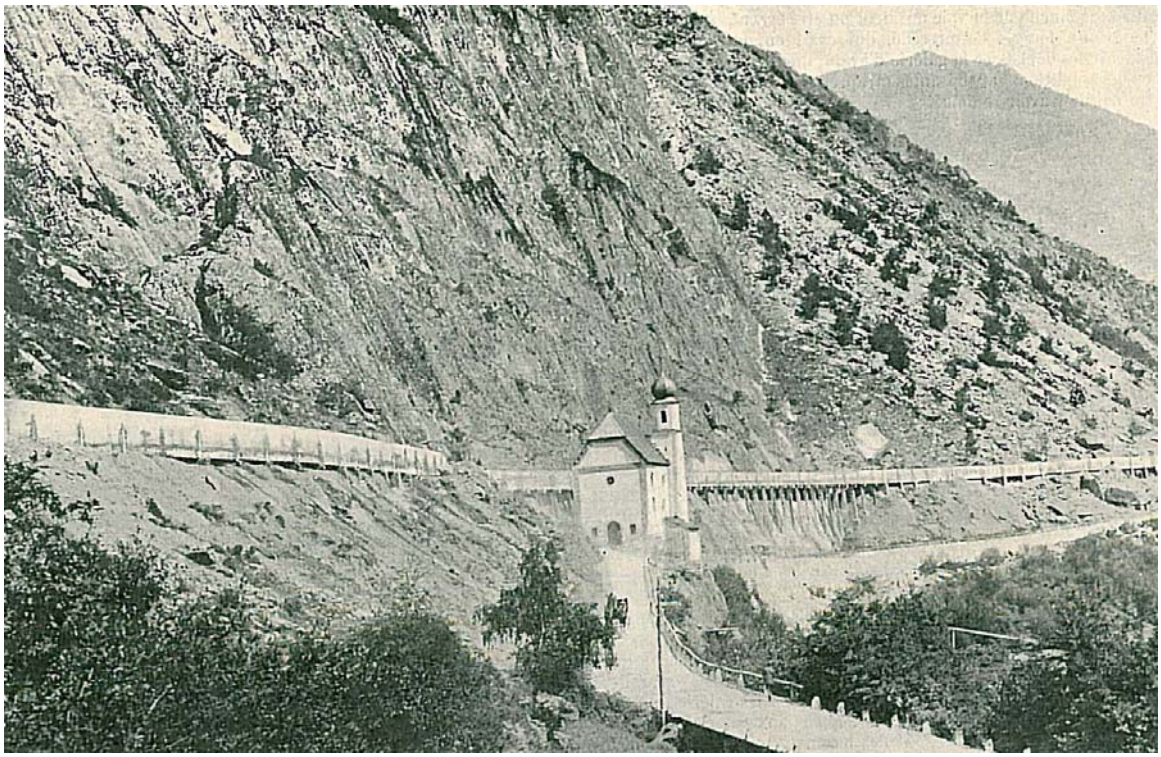


Figura 159. Canal del túnel del Simplon (Suiza). 1899. Samuel de Mollins, ingeniero. En *Le Génie Civil.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

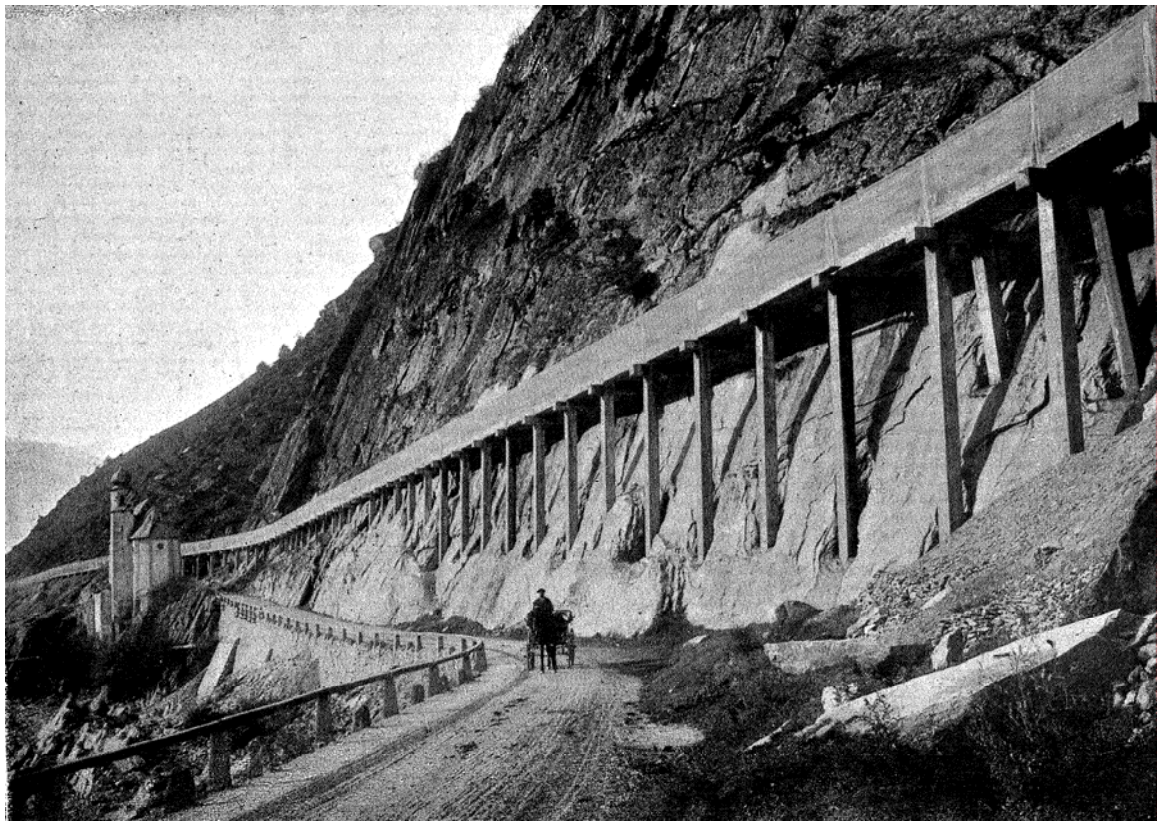


Figura 160. Canal del túnel del Simplon (Suiza). 1899. Samuel de Mollins, ingeniero. En *Construcciones en hormigón armado.* Biblioteca Foral de Bizkaia.

Superado el cambio de siglo los técnicos suizos se distinguieron en el diseño de sistemas prefabricados de hormigón armado. Hacia 1903 se patentaron las vigas Siegwart, de sección hueca, con entalladuras laterales. Se podían construir forjados de hasta ocho metros de luz adosandolas y rellenando de mortero muy rico en Portland los huecos laterales.

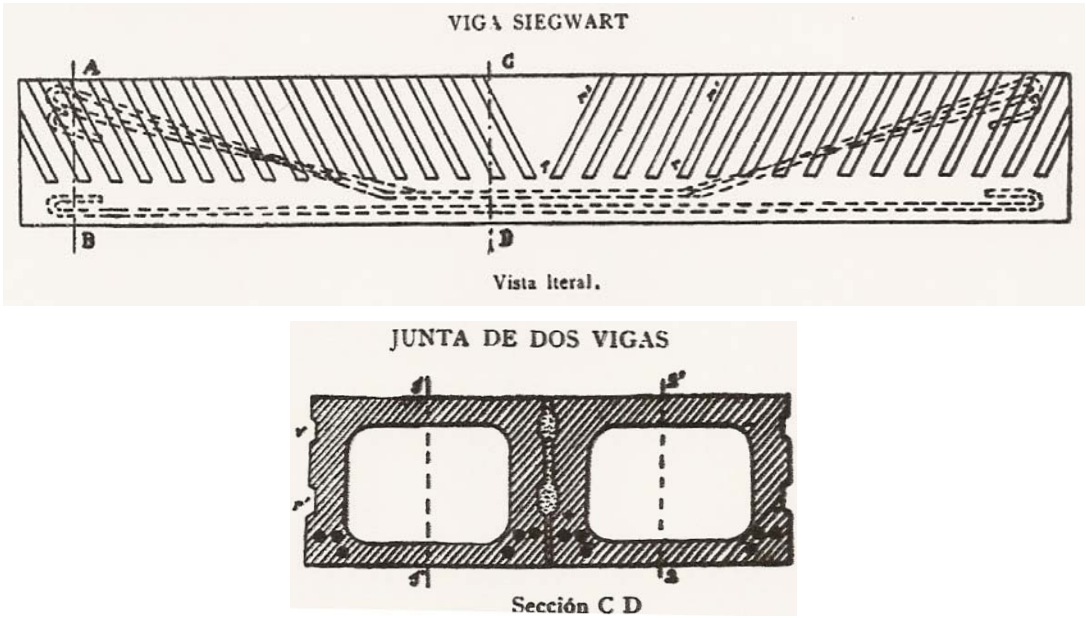


Figura 161. Vigas prefabricadas de hormigón armado sistema Siegwart. En *La Construcción Moderna.* Biblioteca Nacional de España.

Sin embargo, su fabricación exigía moldes especiales, por lo que sus aplicaciones estaban muy limitadas[212].

Más completo era el sistema industrializado diseñado por el arquitecto de Zurich Franz Visintini. Se formaba con vigas de hormigón en celosía con armaduras longitudinales, a partir de las cuales se podían hacer todos los elementos estructurales de una edificación[213].

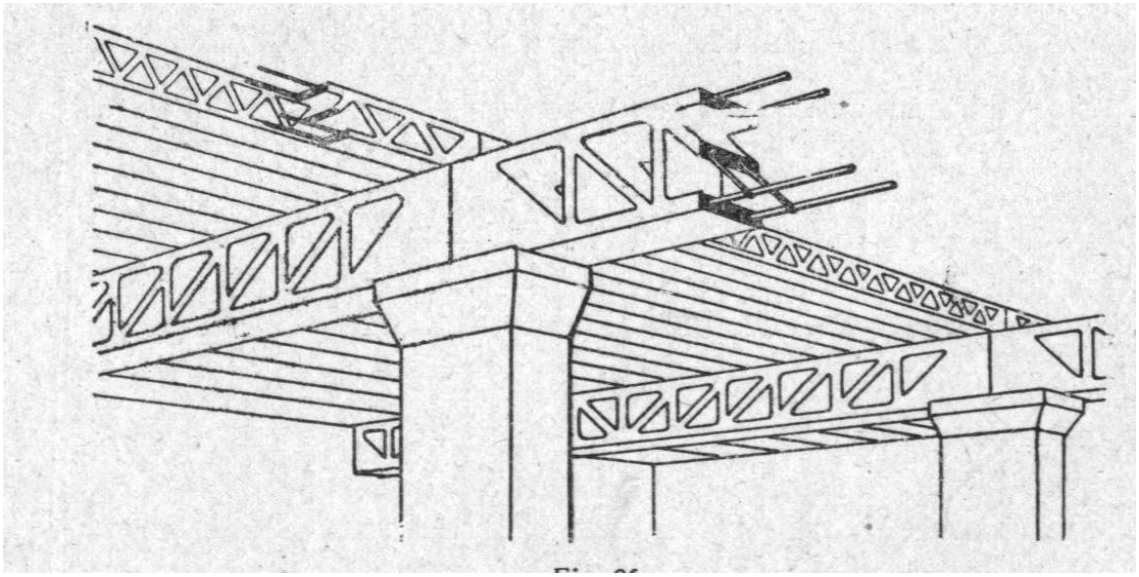


Figura 162. Sistema Visintini de construcción industrializada de hormigón armado. En *La Construcción Moderna.* Biblioteca Nacional de España.

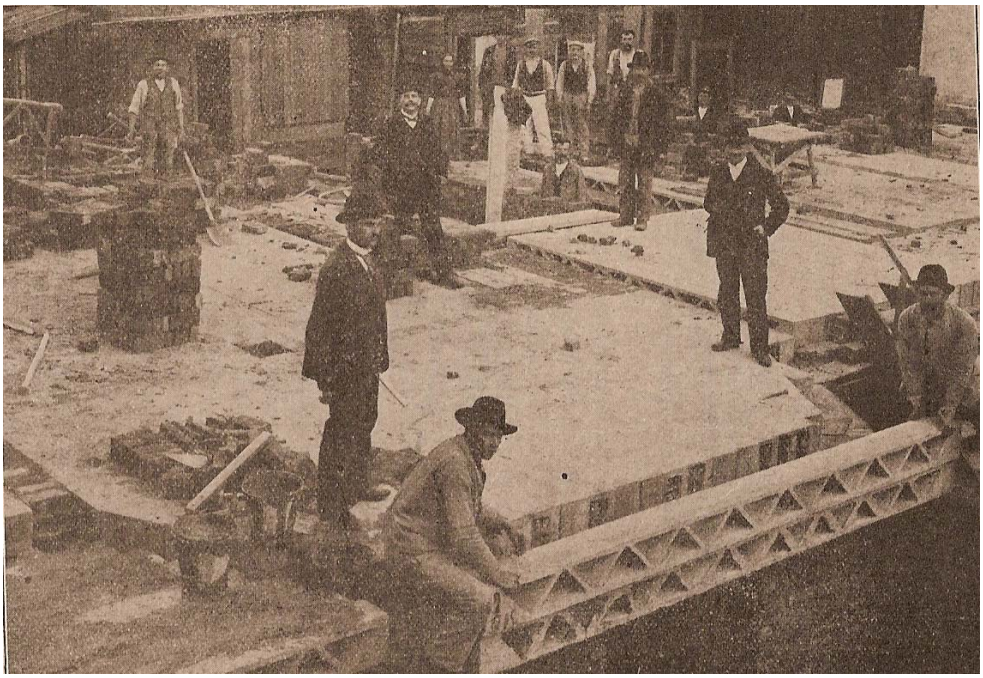


Figura 163. Ejecución de forjados del sistema Visintini en una obra sin identificar. En Tedesco y Forestier: *Manuel du constructeur en ciment armé.*

En Bélgica, el hormigón armado arrancaría ligado también a la firma Hennebique. La de Bruselas sería una de las primeras y con el tiempo más importante oficinas tecnicas de la casa francesa. El ingeniero Paul Cristophe, que tan destacada contribución haría a la difusión del nuevo material con su tratado *Le béton armé et ses applications*, tendría con ella una significada vinculación.

Desde esta oficina se acometerían grandes proyectos internacionales, como los silos de grano del Puerto de Génova. En Bélgica, una de sus obras más destacadas sería el puente del *Pain Perdu* en Gante, un arco rebajado de 22 metros de luz[214]

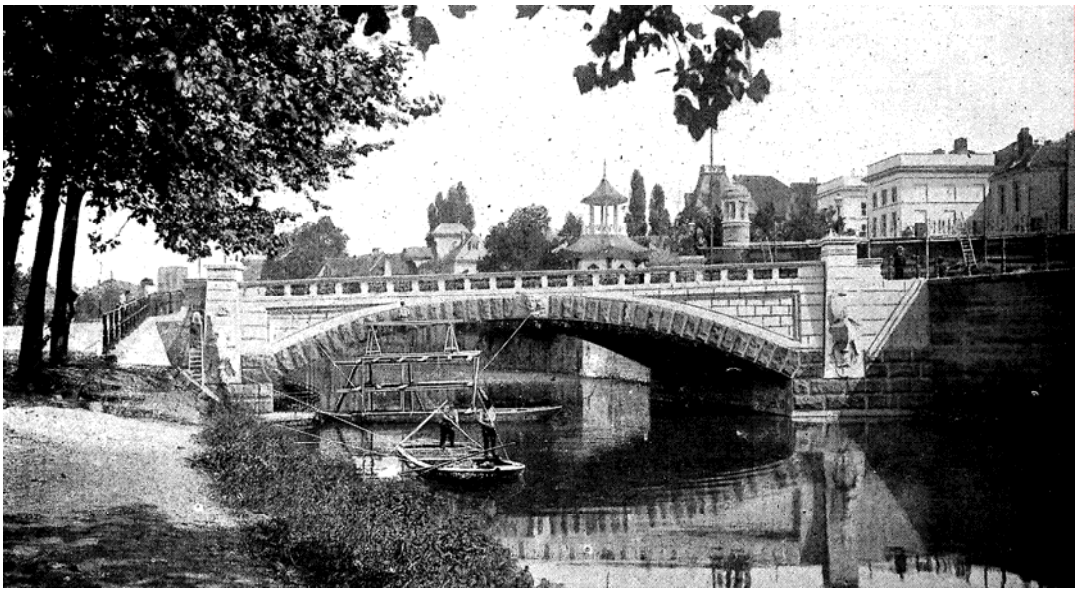


Figura 164. Puente de Pain Perdu en Gante (Bélgica).1900. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En *Construcciones de hormigón armado.* Biblioteca Foral de Bizkaia.

En Rusia el hormigón armado se implantaría también de forma rápida. A lo largo del siglo XIX, los constructores y técnicos rusos habían estado al corriente de los progresos en las construcciones con hormigón que iban generándose en otros países europeos. El general Scouliatschenko, por ejemplo, fue un notable investigador de los cementos. Sus trabajos supusieron un importante impulso para la industria del cemento en Rusia[215].

A principios de siglo XX, ya trascendían algunas notables construcciones rusas, como el gran faro de Nicolayev, situado en la desembocadura del río Boug en el Mar Negro. Obra del ingeniero N. Piatnitsky y del arquitecto Bauchnikow, era una columna hueca de cuarenta metros de altura, resuelta con sección en corona circular[216].

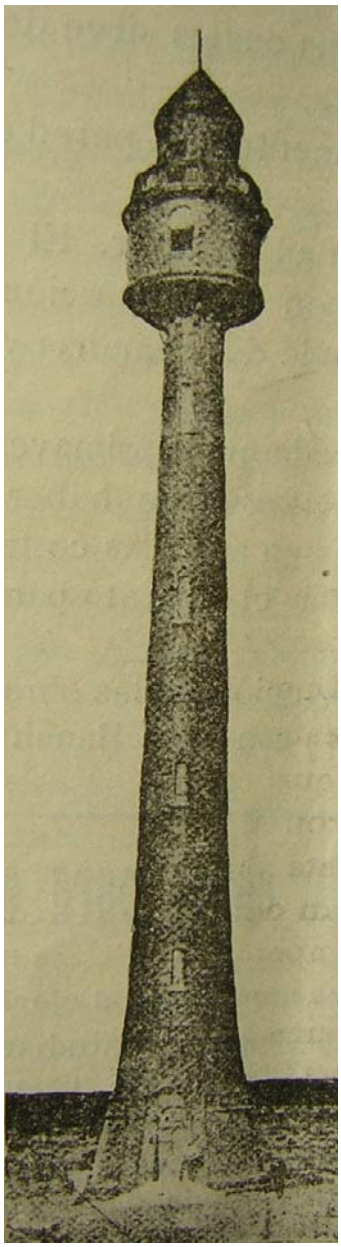


Figura 165. Faro de Nicolayev (Ucrania).1900. N. Pianitsky, ingeniero, y Bauchnikow, arquitecto. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

En Ekaterinoslav el arquitecto Rechnievsky construyó unas escaleras de cemento armado para la factoría de la Sociedad Briansk[217].

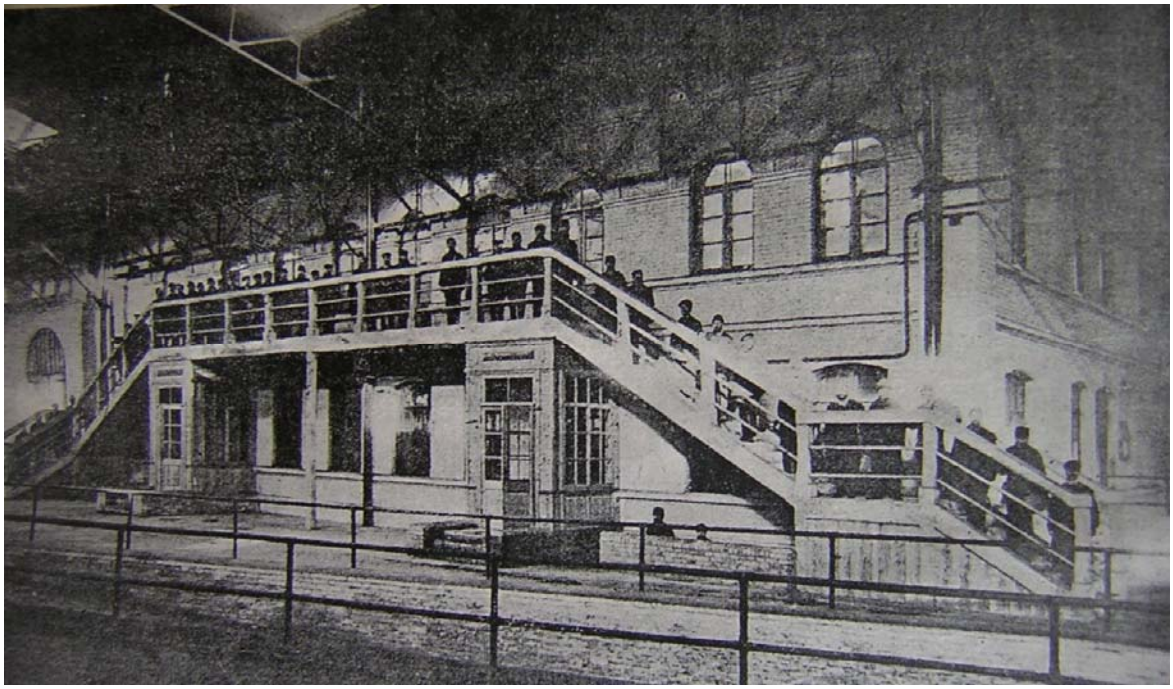


Figura 166. Escaleras de la factoria de la Sociedad Briansk en Ekaterinoslav (Rusia). 1901. Rechnievsky, arquitecto. En *El Cemento Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

11. El impulso trascendental de la organización Hennebique.

A finales del siglo XIX la compañía de Wayss y Freytag había conseguido generalizar la nueva técnica de construcción en Europa Central. En Francia, truncada finalmente la experiencia de Monier, también surgiría una iniciativa similar, que finalmente impulsaría la implantación definitiva del hormigón armado.

Nacida al principio de la fiebre de las patentes (a la que contribuyó en gran medida con su fulgurante éxito), su importancia no quedaría restringida sólo a su país de origen. El sistema de hormigón armado *Hennebique* fue el más famoso de todos los que aparecieron. Extendió su uso a todo tipo de construcciones y con miles de obras realizadas por todo el mundo, contribuyó a difundir, como ningún otro, el nuevo material de construcción.

François Hennebique, antiguo albañil nacido en 1842 en el norte de Francia, era desde 1867 contratista de obras de cierta importancia. Según la leyenda que él mismo se forjó emplearía el hormigón armado por primera vez en 1879, para hacer unos forjados incombustibles en una villa cerca de Westende (Bélgica)[218].

Lo cierto es que llevaba tiempo buscando alguna innovación que le permitiera destacar en el mundo de la construcción. Después de algún que otro proyecto descabellado (como una torre de madera de 300 m de altura que rivalizara con la de Eiffel)[219], centró su atención en el atractivo mercado de los forjados de edificación. Conocedor de las realizaciones de Monier y al tanto de los progresos en el *fireproofing* de los americanos Hyatt, Jackson y Ransome, a mediados de los ochenta ideó un sistema de forjados tubulares de hormigón reforzado con elementos de hierro, que patentó en 1886 en Bruselas.

Sistema que no utilizó tres años más tarde, en la primera de sus obras de hormigón armado constatadas, la villa de A. Madoux, en Lombartzyde-Dune (Bélgica). Ante la dificultad de encontrar los materiales de construcción habituales utilizó hormigón reforzado con barras de hierro para los forjados. Al año siguiente tendría que recurrir de nuevo a esta solución, aunque con barras planas y estribos (villa de H. Combez en Nieuport-Bains, Bélgica).

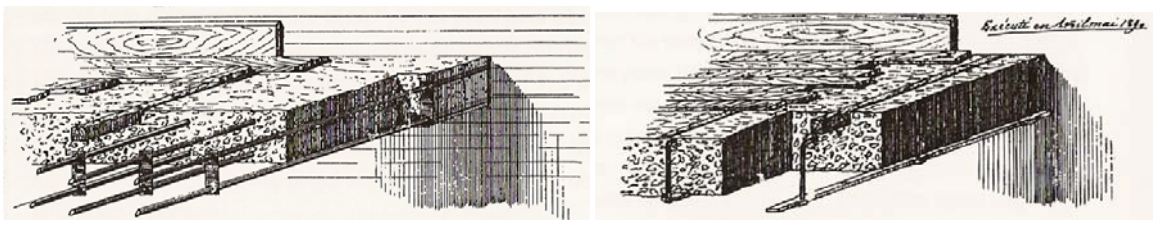


Figura 167. Croquis de los primeros forjados de hormigón armado diseñados por F. Hennebique. Izqda la villa de A. Madoux, 1889; dcha., villa de H. Combez, 1890. Del libro *L'invention du béton armé, Hennebique 1890-1914.* Cortesía de Gwenaël Delhumeau.

En 1892 volvió a patentar otro sistema de forjados, esta vez formados por placas nervadas de palastro que servían de encofrado colaborante para una losa de hormigón.

El paso definitivo lo daría ese mismo año al registrar una nueva patente de forjados, en los que sustituía las placas de palastro por barras de hierro longitudinales embebidas en la parte inferior de las vigas y nervios del forjado. Enseguida dio a conocer esta última versión con el folleto publicitario *Plus d'incendies désastreux* (No más incendios desastrosos), con el que consiguió una importante repercusión[220].

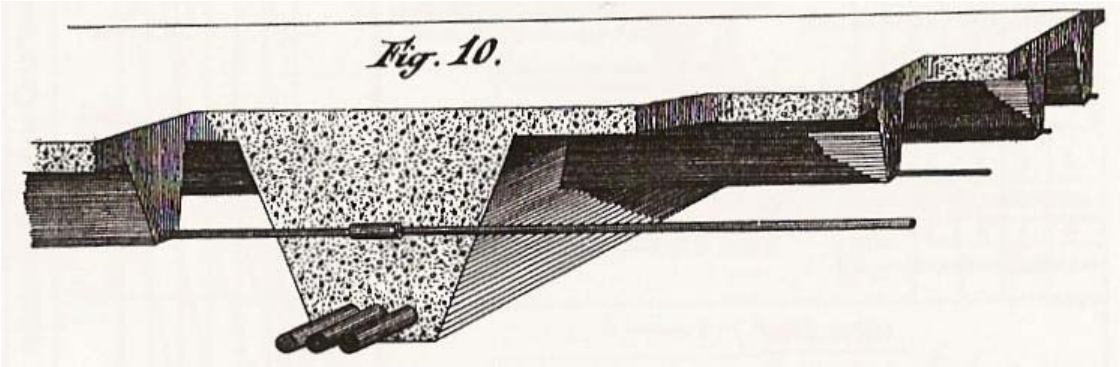


Figura 168. Forjados de hormigón armado sistema Hennebique, patente de 1892. Del libro *L'invention du béton armé, Hennebique 1890-1914. C*ortesía de Gwenaël Delhumeau.

Con esta disposición, las barras del lecho inferior desarrollaban *"tan sólo su cualidad característica de la resistencia a tracción",* mientras que la parte superior de la viga se formaba con *"un macizo de hormigón de cemento que impide la flexión de las barras y a la vez desarrolla la resistencia a la compresión"*

La combinación presentaba sin embargo una deficiencia: "los elementos que constituyen la viga deben estar íntimamente unidos por un alma que transmita los esfuerzos de compresión a la cuerda inferior de las tracciones, y que se oponga además al resbalamiento longitudinal, y el hormigón puede formarla, puesto que debe envolver la barra para sustraerla a toda influencia exterior; pero esto no basta, porque el hormigón puede estar sometido de esta manera a una fuerza rasante por el esfuerzo cortante que daría una flexión para el cual no está dispuesto". Hennebique se daría cuenta y no tardaría en modificar su patente (en 1893) para solucionarla mediante la colocación *"de una serie de estribos repartidos a lo largo de la barra que la unen a la parte superior del macizo de hormigón* […] *Estos estribos son de llanta de hierro, en general, y transmiten a la parte superior del hormigón los esfuerzos de tracción, que se transforman y reparten como trabajo de compresión en la masa de aquel"*[221].

Con estos estribos, su aportación más original, el sistema de Hennebique, aunque concebido partiendo de bases empíricas, quedaba completamente configurado y respondía, en líneas generales, a principios racionales de mecánica de estructuras. En concreto, las vigas tenían una distribución coherente de las armaduras, con barras longitudinales superiores en la zona de flexiones negativas y estribos más concentrados junto a los apoyos, donde los esfuerzos cortantes son mayores.

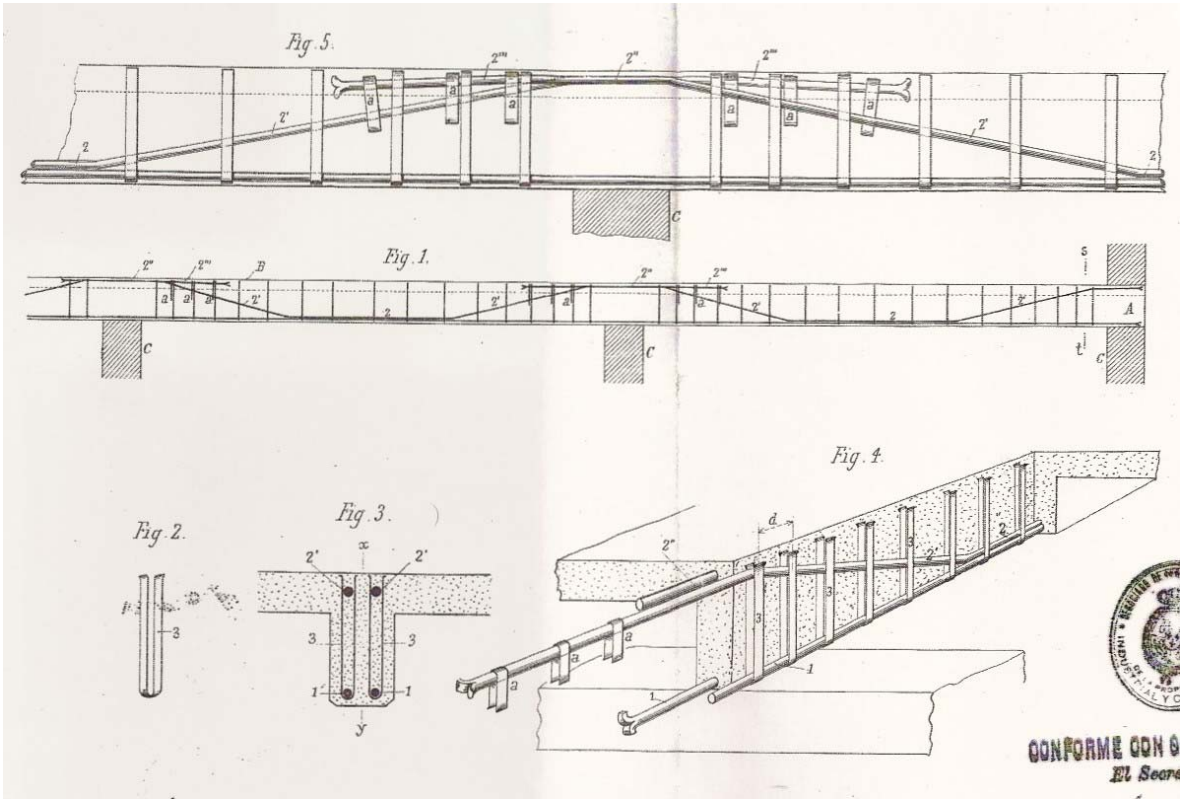


Figura 169. Vigas de hormigón armado sistema Hennebique. Patente española de 1898. Archivo histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

El sistema también contemplaba las columnas y pilares, que se componían de *"barras verticales inmersas en el espesor de la masa* [de hormigón]*, en número suficiente para formar la sección total de hierro determinada por los cálculos […].Estas barras verticales se arriostran a una determinada distancia, generalmente cada 50 cm, por chapas planas entrelazadas""*[222].

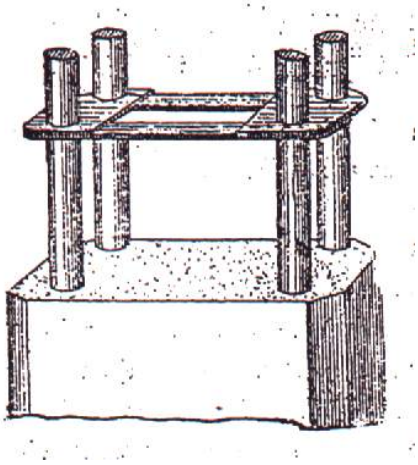
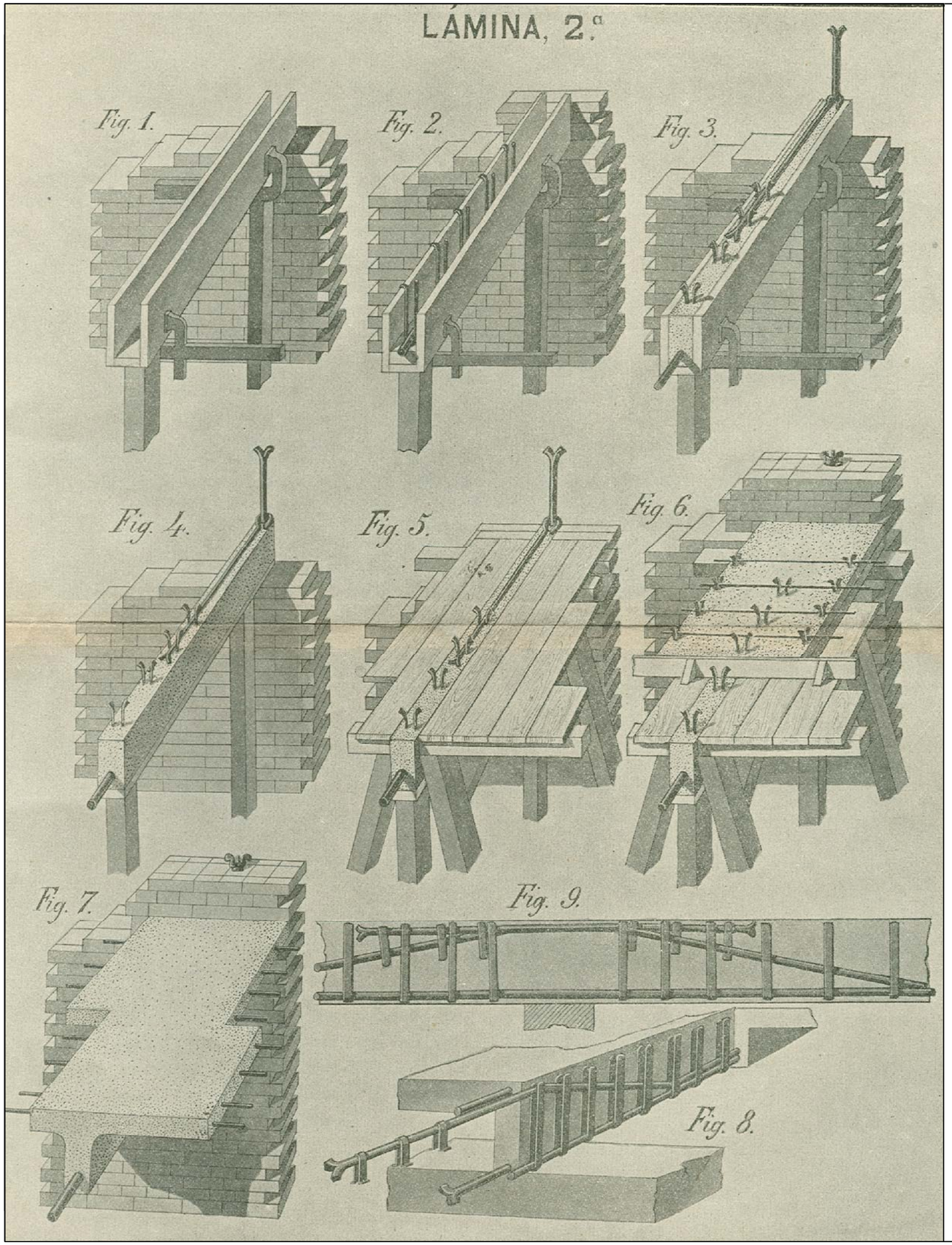
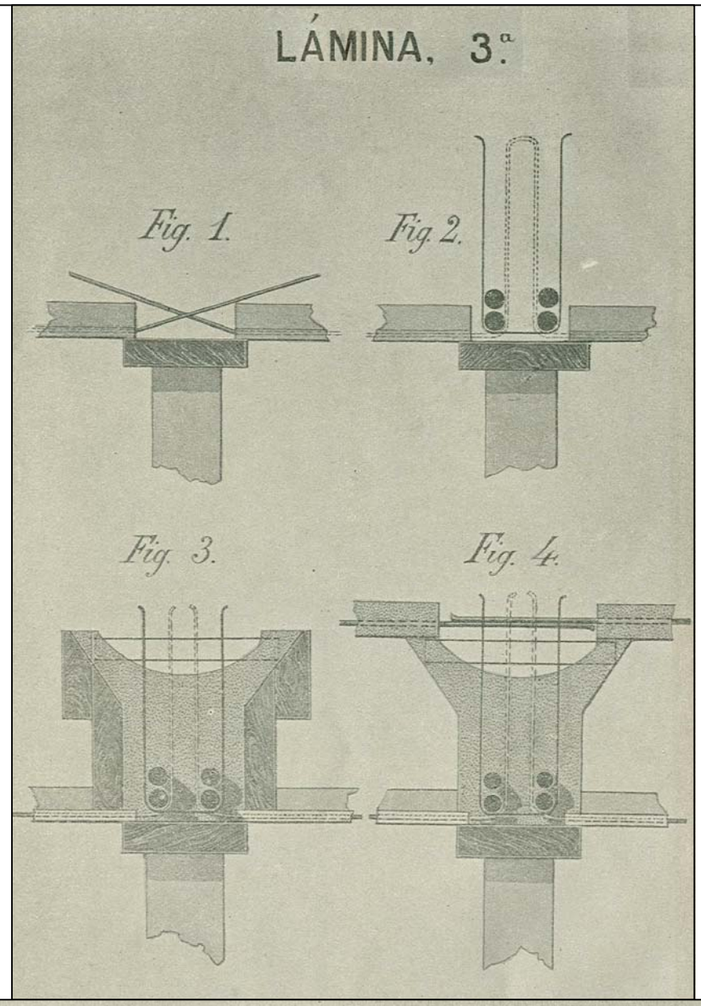


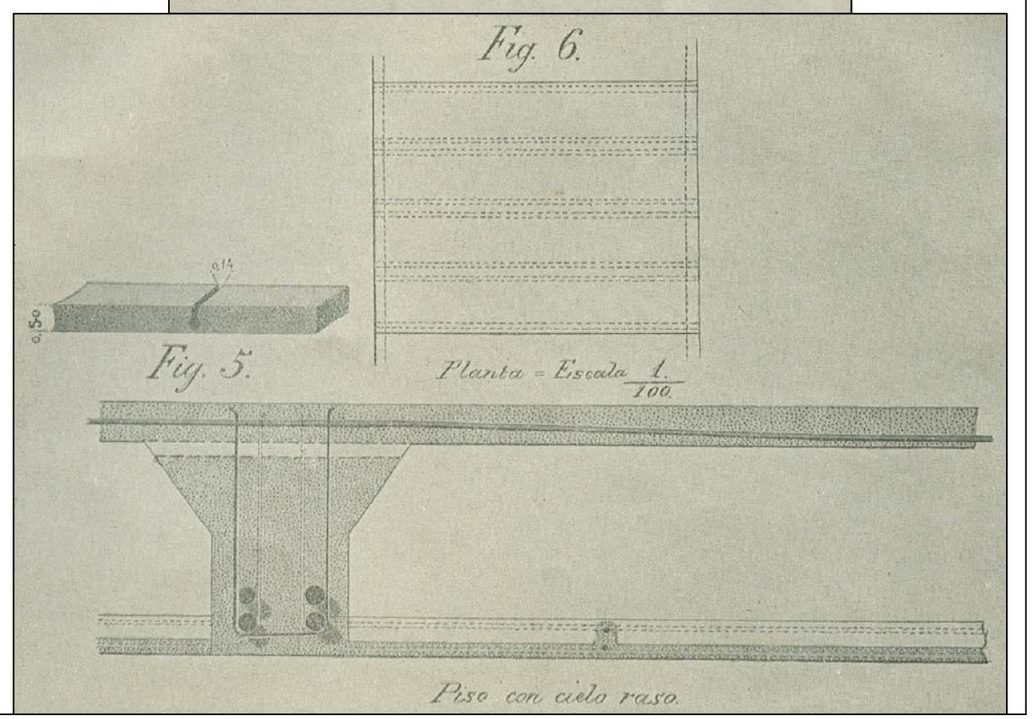
Figura 170. Pilares de hormigón armado sistema Hennebique.

Completado con las cimentaciones, entre las que contaba incluso con pilotes, puso a punto un sistema integral para hacer edificios con hormigón armado, que enseguida encontró muy buena aceptación.



Construcciones de hormigón armado sistema Hennebique Detalles.





En Seco de la Garza, Construcciones de hormigón armado sistema Hennenique privilegiado. Biblioteca Central Militar

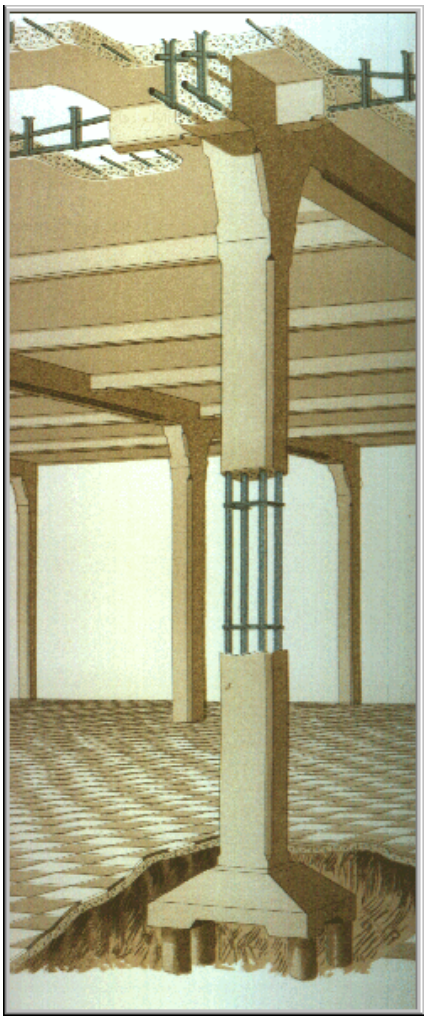


Figura 171. Sistema Hennebique de hormigón armado, solución completa para edificación.

Para explotar su sistema, François Hennebique concibió una original estructura empresarial. Cerró su empresa constructora y concentró sus esfuerzos en una oficina técnica especializada en el diseño y cálculo de estructuras de hormigón armado. De la ejecución directa de las obras se encargarían sus concesionarios, contratistas independientes con licencia de Hennebique para construir en una zona determinada.

Esta forma de organización resultó ser un gran acierto, de forma que en poco tiempo logró formar una nutrida red de colaboradores repartidos por todo el mundo. A ello contribuyó en gran medida el hábil uso que Hennebique supo hacer de la propaganda. Su vertiginoso crecimiento le llevó a instaurar la figura del agente general, empresario encargado de gestionar los proyectos de la empresa en un país. Hennebique procuraba que estos agentes fueran técnicos con prestigio, capaces de encargarse de los proyectos de la organización en el territorio que tenían a su cargo. De este modo contaría con ingenieros de la talla de Samuel de Mollins en Suiza, Giovanni Porcheddu en Italia o José Eugenio Ribera en España.

Decidido a popularizar su sistema de hormigón armado, mandó hacer desde el primer momento fotografías de todas sus construcciones. También insistió en hacer constantemente demostraciones de incombustibilidad y resistencia de sus construcciones.

Además de las pruebas de aceptación de obras terminadas, se realizaban espectaculares demostraciones de resistencia de losas o vigas construidas para la ocasión, que podían aguantar unas sobrecargas excepcionales.



Figura 172. Prueba de carga de una viga Hennebique en Lausana. 1893. Direction des Archives de France. Cité de l'architecture et du patrimoine. Centre d'archives d'architecture du XXe siècle

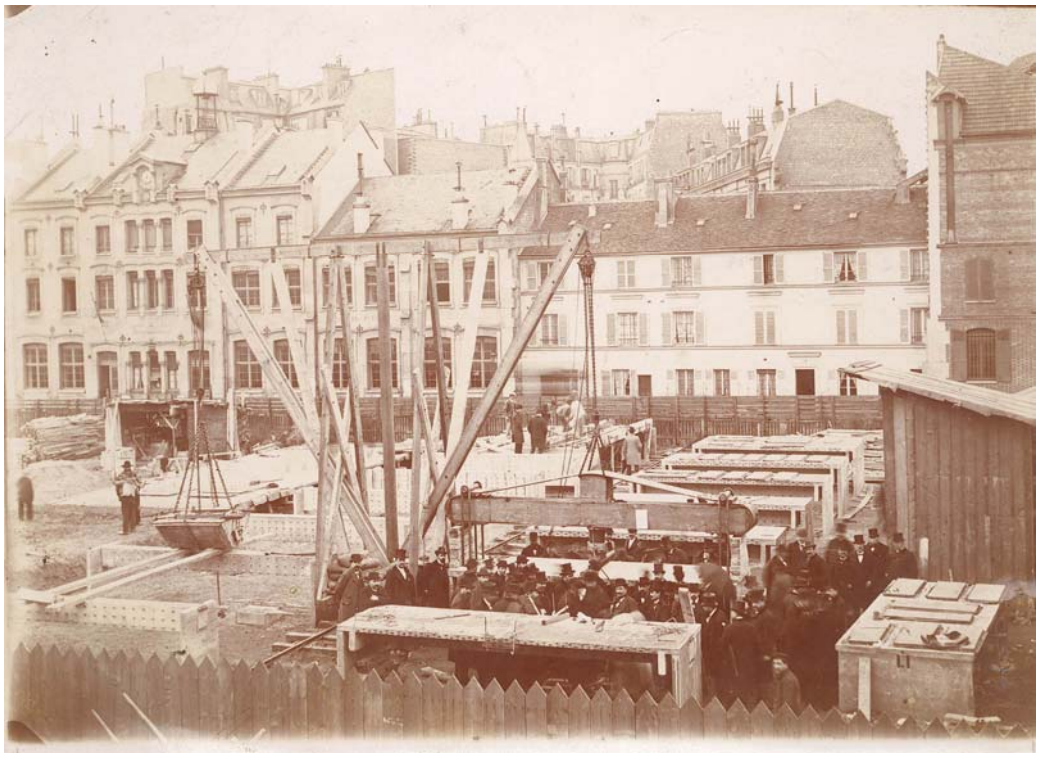


Figura 173. Solar de los almacenes Bon Marché en París. Pruebas de los forjados previas a su ejecución. Direction des Archives de France. Cité de l'architecture et du patrimoine. Centre d'archives d'architecture du XXe siècle

También eran habituales las pruebas de incombustibilidad, consistentes en someter una pieza de edificación a un intenso fuego, que se apagaba después bruscamente. En septiembre de 1899 se hizo una experiencia de este tipo en la Exposición provincial de Gante, con resultados muy satisfactorios para Hennebique[223].



Figura 174. Experiencia de incombustibilidad de las construcciones Hennebique. París, 1900. Direction des Archives de France. Cité de l'architecture et du patrimonine. Centre d'archives d'architecture du XXe siècle

Todas estas experiencias, junto con la relación de los trabajos realizados, se describían oportunamente en la revista *Le Béton Armé*, publicada a partir de 1899 por la propia casa Hennebique. Resultó un valioso instrumento de divulgación de la empresa y por añadidura de popularización del nuevo material de construcción.


Sixième Année — Novembre 1903 — Numéro 66

EN FAIRE SURTASSE EN CAS

LE BÉTON ARMÉ

ORGANE

des Agents et Concessionnaires

DU SYSTÈME HENNEBIQUE

PARAISSANT LE 20 DE CHAQUE MOIS

DIRECTION ET RÉDACTION :

1, Rue Danton, Paris (VIe arrondissement).

Toutes les communications et envois doivent être adressés au Bureau de la Rédaction :

1, RUE DANTON, PARIS (VIe arrond.).

TÉLÉPHONE 208-98

COMITÉ DE RÉDACTION :

LE BRUN, à Nantes;
DUMESNIL, à Paris;
DEFRETIN, à Clermont-Ferrand;
GRIFFON, à Nancy;
MOTTEZ, à Lille;
BONDUELLE-MARTINEAU, à Concarneau;
DE MOLLINS, à Lausanne;
OZENFANT, à Saint-Quentin;
MONNIER-DUCASTEL, à Neuilly-sur-Seine.

P. GALLOTTI

RÉDACTEUR EN CHEF

ABONNEMENT :

FRANCE..... 20 fr. } PAR AN
UNION POSTALE. 25 fr. }

Prix de l'Année parue 30 fr.

PLUS D'INCENDIES DÉSASTREUX

Figura 175. Portada de la revista *Le Béton Armé*, editada por la casa Hennebique. Biblioteca del colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos

Al comenzar el siglo XX Hennebique había conseguido crear una gran empresa en torno al hormigón armado, pasando de tener seis obras en 1893 a más de dos mil en 1900. Desde su *bureau* de París se gestionaban los proyectos y se daba apoyo técnico para sus concesionarios de más de treinta países. Estos, a su vez, transmitían a la oficina técnica sus experiencias al llevarlos a cabo. Con esta retroalimentación, el procedimiento constructivo evolucionó rápidamente, haciéndose más completo y susceptible de aplicarse a todo tipo de obras.

Las primeras aplicaciones importantes del sistema de Hennebique tuvieron lugar en edificios industriales, principalmente harineras y fábricas de hilaturas. La incombustibilidad del hormigón armado fue en estos casos la razón principal por la que muchos empresarios se decidieron para construir con él sus fábricas. Así, ya en 1893 se incluyeron forjados Hennebique en el taller de tejidos Coisne & Lambert en Armentières, en el almacén de lanas y algodón de *Valentin et Flipo* y en el taller de Jules Desurmont en Tourcoing[224].

A partir de 1894 se iniciaría la construcción de grandes edificios industriales, que se convertirían en una de las señas de identidad de la organización. Inauguraron la lista en 1894 la fábrica de azúcar de Bernard Frères en Lille y la Refinería Parisiense de Saint-Ouen. Esta última incorporaba por primera vez una cubierta tipo "*shed*"[225] .

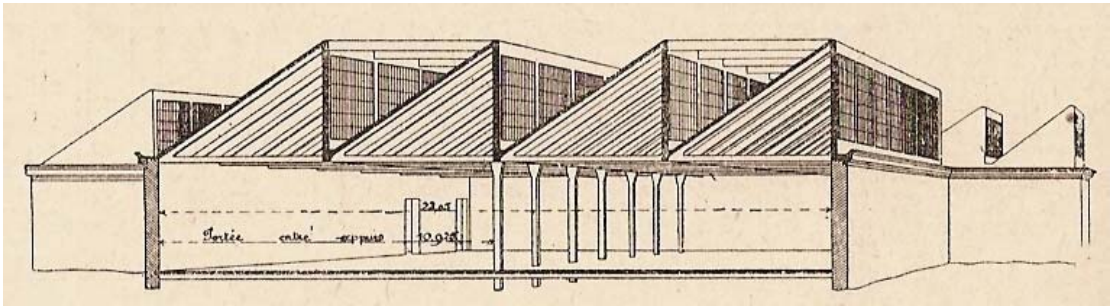


Figura 176. Refinería Parisiense de Saint-Ouen. 1894. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications*.

Hennebique revolucionó el diseño de las fábricas de pisos, logrando con la estructura de hormigón armado, además de una mayor resistencia al fuego, otras grandes ventajas como la diafanidad de las plantas y mejores condiciones de salubridad.

Especialmente innovadoras fueron sus fábricas de hilaturas para Charles Six en Tourcoing (1895) y para Barrois en Lille (1896). La estructura de hormigón armado sustituía a los pesados muros de carga, pudiéndose disponer un cerramiento acristalado que permitía la iluminación natural del interior, muy valorada en este tipo de empresas.

Las hilaturas Barrois incorporaban además un original sistema de climatización: *"la cubierta está constituida por una terraza, dispuesta de qmnera que constantemente está cubierta por una capa de agua de 20 cm; para ello se ha colocado un depósito de 20 m^3 en la parte superior de una torreta, visible en uno de los lados del edificio[…]. Gracias a esta capa de agua y a la mala conductibilidad del hormigón, se ha llegado, al parecer, a limitar a 4º C las diferencias de temperatura interiores, entre los días más cálidos del verano y los más fríos del invierno. De sobra es conocido lo que se aprecia esta uniformidad en este tipo de talleres"*[226].

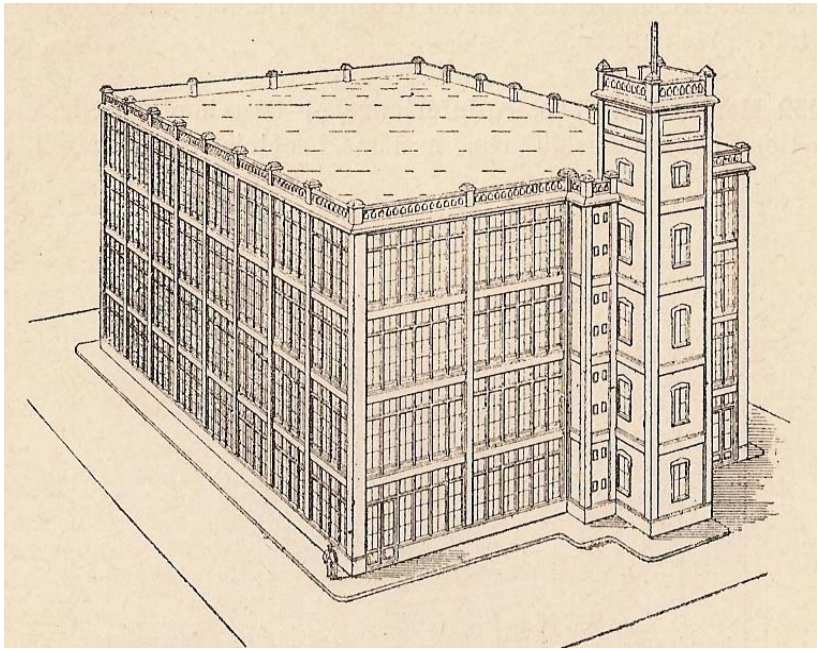


Figura 177. Fábrica de hilaturas Barrois en Lille. 1896. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications*.

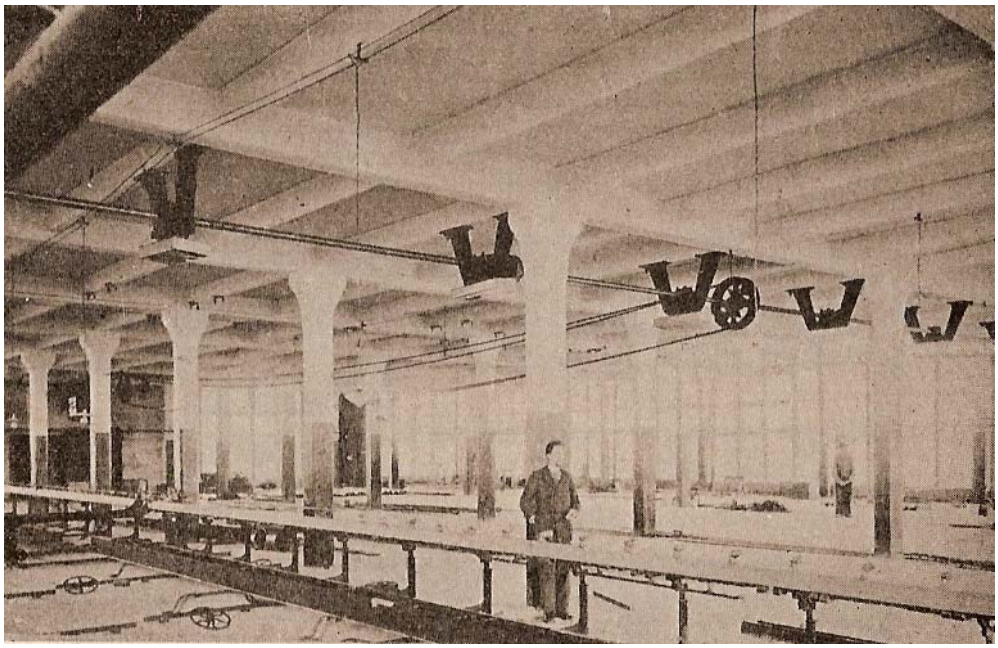


Figura 178. Interior de la fábrica de hilaturas Barrois en Lille. 1896. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications*.

También entre 1895 y 1896 tuvo lugar la construcción de otro de sus edificios industriales emblemáticos, la fábrica de harinas de la *Sociéte des Grands Moulins* de Nantes. Tenía cinco plantas, con forjados calculados para una sobrecarga de 1800 kg/m^2. En uno de sus costados fue necesario construir un voladizo de 4,50 m para dejar paso a una línea de ferrocarril, que se convertiría en uno de los más celebrados alardes estructurales de la firma Hennebique.

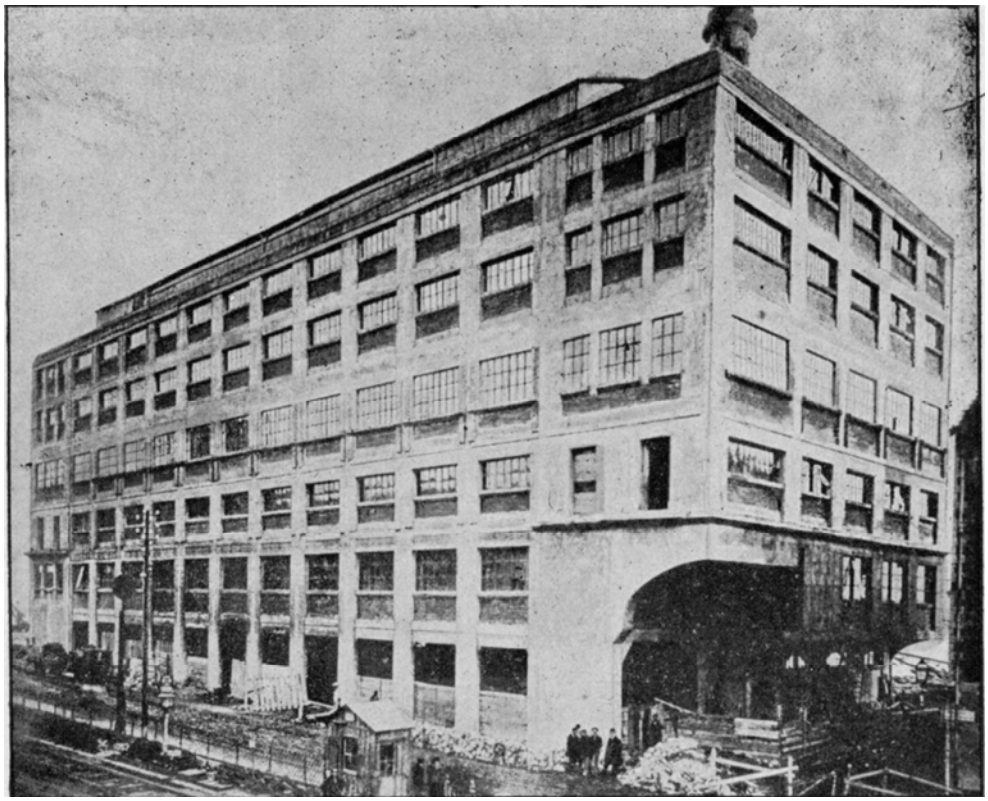


Figura 179. Fábrica de harinas de la *Sociéte des Grands Moulins* de Nantes. 1895. Lenoir, Etève y Raoulx, arquitectos. Direction des Archives de France. Cité de l'architecture et du patrimoine. Centre d'archives d'architecture du XXe siècle.

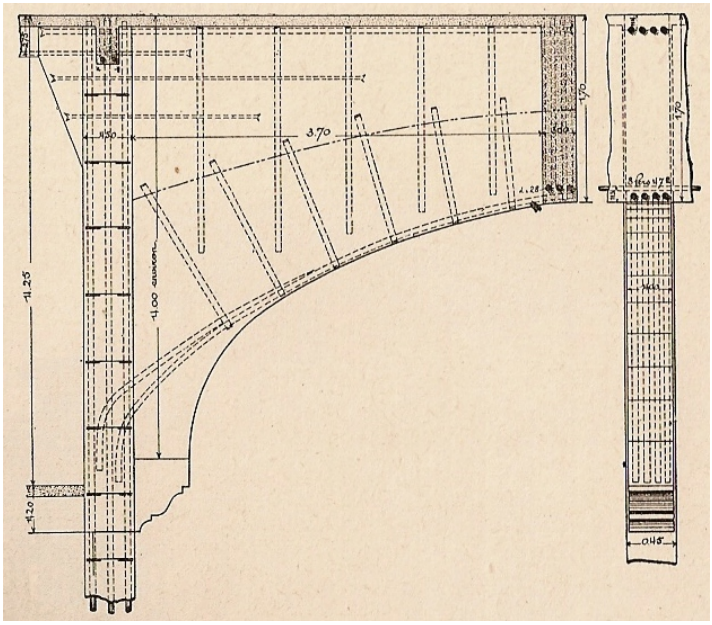


Figura 180. Fábrica de harinas de la *Sociéte des Grands Moulins* de Nantes. 1895. Detalle de las armaduras en los voladizos. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications*.

La gran fábrica de Nantes constituiría uno de los mejores reclamos de la organización, logrando que se multiplicaran los proyectos de harineras. El modelo se trasplantó al extranjero, con harineras como la de Weaver en Swansea (1896), Caramujo de Oporto (1898) o la de la Viuda de Ayala en Badajoz (1898), primeros edificios de hormigón armado del Reino Unido, Portugal y España, respectivamente.

La estructura de hormigón armado también encontró aplicación en grandes fábricas tipo nave, como la factoría Babcock&Wilcox, levantada en París hacia 1900.

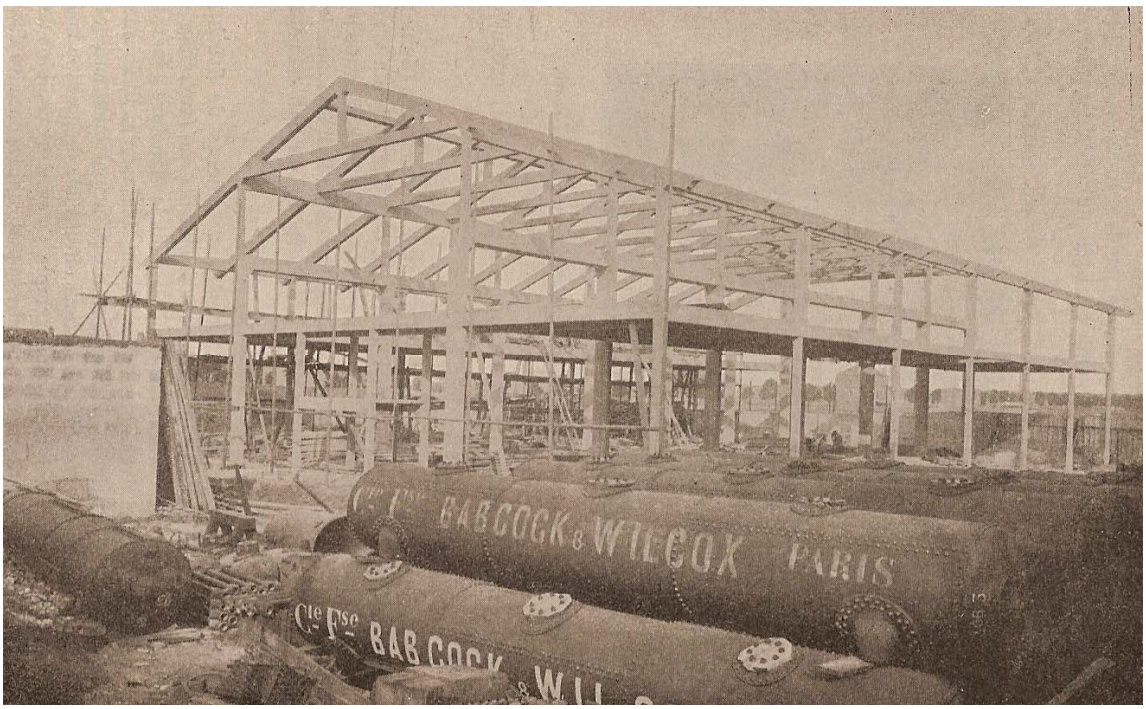


Figura 181. Estructura de la factoría de Babcock & Wilcox en París. 1900. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications*.

Pero las innovaciones de los edificios industriales de Hennebique no se limitaron a la estructura propiamente dicha. Los técnicos de Hennebique aportaron nuevas soluciones para los cimientos, como las losas de cimentacion para terrenos malos. Una de las primeras fue la de los molinos de Brest; gracias a ella se pudieron levantar las edificaciones sobre una capa de ocho metros de profundidad de rellenos, apoyados a su vez sobre turba inestable[227].

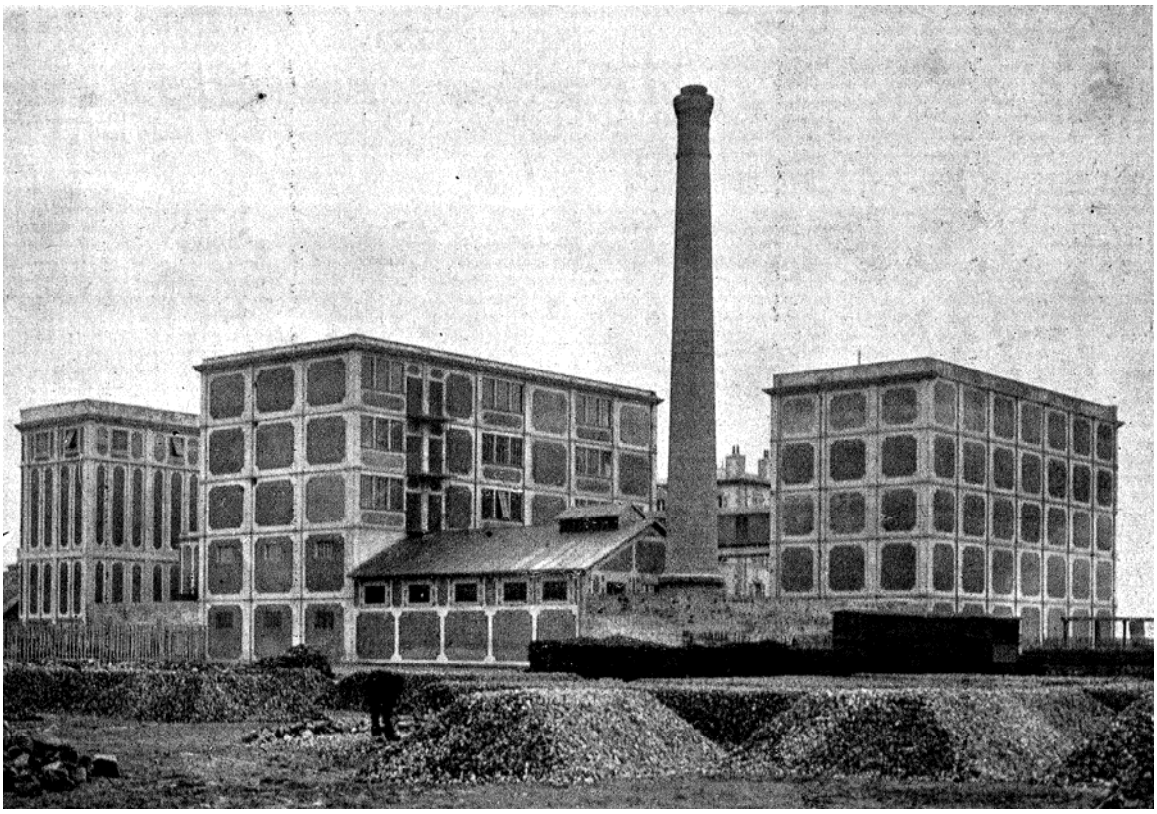


Figura 182. Molinos de Brest (Francia). Hacia 1900. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Fort, *Construcciones de hormigón armado.* Biblioteca Foral de Bizkaia.

También serían capaces explotar las posibilidades del hormigón armado en las cimentaciones profundas. Hacia 1897 ya tenían suficientemente desarrollados los pilotes de hormigón armado, que aplicaron por primera vez en diferentes edificios de la región de Nantes. En esta zona, los grandes depósitos de arena del Loira no permitían las tradicionales cimentaciones con zapatas, por lo que las diferenes construcciones de Hennebique de la zona se resolvieron con pilotes. Así se hizo, por ejemplo, en la fábrica Gueret (de aglomerados de hulla) o la fábrica de harinas Perraud[228].

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES . 1898.-N°2. S.de Mollins: Congrès de Nantes.

Mur de quai en ciment armé, système Hennebique.

Coupe verticale.

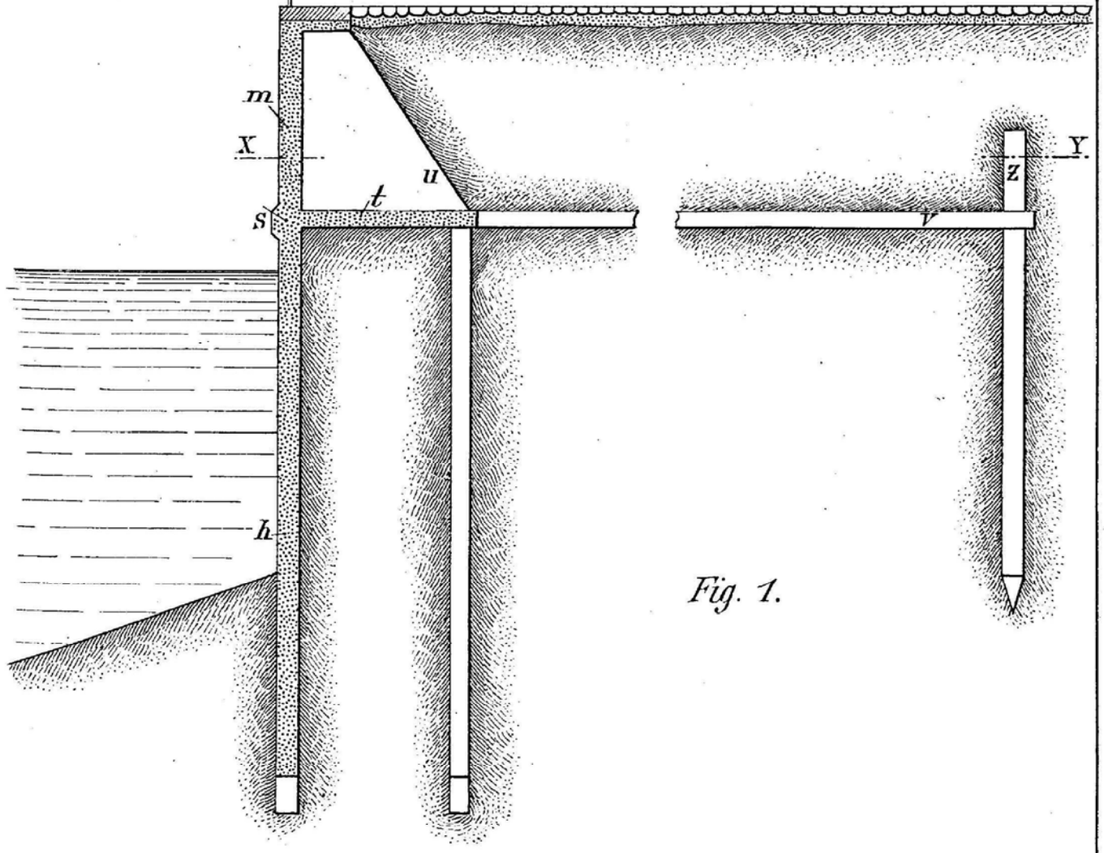
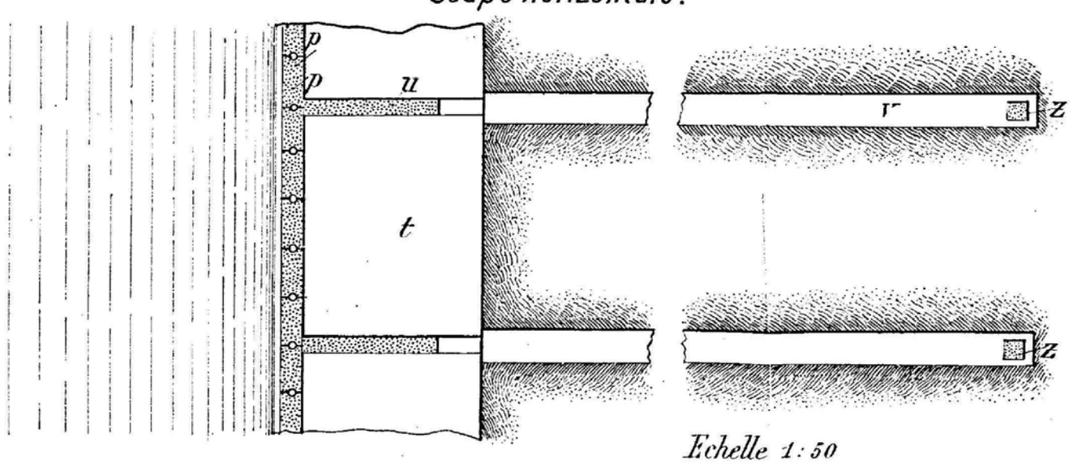


Fig. 1.

Coupe horizontale.



Echelle 1:50

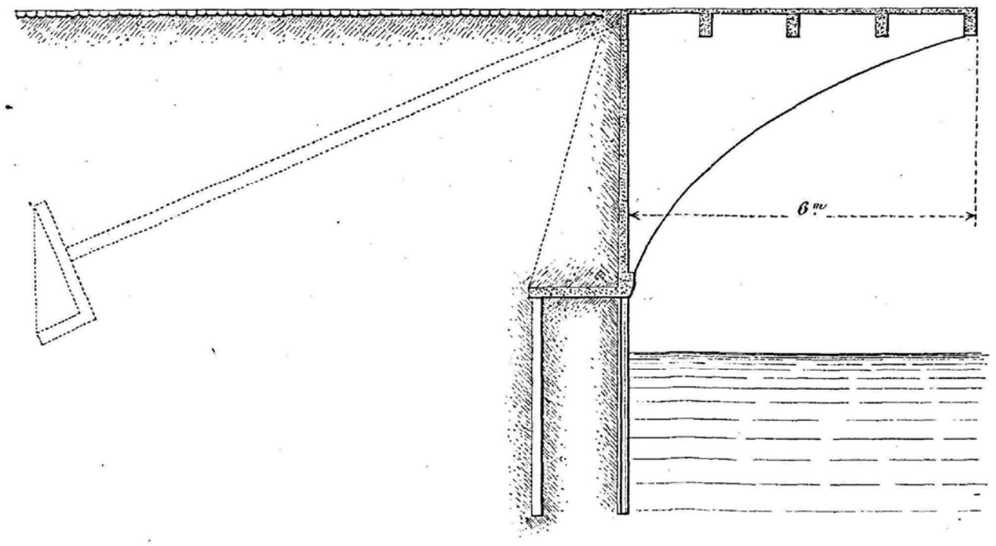
Autog. J. Chappuis

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES . 1898.-N°2. S.de Mollins: Congrès de Nantes.

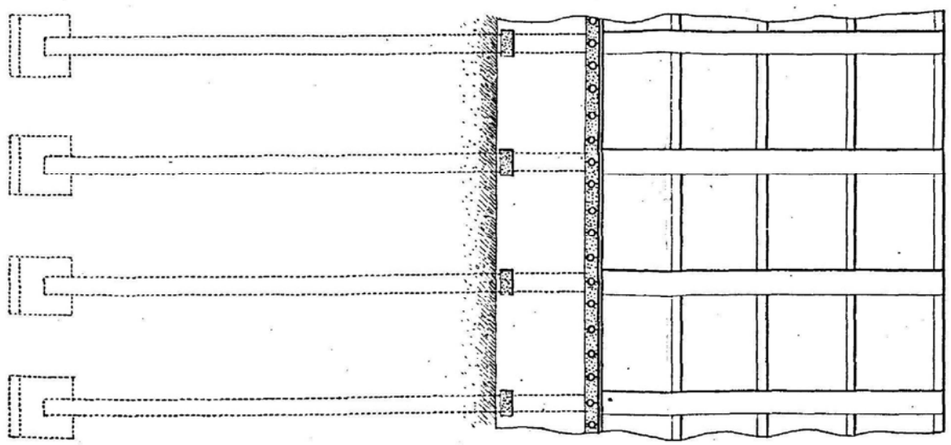
Estacade en ciment armé, système Hennebique.

Fig. 2.

Coupe.



Plan.



Echelle 1:100

Autog. J. Chappuis.

Cimentaciones con pilotes sistema Hennebique

En Mollins, Compte rendue d'une visite au congrès des ingénieurs à Nantes . Bibliothèque Nationale Suisse.

En edificación residencial, sin embargo, el sistema de Hennebique no tendría tanta aceptación. En los primeros años le costaría mucho superar las reticencias de los arquitectos, la mayoría de los cuales consideraban el hormigón armado como un material industrial, poco apropiado para la arquitectura.

De ahí que sus primeros trabajos en este campo fueran forjados y cubiertas de edificios mitad residenciales, mitad comerciales o industriales, como los de los grandes almacenes *Bon Marché* o los de la Imprenta Maulde, Doumenc y Cia en París.

Por su incombustibilidad fue aplicado frecuentemente en edificios públicos como las Escuelas de la calle Petrelle en París o el colegio Saint Stanislas de Mons[229].

El primer edificio no industrial construido íntegramente de hormigón armado no llegaría hasta 1898. Tuvo que ser la propia sede de la empresa, situada en el número uno de la *Rue Danton*, de París. El segundo sería la propia villa de François Hennebique en Bourg-la-Reine.

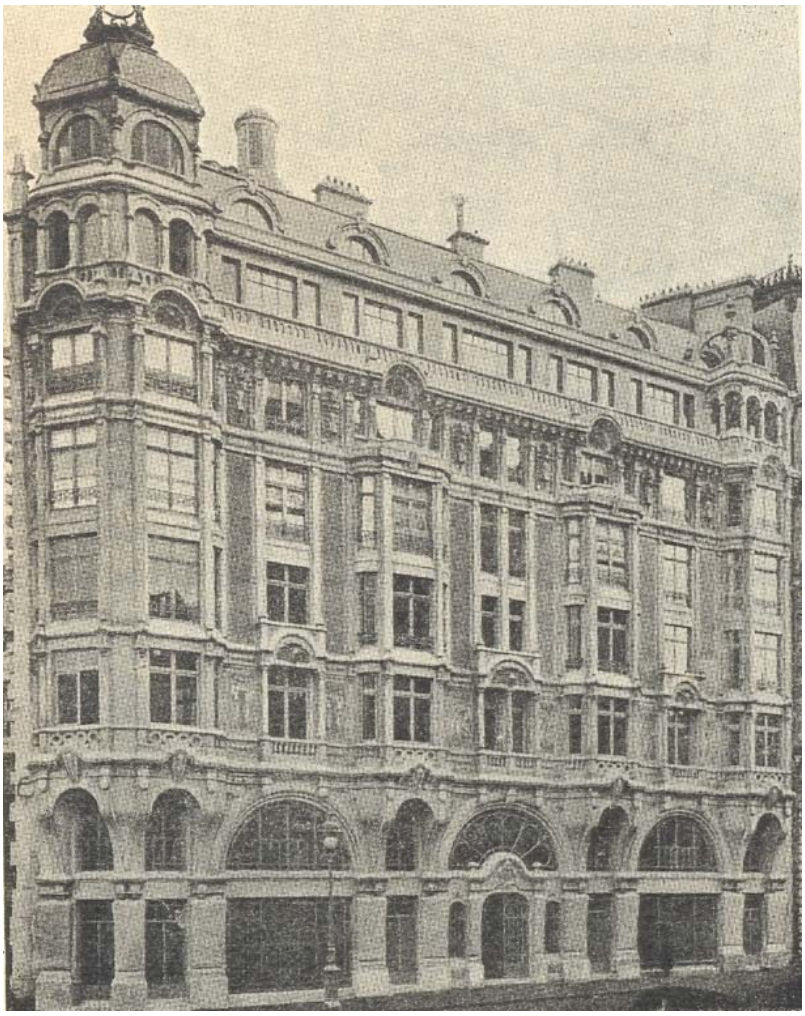


Figura 183. Edificio sede de la empresa Hennebique en el nº 1 de la Rue Danton. París. 1898. E. Arnaud, Arquitecto. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

En cambio, su impacto fue enorme en el ámbito de la ingeniería civil. Con el hormigón armado, los técnicos de la organización Hennebique en Francia y otros países revolucionaron en muchos aspectos la construcción de obras públicas. Así sucedió en el campo de los puentes, donde introdujeron la nueva tipología de viga recta para puentes de luces reducidas.

Uno de los primeros ejemplos de este tipo de puentes fue el de la Maladière, de 15 m de luz. Fue construido en 1897 en los alrededores de Lausana (Suiza), para la carretera de Lutry a Morges[230].

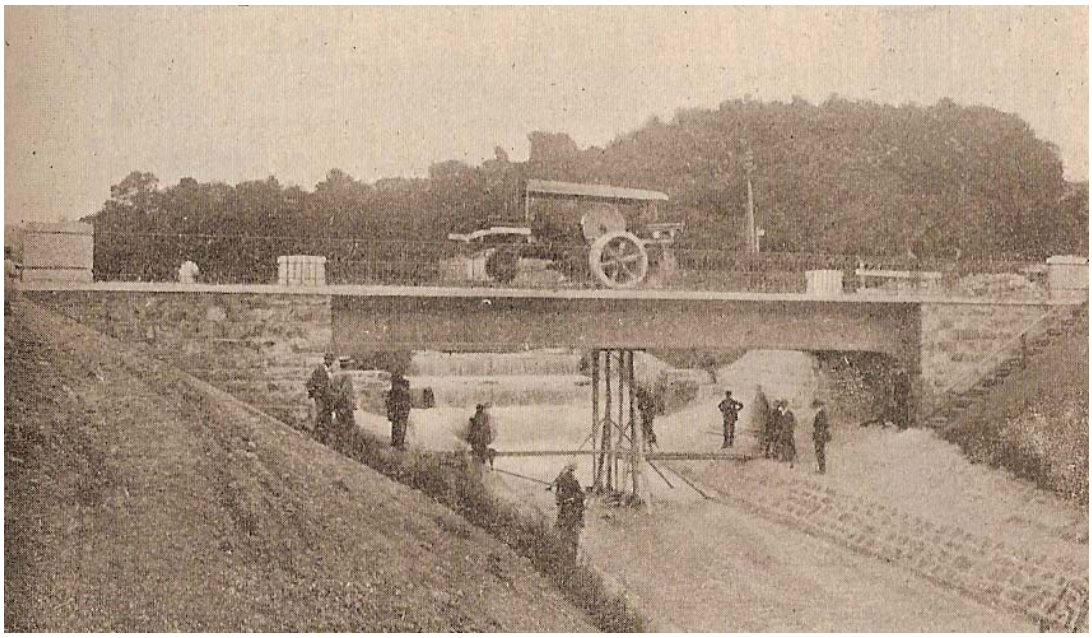


Figura 184. Puente de la Maladière. Lausana (Suiza), 1897. Samuel de Mollins, ingeniero. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Algo más tarde desarrollaría sus puentes en arco, que sin embargo luego tendrían una evolución espectacular. Aunque se construyeron diferentes variedades, la tipología característica de la casa para puentes arco fue la de tablero superior apoyado en las bóvedas mediante tímpanos, según un diseño exhibido por primera vez en el puente sobre el río Vienne en Chatelleraut. Sus tres arcos, el arco central de 50 m de luz y los dos laterales de 40, fueron terminados en 1899.

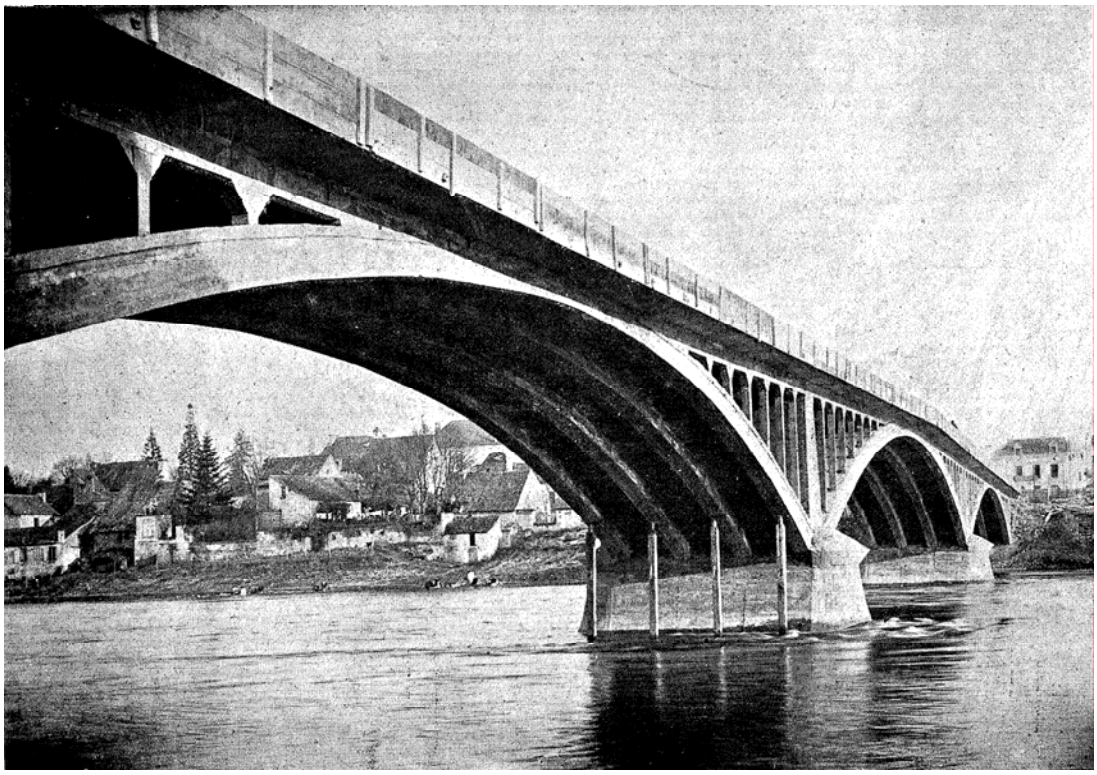


Figura 185. Puente de Châtellerault sobre el río Vienne (en ejecución, falta el pretil). Francia, 1899. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Fort, *Construcciones de hormigón armado,* Biblioteca Foral de Bizkaia.

Además de los puentes, su producción en obra pública fue inmensa. Canales y conducciones de agua potable, saneamientos, obras portuarias, muros de contención, obras de paso para ferrocarriles, pantallas de pilotes, … Se cuentan por miles las obras civiles de todo tipo que los ingenieros de Hennebique llevaron a cabo en estos años.

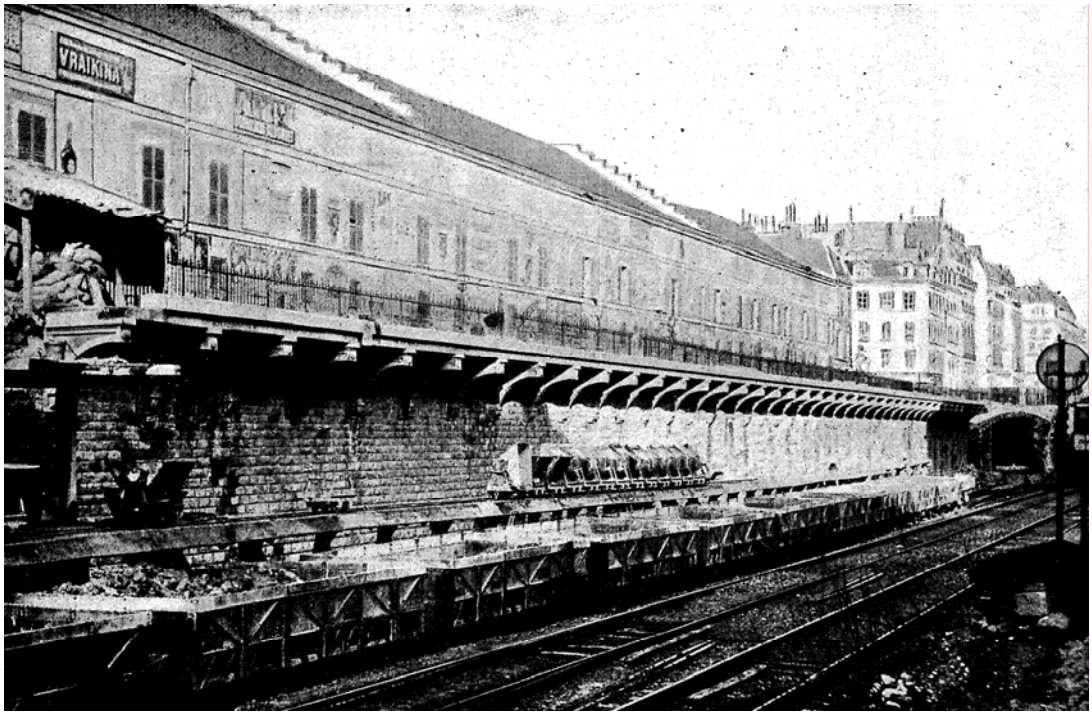


Figura 186. Voladizos del Boulevard Pereire. París. 1900. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Fort, *Construcciones de Hormigón Armado.* Biblioteca Foral de Bizkaia.

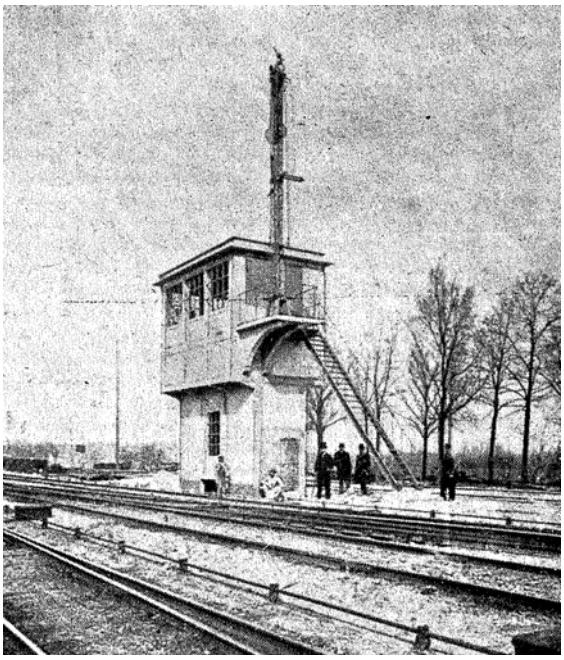


Figura 187. Pabellón semafórico de la estación de Joinville (Francia), 1899. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Fort, *Construcciones de Hormigón Armado.* Biblioteca Foral de Bizkaia.

Pero sería en dos tipos de construcciones donde se desarrollarían soluciones más novedosas y espectaculares. Para la casa Hennebique no había *"aplicación del cemento armado que hubiera puesto más en evidencia las ventajas particulares de este material nuevo que la construcción de silos para la conservación de cereales, cementos a granel, carbón, azúcar, etc".* Antes de 1900 se habían construido ejemplos tan destacados como los de Lens, de 450 toneladas de capacidad.



Figura 188. Silos de carbón de las minas de Lens y Douvrin (Francia) 1899. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Fort, *Construcciones de Hormigón Armado.* Biblioteca Foral de Bizkaia.

Fig. 3.

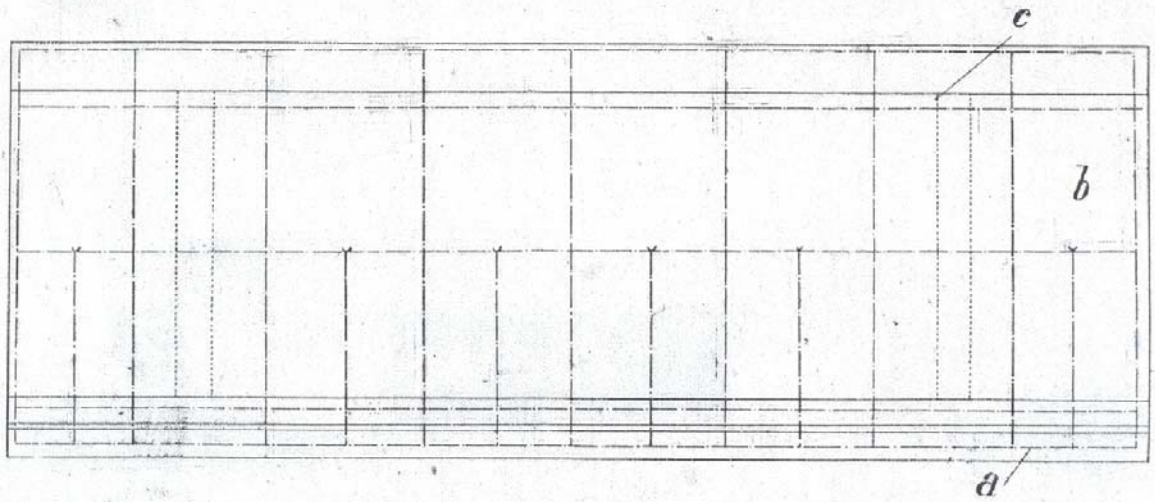


Fig. 6.

Fig. 4.

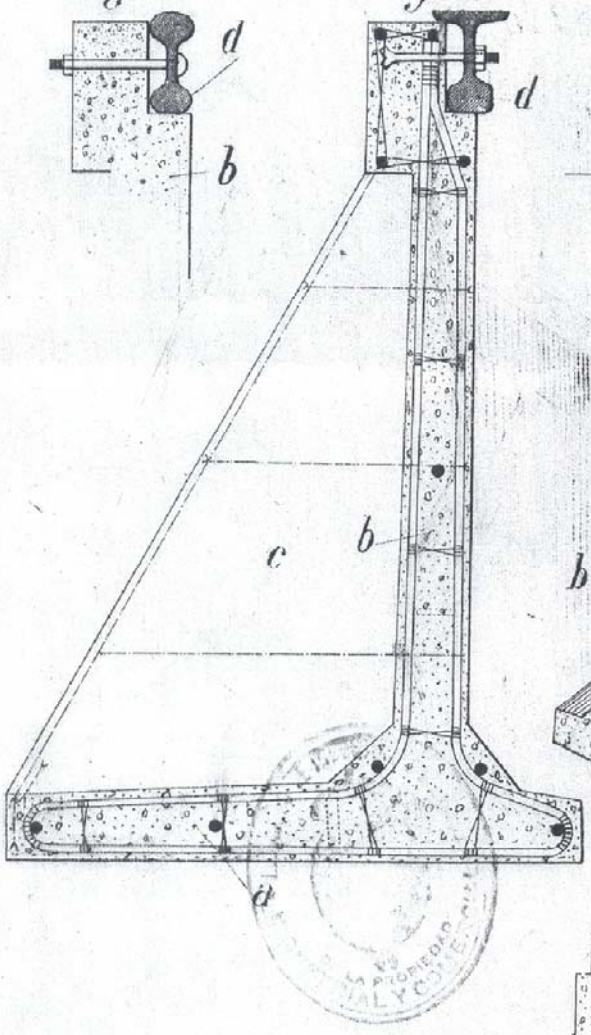
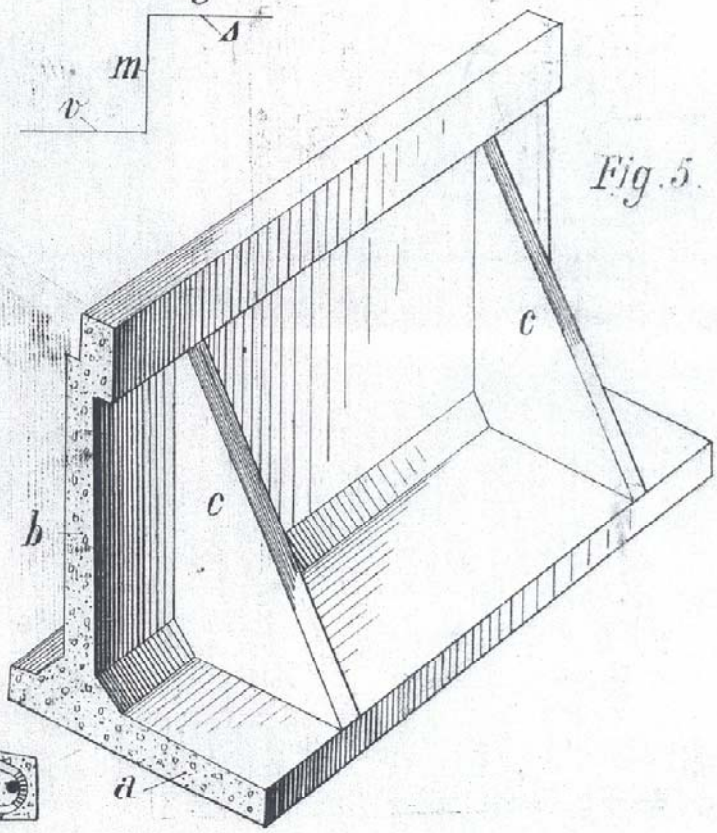


Fig. 1.

Fig. 5.



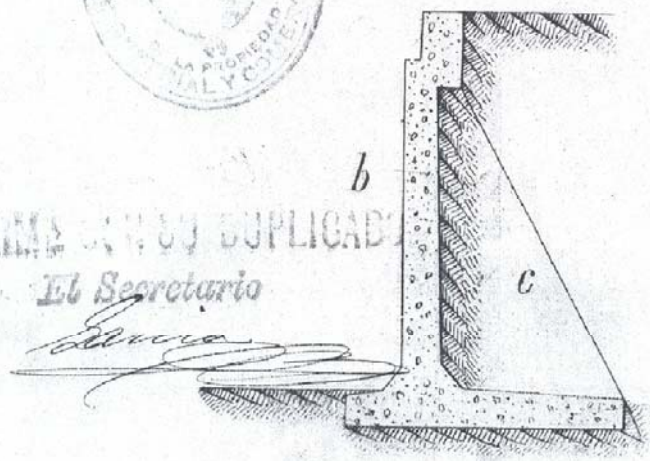


Fig. 2.

DUPLICADO
El Secretario

P. P.
J. Eduardo

En los de de las minas de carbón de Aniche, en Louvain (norte de Francia) hubo que situar las tolvas, a 8,50 m de altura. Se unían mediante una pasarela a los edificios colindantes[231].

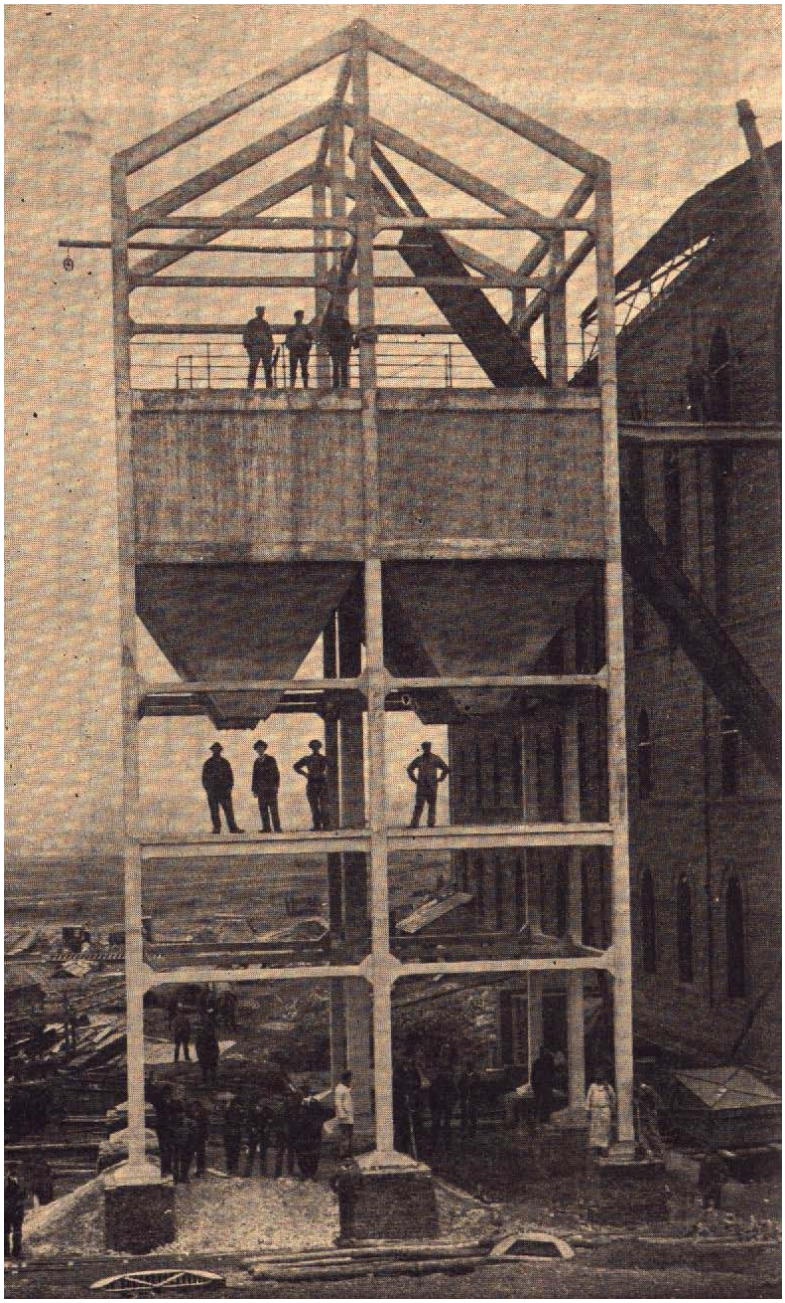


Figura 189. Silos de carbón de las minas de *Aniche* (Francia), 1895. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Fort, *Construcciones de Hormigón Armado.* Biblioteca Foral de Bizkaia.

Junto con ellos, los depósitos de agua*, "formarían parte de la familia privilegiada de obras que contribuyeron a difundir el hormigón armado en el tiempo de su primera madurez"*[232]*.* A pesar de tratarse de una construcción funcional, muchos de ellos, especialmente los depósitos elevados o *château d'eau,* llegarían a convertirse en referentes en el paisaje de muchas ciudades.

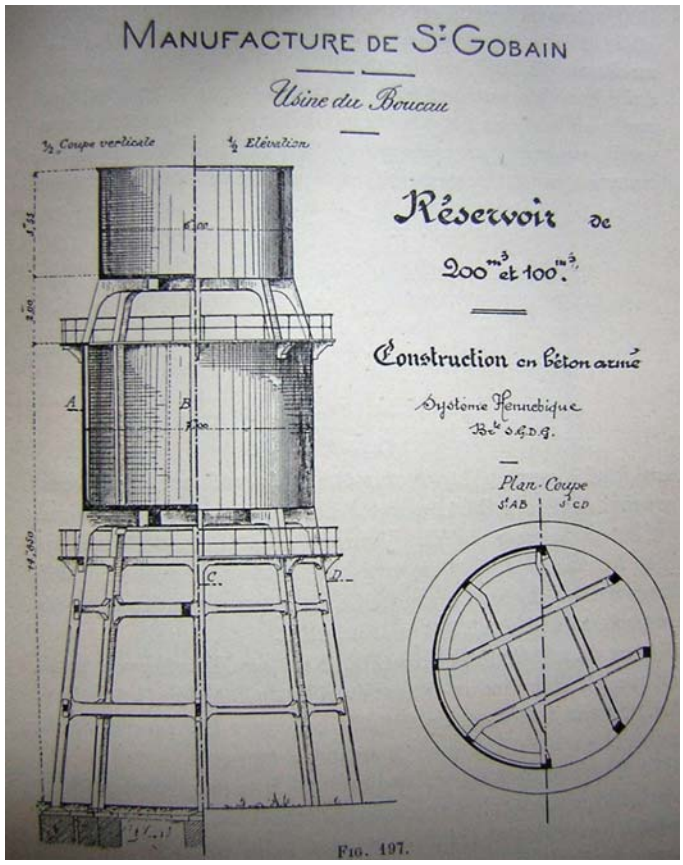


Figura 190. Depósito elevado de la planta de Saint Gobain en Boueau (Francia). Hacia 1900. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Berger y Guillerme, *La Construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Milita. Biblioteca Central Militar.

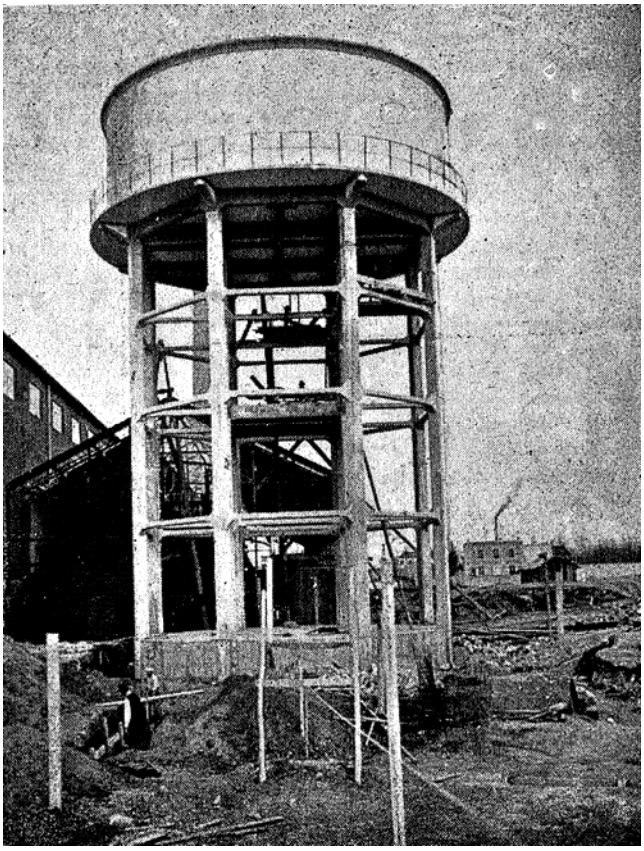


Figura 191. Depósito elevado de Billancourt (Francia), 1899. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Fort, *Construcciones de Hormigón Armado.* Biblioteca Foral de Bizkaia.

Las aplicaciones del sistema Hennebique de hormigón armado de Hennebique alcanzaron todos los campos imaginables. El nuevo material empezó a ser también utilizado en las construcciones militares, planteándose *"la economía que se obtendría substituyendo las enormes masas de hormigón que hoy se emplean en las fortificaciones por hormigones armados"* . Los primeros ejemplos en este ámbito serían dos pantallas "para-balas" en el campo de tiro de Lyon o un abrigo de señaladores en el del Cuartel Bayard, en Grenoble[233].

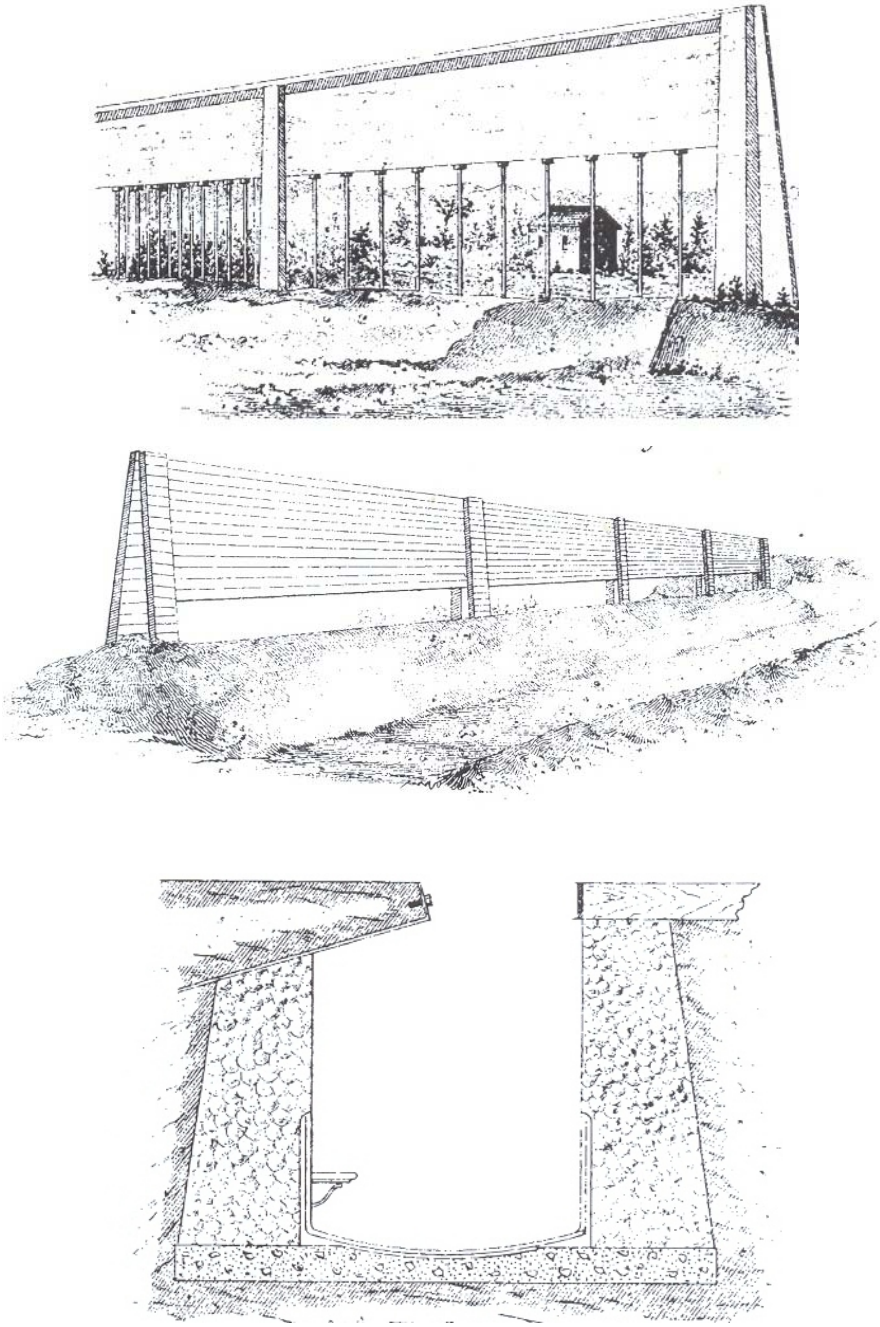


Figura 192. Pantallas "para-balas" del campo de tiro de Lyon; abrigo de señaladores del campo de tiro del cuartel de Bayard, Grenoble. Francia, 1899. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En el *Memorial de ingenieros del Ejército.* Instituto de Historia y Cultura Mlitar. Biblioteca Central Militar.

12. La evolución paralela del hormigón armado en los Estados Unidos.

Una evolución parecida a la que condujo en Europa al nacimiento del hormigón armado se vivió en los Estados Unidos a lo largo del siglo XIX. Lógicamente, hubo una transmisión de experiencias y conocimientos, mutua, entre las dos orillas del Atlántico. Pero aunque prácticamente se vivieron las mismas etapas, los procesos fueron independientes.

El uso del hormigón en los Estados Unidos se remonta a los años treinta del siglo XIX. En 1835 Obadiah Parker patentó un cemento parecido al de Parker. Tendría algún uso en los años 1840, en la construcción de algunos edificios con muros de hormigón.

Debieron ser muy parecidos a la Milton House, una casa de dos plantas construida por John Goodrich en 1844. Tenía una estructura monolítica hecha con hormigón de cemento natural.



Figura 193. Milton House. Wisconsin, Estados Unidos de América, 1844. John C. Goodrich, constructor.

Si nos atenemos al manual de construcción editado por A.C. Smeaton en Philadelphia seis años más tarde, los cementos naturales, la puzolana, el tarras e incluso el cemento romano de Parker eran conocidos y algunos incluso de uso habitual en América, pero no para formar elementos constructivos de hormigón, sino para hacer estucos y morteros en fábricas de ladrillo[234].

También era de uso común en obras hidráulicas y cimentaciones, como en los comienzos en Europa. Hormigones hechos con cemento natural se emplearon en la construcción del Canal

de Erie (Nueva York) ya en 1825. Posteriormente, en la presa de Croton incorporaba un núcleo de hormigón[235].

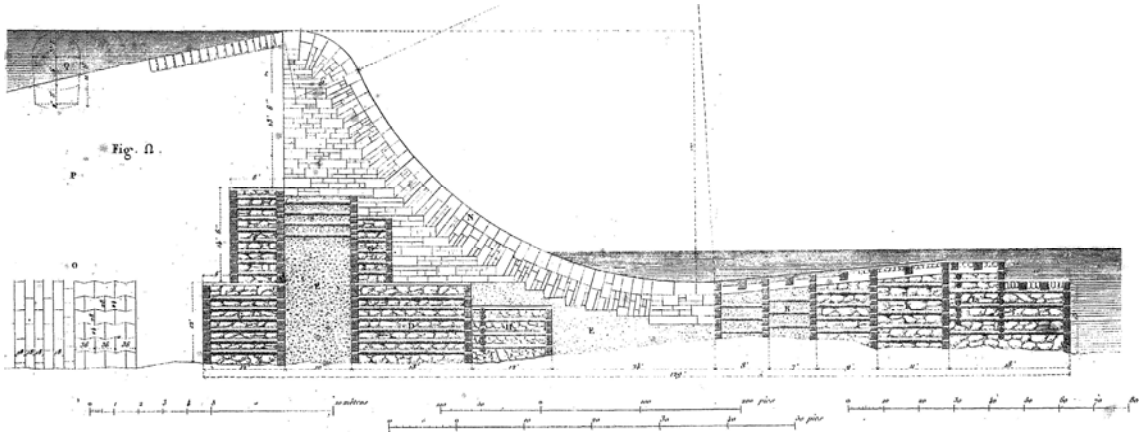


Figura 194. Presa de Croton. Hacia 1850. En Valdés, *Manual del ingeniero y del Arquitecto*. Biblioteca de la Universidad de Granada.

A principios de los sesenta el hormigón volvería a irrumpir en la construcción americana. La primera de las iniciativas corrió a cargo del empresario S.T. Fowler, que en 1860 obtuvo la patente de un sistema de muros de hormigón reforzados con barras de hierro. No tendría mucha trascendencia.

Un año después el ingeniero militar y futuro general Quincy Adams Gillmore iniciaba el estudio científico de los cementos hidráulicos en América, con una serie de experimentos realizados bajo los auspicios del Departamento de Guerra.

Los resultados fueron publicados dos años más tarde, convirtiéndose Gillmore con este trabajo en un experto en cementos y la mayor autoridad sobre hormigones de su país. Así que no le dejaría indiferente el informe[236] que en 1868 dio a conocer Leonard F. Beckwith sobre el hormigón aglomerado de Coignet, que había visto en la Exposición de París de 1867. Vivamente interesado, poco después (febrero de 1870) viajaría a Francia para conocer de primera mano las realizaciones de Coignet.

Gillmore aprovechó también el viaje para estudiar los principales cementos portland de Gran Bretaña, Francia y Alemania, especialmente las instalaciones donde se fabricaban. A su regreso a los Estados Unidos recopiló toda esta información, añadiéndole las conclusiones de diversos experimentos hechos por su cuenta, Todo ello salió publicado en un informe, su "*Report on Béton Aggloméré or Béton Coignet and the materials wich it is made"*, que presentó al cuerpo de Ingenieros del Ejército en 1871. En él se planteaba la posibilidad de introducir tanto el procedimiento constructivo de Coignet como la fabricación del Portland en los USA.

Mientras tanto (entre 1869 y 1870), François Coignet había registrado las patentes de sus hormigones en los Estados Unidos. Inicialmente se harían cargo de su explotación el empresario local Louis Mangeon (según otras interpretaciones un agente enviado por el mismo Coignet) y una empresa llamada *Coignet Aggloméré Company of the United States*. La actividad de uno y

otra está confusa; lo cierto es que a principios de 1871 ya operaba en lugar de ambos la *New York and Long Island Coignet Stone Company*, dirigida por John C. Goodridge.

El primer trabajo de esta compañía fue un puente que, aunque pequeño, tuvo gran importancia por ser el primer arco de hormigón norteamericano. Formaba parte del *Prospect Park* de Brooklyn (Nueva York), que se estaba urbanizando por entonces. Aunque realmente se trataba de una obra de paso para los peatones bajo la carretera principal que atravesaba el parque, debía tener una ornamentación muy cuidada, conforme al carácter que se quería dar a este espacio urbano. Con este requisito, la opción de hacerlo con hormigón Coignet resultaría económicamente muy competitiva frente a la inicialmente proyectada de piedra. El puente fue diseñado por Goodridge y Calbert Vaux, el arquitecto del Parque, con la valiosa colaboración de Gillmore, que por entonces asesoraba técnicamente a la compañía[237].



Figura 195. *Cleft Ridge Span*. Nueva York, 1872. Calvert Vaux, arquitecto y J. C. Goodridge y Q. A. Gillmore, ingenieros. Archivo de la Brooklyn Public Library.

Simultáneamente Goodridge emprendió la construcción de la sede de la empresa, cuyo proyecto encomendó al estudio de arquitectos William Field and Son. En este pequeño inmueble de dos plantas se usaron muros de carga hechos con bloques de piedra Coignet y forjados de hormigón reforzados con viguetas de hierro como los de la casa de F. Coignet en Saint Denis[238].



Figura 196. Edificio de la *New York and Long Island Coignet Stone Company*, en el 360 de la Tercera Avenida. William Field and Son, arquitectos. Nueva York, 1872. The New York City Landmarks Preservation Commission

Hasta 1882 la compañía funcionó regularmente, siendo su principal actividad la fabricación de piedra artificial y elementos ornamentales para arquitectura. Por ejemplo, suministró diversos materiales de construcción para el Metropolitan Museum of Art o la catedral de San Patricio[239]. También a lo largo de los setenta realizaría los forjados del edificio de la Western Union Telegraph Company, losdel Evening Post Building y del Williamsburgh Savings Bank[240]

Pero el desarrollo del hormigón armado en los USA arrancaría de otra línea de investigación, iniciada también en los setenta: el "*fire proofing"*.

A lo largo del siglo XIX en Norteamérica se fue sustituyendo paulatinamente la construcción de madera por las estructuras metálicas, mucho más resistentes y menos vulnerables en caso de incendios.

Precisamente la preocupación por mejorar el comportamiento de los edificios ante el fuego llevó a muchos técnicos y constructores a experimentar con nuevos procedimientos de construcción. Uno que tuvo una acogida muy favorable fue el de las bóvedas tabicadas de ladrillo, introducido en las últimas décadas del siglo por el arquitecto español Rafael Guastavino[241]. Utilizando este tipo de bóvedas se llegaron a construir edificios muy importantes, pero dada la abundante mano de obra que requería no prevaleció frente al hormigón reforzado con hierro, con el que se llevaba varios años experimentando.

El primero en plantear el empleo del hormigón reforzado con hierro para hacer edificios más seguros ante los incendios fue el ingeniero William E. Ward, quien hacia 1873 proyectó y

construyó su propia casa (en colaboración con el arquitecto Robert Mook) utilizando por primera vez en los Estados Unidos hormigón reforzado con hierro.

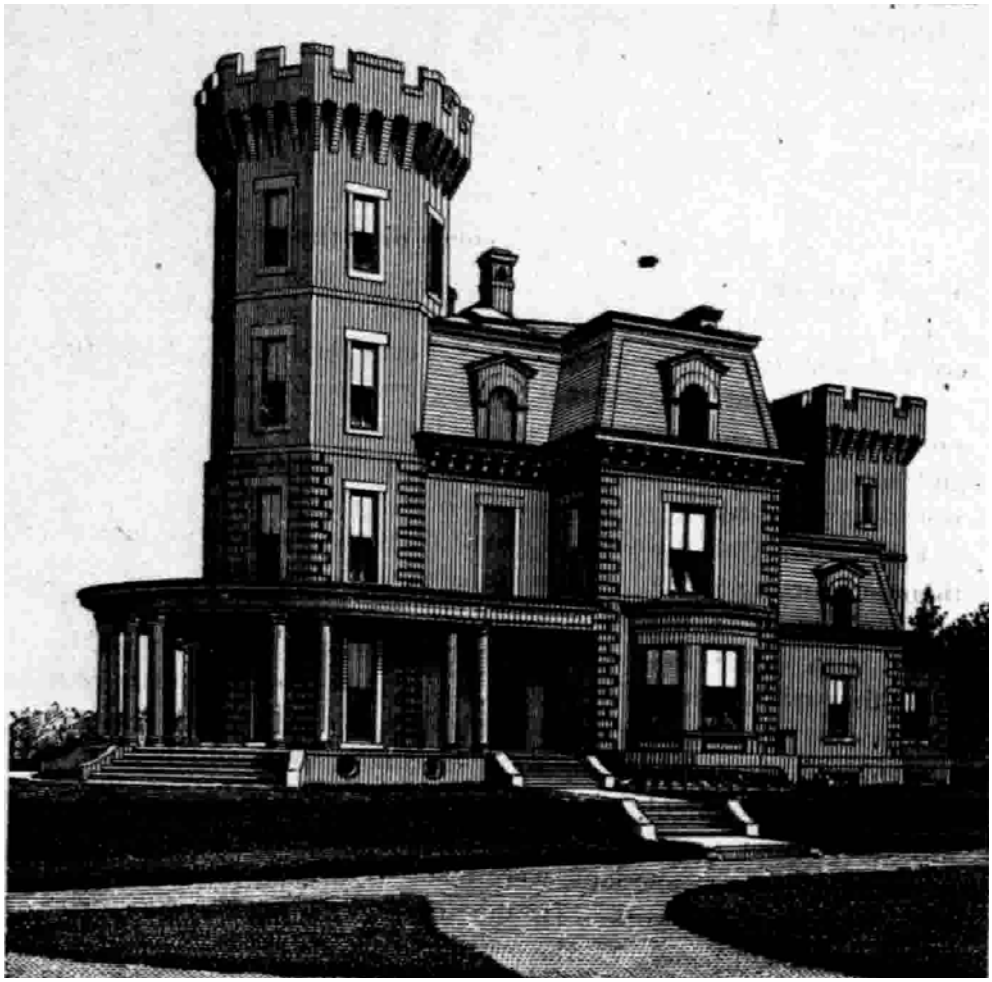


Figura 197. Casa de William E. Ward en *Port Chester*, Nueva York, 1873. William Ward, ingeniero y Robert Mook, arquitecto. En el *Journal of American Society of Mechanical Engineers.* Institution of Civil Engineers.

La búsqueda de un material incombustible para la edificación que tuviera un coste razonable llevó a Ward, ya en 1871, a experimentar con la combinación de hierro y hormigón. La idea se le ocurrió cuatro años antes en Inglaterra, al observar la gran dificultad con que unos obreros intentaban limpiar sus herramientas metálicas de los restos del hormigón que se les había adherido.

Ward debió quedar muy satisfecho del comportamiento de la combinación en esos ensayos, pues cuando, en 1873, se dispuso a construir su nueva casa decidió que *"no sólo los muros exteriores e interiores, las cornisas y las torres del edificio fueran construidas con hormigón, sino que todas las vigas, forjados y cubiertas fueran exclusivamente hechas con hormigón reforzado con perfiles y barras metálicos".*

Así pues, los forjados se resolvían con losas de hormigón reforzadas con dos series barras redondas dispuestas perpendicularmente. Para las jácenas, también de sección rectangular de hormigón, utilizaba como refuerzo perfiles metálicos en doble T.

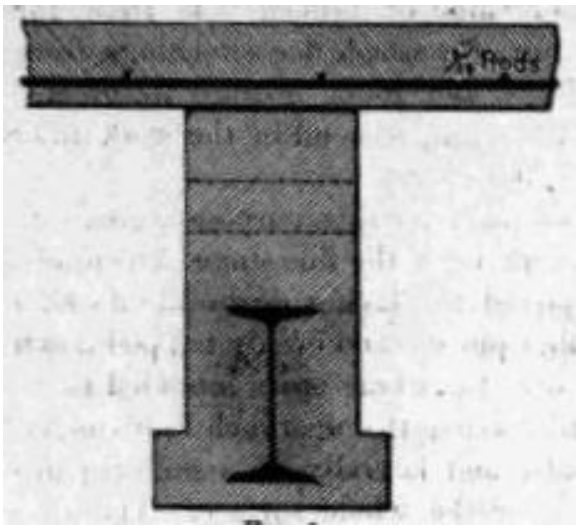


Figura 198. Jácenas y forjados para la Casa de William E. Ward en *Port Chester*, Nueva York, 1873. William Ward, ingeniero. En el *Journal of American Society of Mechanical Engineers.* Institution of Civil Engineers.

Conscientemente situaba los refuerzos de hierro en la parte inferior de las vigas y forjados de hormigón, respondiendo así al reparto racional de tensiones entre ambos materiales.

Ward siguió realizando ensayos con este procedimiento constructivo, extrayendo conclusiones bien significativas: *"las vigas de perfiles metálicos y hormigón pueden resistir cargas varias veces superiores a las vigas de hierro usadas habitualmente sin reforzar; los forjados y cubiertas pueden hacerse económicamente con hormigón reforzado con barras de hierro, siendo capaces de soportar cargas más pesadas, con menos jácenas de soporte, que cualquier otro sistema de forjados usado actualmente, y con igual costo; finalmente, que el sistema representa una defensa perfecta contra la destrucción interior de los edificios por el fuego".*

Sin embargo, no se tiene constancia de que se aplicara en otros edificios. No obstante, Ward seguiría apostando por el hormigón armado, construyendo algunos años más tarde cimentaciones para maquinaria pesada y depósitos industriales[242].

En lo que concierne al conocimiento teórico del nuevo material, una de las contribuciones más importantes fue la que hizo el abogado e inventor americano Thaddeus Hyatt a finales de los setenta.

Buscando un sistema de construcción segura al fuego para sus nuevas oficinas de Nueva York y Londres, se lanzó a estudiar los sistemas de construcción *"fireproofing"* más habituales. Percatándose que lo más efectivo era emplear una combinación de hierro y hormigón se dispuso a hacer por su cuenta una serie de experiencias con estos materiales.

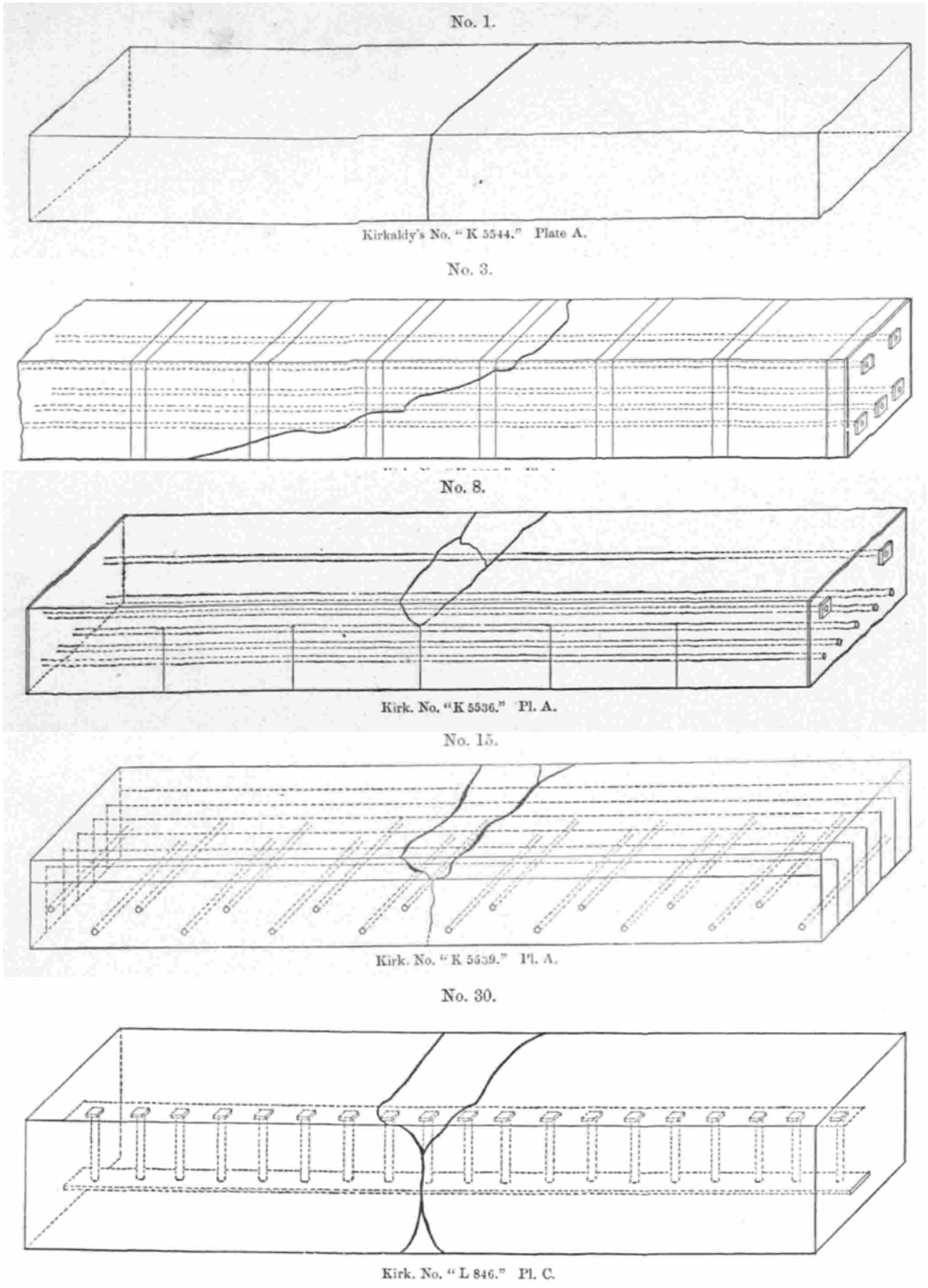


Figura 199. Vigas de hormigón con diferentes refuerzos de hierro probadas a rotura por Thadeus Hyatt. 1877. En Hyatt, *An account of some experiments with Portland cement concrete combinated with iron as a building material.* Institution of Civil Engineers.

Pero a medida que avanzaba en las pruebas no sólo pudo comprobar la gran resistencia al fuego de la combinación, sino que descubrió además las inmensas posibilidades estructurales que ofrecía. Todas estas experiencias le valieron para diseñó su propio sistema de forjados,

constituidos por losas de hormigón armadas con barras planas de resistencia y barras redondas de arriostramiento.

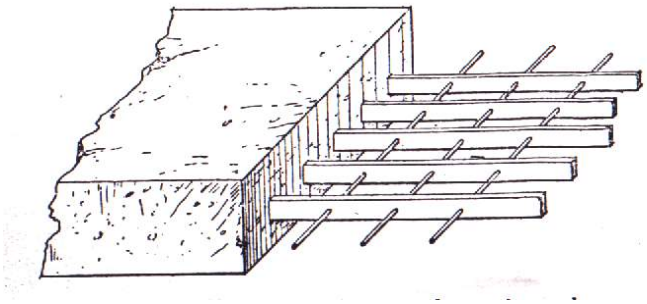


Figura 200. Forjados de hormigón armado, sistema Hyatt. En Berger y Guillerme, *La Construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar Biblioteca Central Militar.

La solidez y resistencia al fuego de este sistema quedaron demostradas con nuevas experiencias.

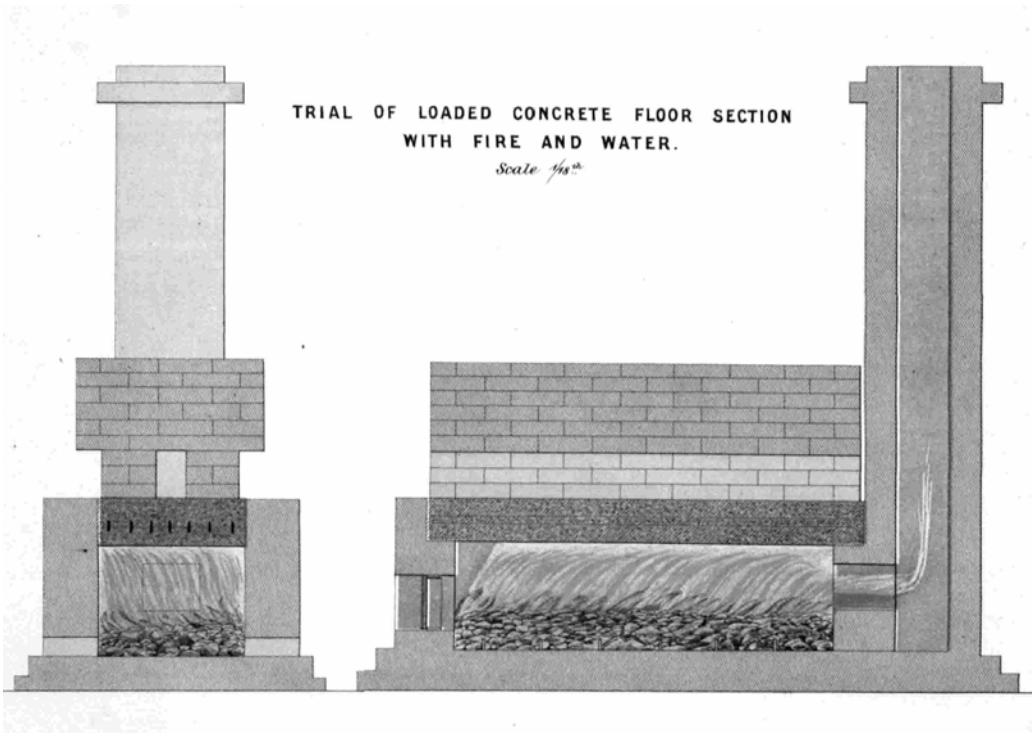


Figura 201. Experiencia de resistencia al fuego de un forjado, por Thadeus Hyatt. 1877. En Hyatt, *An account of some experiments with Portland cement concrete combinated with iron as a building material.* Institution of Civil Engineers.

Todo quedó recogido en su trabajo "*An account of some experiments with Portland cement concrete combinated with iron as a building material*" (un resumen de algunos experimentos con hormigón de cemento portland combinado con hierro como material de construcción), publicado en 1877 en Inglaterra. Sería uno de los primeros estudios teóricos sobre la naturaleza del hormigón armado. Hyatt describió en él cómo funcionaba cada material dentro del conjunto (el hormigón para resistir las compresiones y el hierro para las tracciones). Puso de relieve además que la adherencia entre hierro y hormigón era fundamental para que ambos materiales trabajasen de forma conjunta. Hyatt fue, pues, el primero en estudiar científicamente el nuevo material. Por eso ocupa un lugar destacado en la historia del hormigón armado.

El sistema de Hyatt sería extendido después a las vigas por un tal Jackson [243]. Aunque, igual que el sistema originario, apenas se tiene noticia de que tuviera aplicación en la práctica.

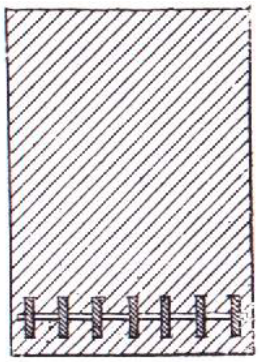


Figura 202. Vigas de hormigón armado sistema Jackson (sección transversal). En Berger y Guillerme, *La Construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar Biblioteca Central Militar.

Al final, sería Ernest Leslie Ransome, hijo del famoso fabricante inglés de piedra artificial, quien diera el impulso definitivo al hormigón armado en los Estados Unidos. En los años setenta se trasladó a Norteamérica, concretamente a San Francisco, donde pasó a dirigir la *Pacific Stone Company*[244]. En 1884 patentó su sistema de construcción de hormigón armado, que se caracterizaba por el empleo de barras de sección cuadradas retorcidas para evitar su deslizamiento dentro de la masa de hormigón.

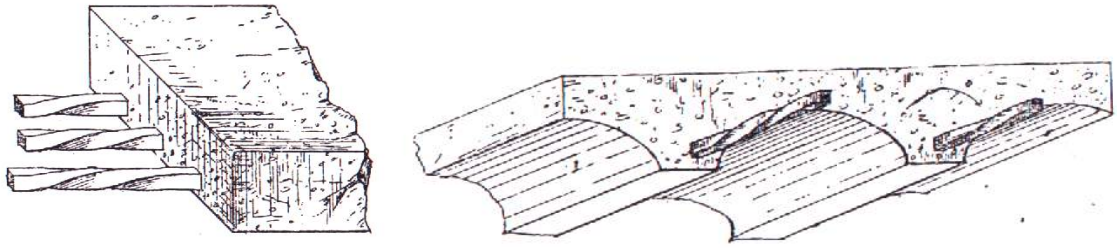


Figura 203. Forjados de hormigón armado sistema Ransome. En Berger y Guillerme, *La Construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar Biblioteca Central Militar.

En un primer momento la actividad de la empresa se concentró en la costa Oeste. Allí construyó, entre 1889 y 1891, su primer gran edificio con estructura de hormigón armado (muros de carga y forjados): el *Leland Stanford Museum*.

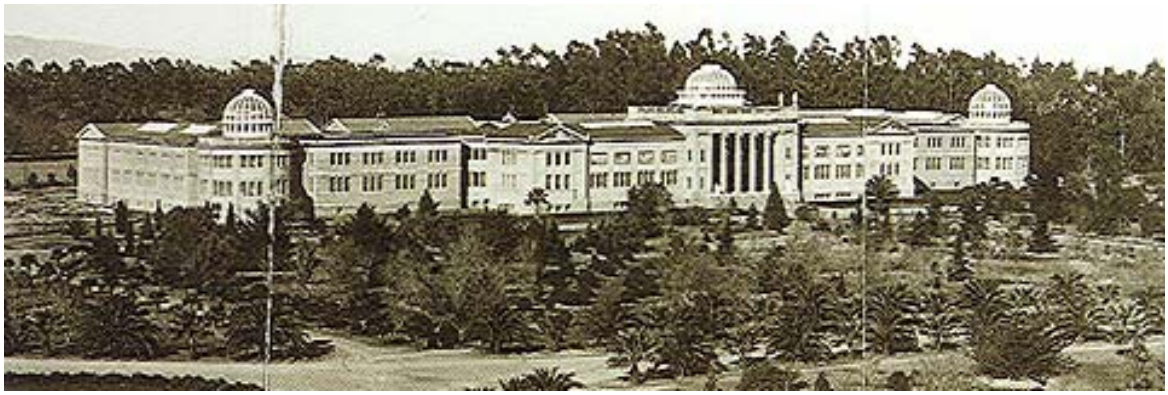


Figura 204. Leland Stanford Museum, Sacramento (California). 1891. Ernest L. Ransome, ingeniero.

Mientras tanto, en el otro extremo del país se estaba empleando también el hormigón armado en una construcción similar, el Museo de Filadelfia. Aunque en este caso su utiización se circunscribía a los forjados, construidos con un sistema llamado Wilson, que luego tendría numerosas aplicaciones por todo el país[245].

Ransome simultanearía las obras del Lelan Stanford Museum con la construcción del *Alvord Lake Bridge*, un pequeño puente por el que todavía se accede al Golden Gate Park de San Francisco.



Figura 205. Alvord Lake Bridge. 1889. Ernest L. Ransome, ingeniero. Library of Congress. Washington, USA.

No tardaría en implantarse en Nueva York, pasando la empresa a llamarse *Ransome Cocrete Company.* Su primera obra en la costa este fue la fábrica de la *Pacific Coast Borax* en Bayona (Nueva Jersey). Ransome todavía no había definido del todo su sistema de construcción y utilizó una estructura de muros huecos de hormigón armado sin conectar de forma monolítica con los elementos interiores.



Figura 206. Fábrica de la *Pacific Coast Borax Company* en Bayona (Nueva Jersey, USA). 1895. Ernest L. Ransome, ingeniero. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Gracias a un incendio que sufrió en 1902, este edificio se convirtió en uno de los más trascendentes para el desarrollo del hormigón armado en los Estados Unidos. La intensidad del fuego fue tal que *"al acero se retorció y el hierro se fundió en deformes coladas; pero los suelos, los pilares interiores y los muros exteriores sobrevivieron, pues todos estaban hechos del mismo material: hormigón armado incombustible"*. Las cementeras americanas, como la Atlas Portland Cement Company, no dejarían pasar la oportunidad de presentar el suceso como un gran triunfo de la construcción con el nuevo material[246].

En la última década del siglo XIX Ransome levantó multitud de edificios de diferente carácter. Algunos de los más representativos serían la fundición de la Eastwood Company en Paterson (Nueva Jersey) o la iglesia de Saint Jacques en Brooklyn(Nueva York)[247].

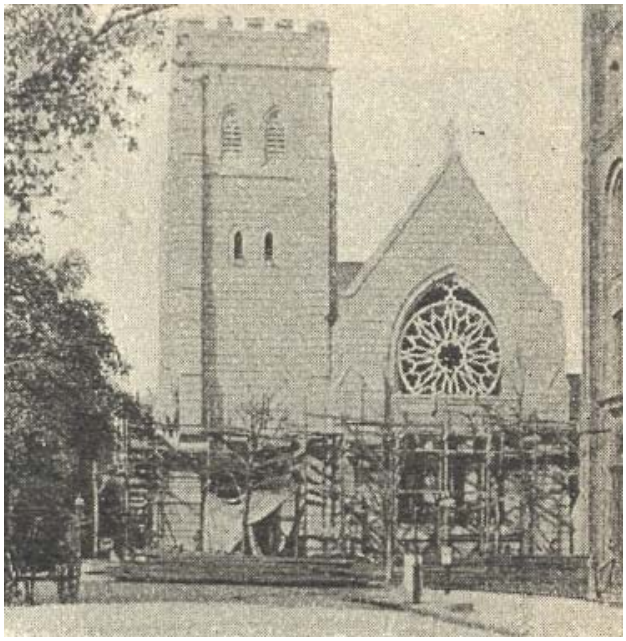


Figura 207. Saint Jacques Church. Brooklyn. 1900. Ernest L. Ransome, ingeniero. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Con ellos fue perfeccionando su sistema constructivo, a base de reducir la importancia de los muros exteriores y mejorar su conexión con los entramados interiores de pilares y jácenas. Esta nueva configuración estructural ya es palpable en sus almacenes comerciales de Milwaukee, construidos hacia 1900.

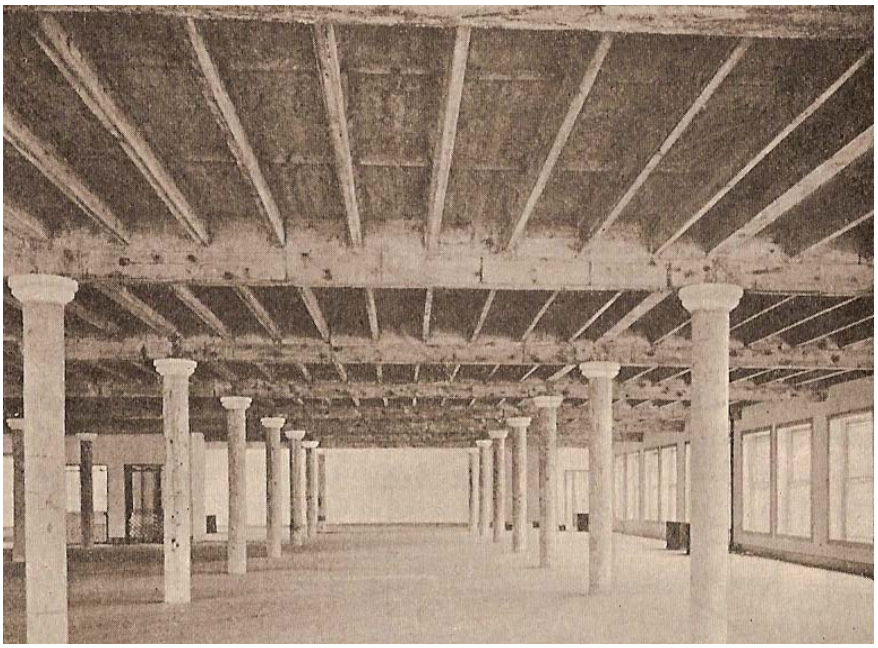


Figura 208. Edificio comercial en Milwaukee. 1900. Ernest L. Ransome, ingeniero. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

Ernest Ransome también sería pionero en otras construcciones de hormigón armado como las chimeneas industriales. Por ejemplo, la de la citada factoría de la *Pacific Coast Borax* tenía casi 46 m de altura. Otras dos idénticas construiría para la fábrica de la compañía Singer en South-Bend (Indiana), mientras que para la *Central Lard &Co* de Jersey City levantaría una de 33 m de altura cimentada sobre pilotes[248].

En los años iniciales del siglo XX, la compañía de Ransome, con su sistema de construcción de hormigón armado plenamente ratificado, llevaría a cabo algunas de sus mejores realizaciones: la fábrica de la United Shoe Machinery Company en Beverly 1906) y la segunda fase de la Pacific Coast Borax (1907)[249].

Sin embargo, pronto cedería el testigo a una nueva generación de técnicos y constructores, capitaneados por el arquitecto Albert Kahn de Detroit y el empresario de la construcción Henry Turner de Minneapolis[250].

La construcción que marcó el ascenso de Kahn como figura destacada de la arquitectura norteamericana fue el innovador edificio Packard 10 en Detroit. Pocos años después culminaría su trayectoria con la fábrica de la Ford Motor Company en Michigan[251] .

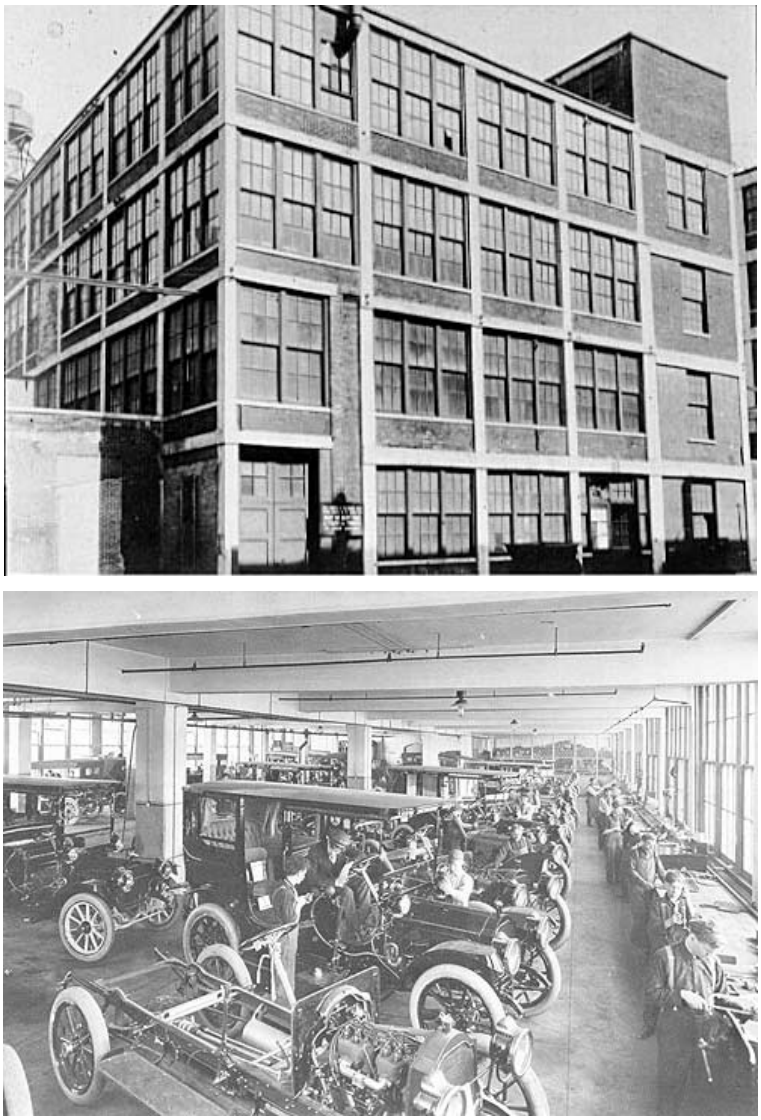


Figura 209. Edificio Packard 10 en Detroit. Estados Unidos. 1906. Albert Kahn, arquitecto.

Por su parte, HenryTurner, un antiguo empleado de Ransome, fundaría una potente empresa constructora, la *Turner Construction Company,* que explotaría nuevas posibilidades para las estructuras de hormigón armado en edificios de viviendas.



Figura 210: Garaje en edificio de viviendas no identificado, construido hacia 1905 por la Turner Construction Co. *American Concrete Institute.*

La empresa de Turner se haría cargo de la construcción, en 1903, del Ingalls Building de Chicago, el primer rascacielos con estructura de hormigón armado.



Figura 211: Ingalls Building. Cincinatti (Ohio, USA). 1903. Oscar Selzner, arquitecto. Henry Turner, constructor. *American Concrete Institute.*

Junto a los de estos constructores, los más populares, surgirían otros intentos de desarrollar sistemas de hormigón armado. Por ejemplo, antes de 1900 la *Columbian Fire-Proofing Company* hacía edificios con vigas metálicas envueltas en hormigón[252].

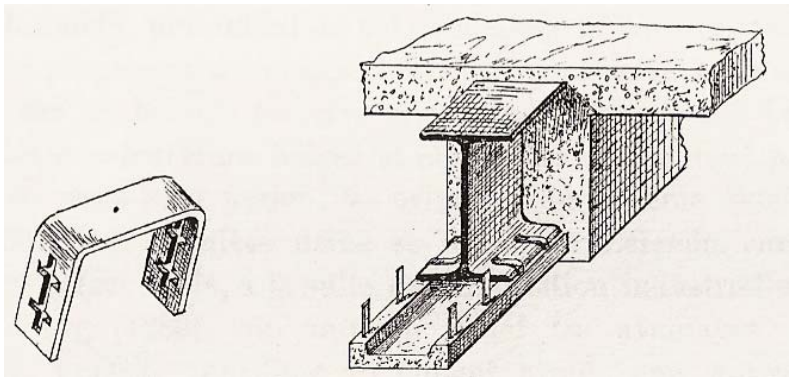
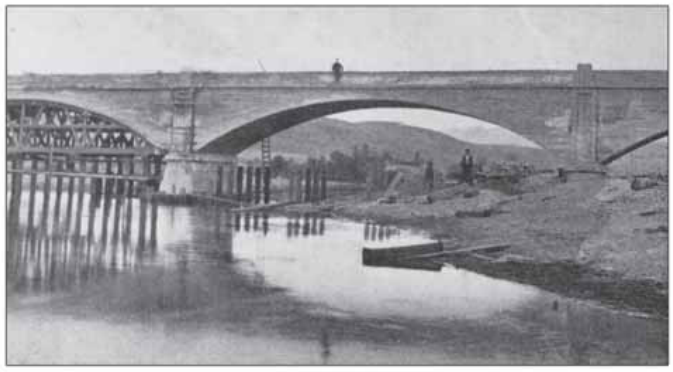


Figura 212: Sistema constructivo de la *Columbian Fire-proofing Co.* En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Por su parte, la *Roebling Construction Company* lanzó también una modalidad propia de forjados, con aplicaciones poco conocidas. En cambio, el sistema de barras corrugadas especiales de John B. Leonard sería utilizado en alguna construcción notable, como el puente Pollasky en California. Constituido por arcos de 23 m de luz, data de1905[253].



Concrete Bridge at Pollasky, Cal., Ten 75-foot Spans, Reinforced with Corrugated Bars, Designed by Jno. B. Leonard, C. E.

CORRUGATED STEEL BARS FOR REINFORCED CONCRETE



These bars are carried in stock in San Francisco and can be furnished in any length up to 30 feet. Special designs for any class of work in reinforced concrete furnished free of charge.

SEND FOR CATALOGUE

JOHN B. LEONARD, C. E., Agent

608 CROSSLEY BUILDING - - SAN FRANCISCO

TELEPHONE GRANT 118

Figura 213: Anuncio de la Corrugated Bar Company, con el puente de Tollasky. *American Concrete Institute.*

No obstante, en el campo de los puentes el liderazgo en esta primera etapa correspondería al sistema del ingeniero austriaco Joseph Melan. En su país natal tuvo muchas aplicaciones, pero sería en los Estados Unidos, donde desde mediados de los noventa funcionaba la *Melan Arch Construction Company*, su sistema experimentaría un desarrollo mayor[254].

El primero de sus grandes puentes americanos se construyó en 1894. Fue el del Edenpark en Cincinnati (Ohio), un arco empotrado de 21 metros de luz, con armaduras rígidas dispuestas con una separación de un metro.

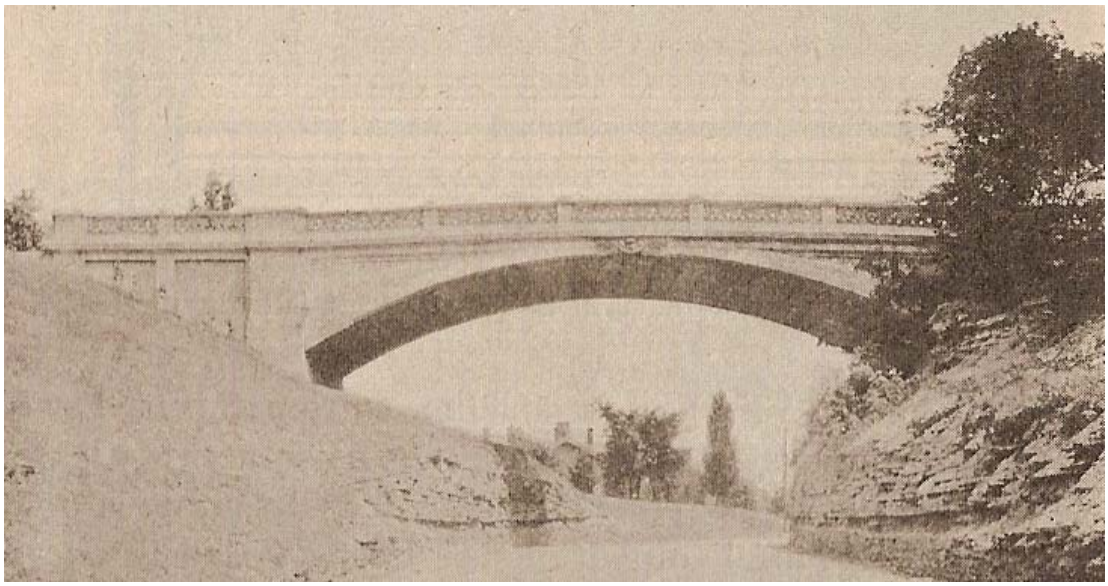


Figura 214: Puente del Edenpark en Cincinnati (Ohio, USA). 1894. Joseph Melan, ingeniero. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

El primero de sus grandes puentes americanos se construyó en 1894. Fue el del Edenpark en Cincinnati(Ohio), un arco empotrado de 21 metros de luz, con armaduras rígidas dispuestas con una separación de un metro.

Un año después se terminó en Detroit el mayor puente de ferrocarril construido hasta la fecha en hormigón armado. Tenía una luz de treinta metros, que se salvaba con una bóveda de hromigón con armaduras rígidas.



Figura 215: Puente ferroviario de Detroit (Michigan, USA). 1895. Vista durante la ejecución. Joseph Melan, ingeniero. En Cristophe, *Le béton armé et ses applications.*

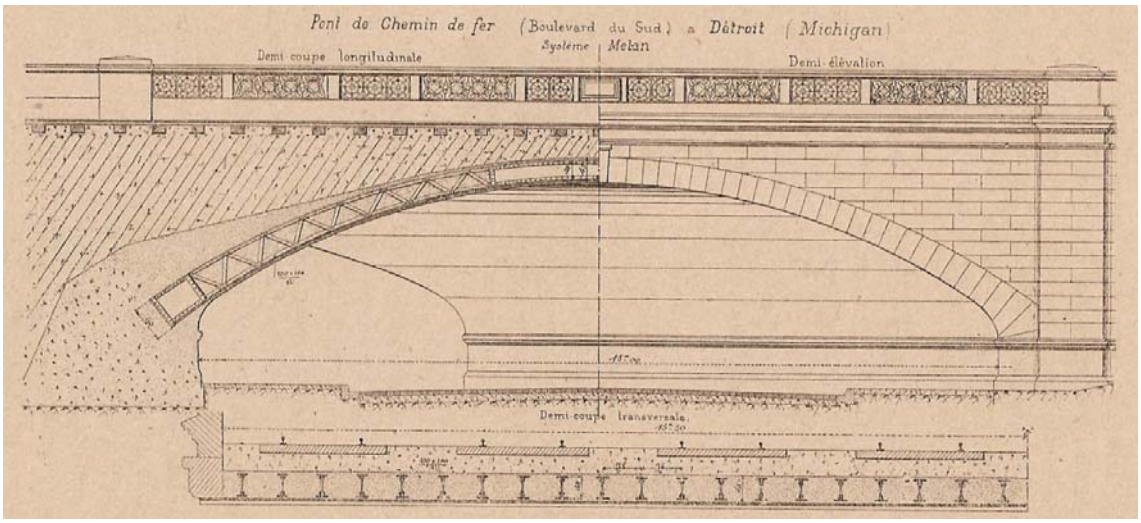


Figura 216: Puente ferroviario de Detroit (Michigan, USA). 1895. Detalle de la estructura. Joseph Melan, ingeniero. En Tedesco y Forestier, *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.*

Aunque de todos los puentes que Melan construyó en los Estados Unidos quizá el más representativo sea el del río Kansas en Topeka. Se formaba con cinco bóvedas de luces desiguales, el central de 38 m de luz, los intermedios de 35 y los pegados a la orilla de treinta. En total, el puente salvaba una luz de 197 m. Cada una de estas bóvedas se armaba con una docena de arcos de celosía.



Figura 217. Puente sobre el río Kansas en Topeka (Kansas, USA). 1897. Joseph Melan, ingeniero

Los sistemas de Melan y Hennebique, que llegaría a los Estados un poco más tarde, serían los únicos desarrollados en Europa que conseguirían tener alguna implantación al otro lado del Atlántico.

Tampoco cruzarían el Atlántico en sentido contrario los sistemas americanos. Solamente un invento relacionado con el hormigón armado tendría aceptación en Europa, el "*Extended Metal"* o, como sería más conocido en el Viejo Continente, "*Metal Deployé"* (Metal desplegado). Patentado por John French Golding, consistía en una rejilla metálica de gran resistencia, fabricada a partir de chapa metálica cortada en aberturas paralelas y luego estiradas[255].

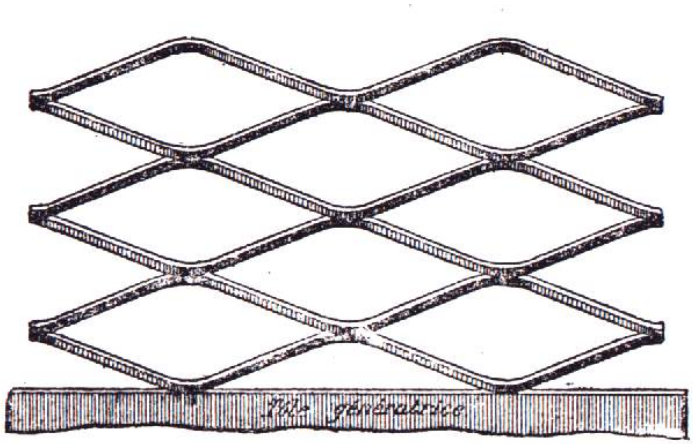


Figura 218. Rejilla metálica llamada "Expanded Metal" o "Métal déployé". Patentada por John French Golding. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Esta rejilla podía ser empleada como armadura en losas y tabiques de hormigón. Por ejemplo, con *metal deployé* se construyó un depósito de agua de 3000 m^3 de capacidad en Malinas (Bélgica)[256]

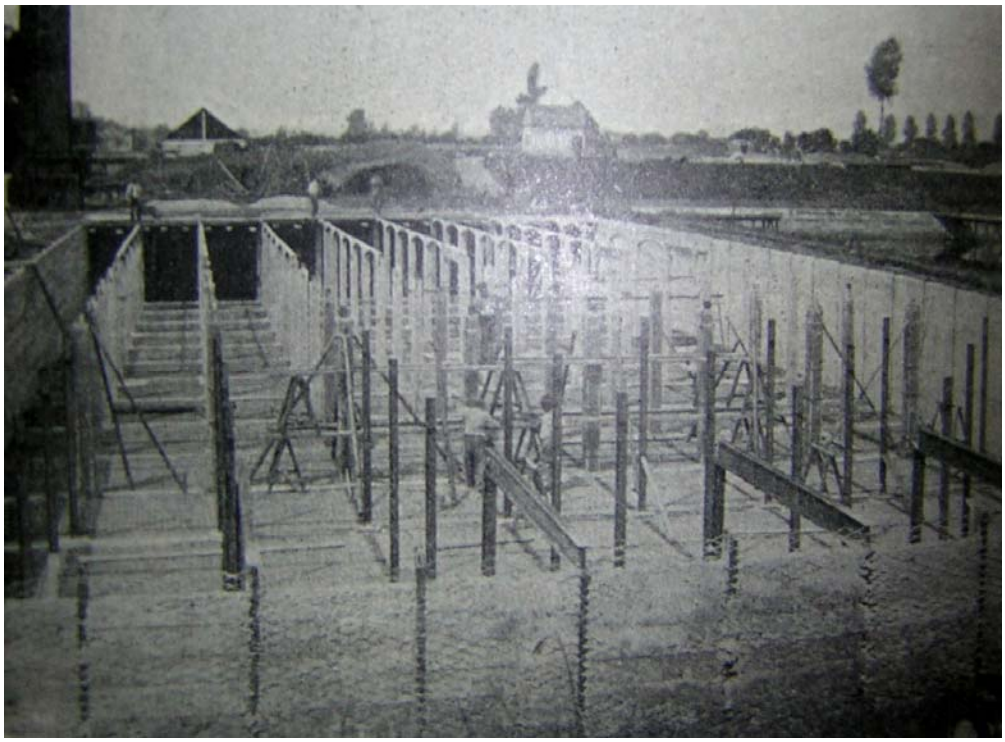


Figura 219: Depósito de agua de Malinas (Bélgica). Hacia 1900. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Pero por su sencillez de ejecución y economía donde más éxito tuvo fue en los forjados, que se resolvían combinando estas losas armadas con viguetas metálicas.

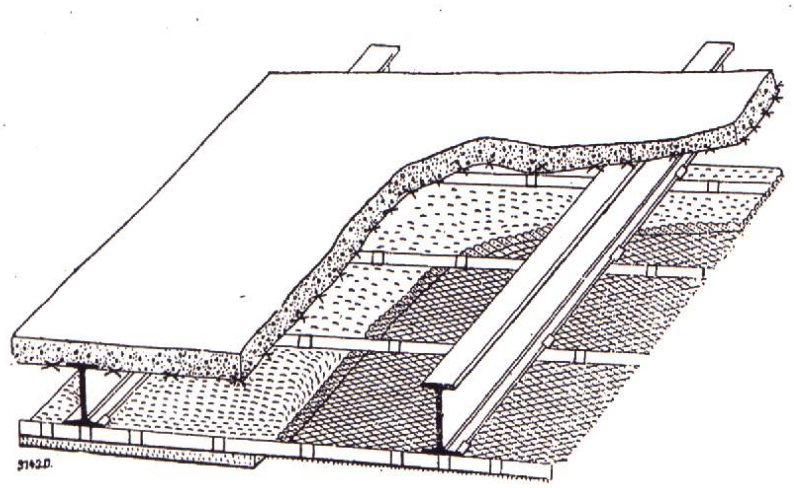


Figura 220. Forjado compuesto por una losa de hormigón armada con *Métal déployé*, sobre viguetas metálicas. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Para forjados sometidos a sobrecargas importantes fueron también bastante populares los llamados *"arcos Golding"*, pequeñas bóvedas de varios metros de luz combinadas con jácenas metálicas con perfil en doble T[257].

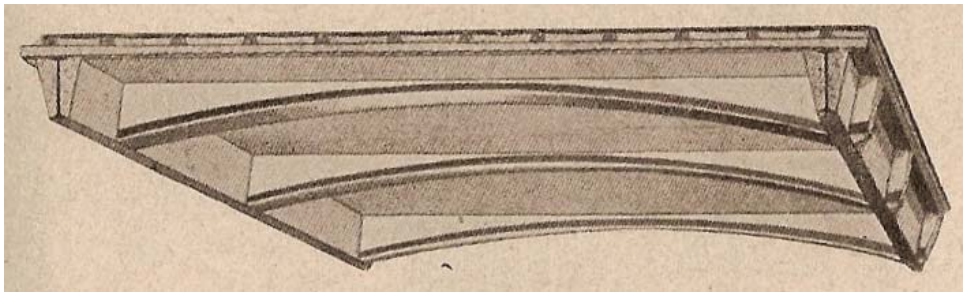


Figura 221. Esquema estructural de los arcos Golding. En Tedesco y Forestier, *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.*

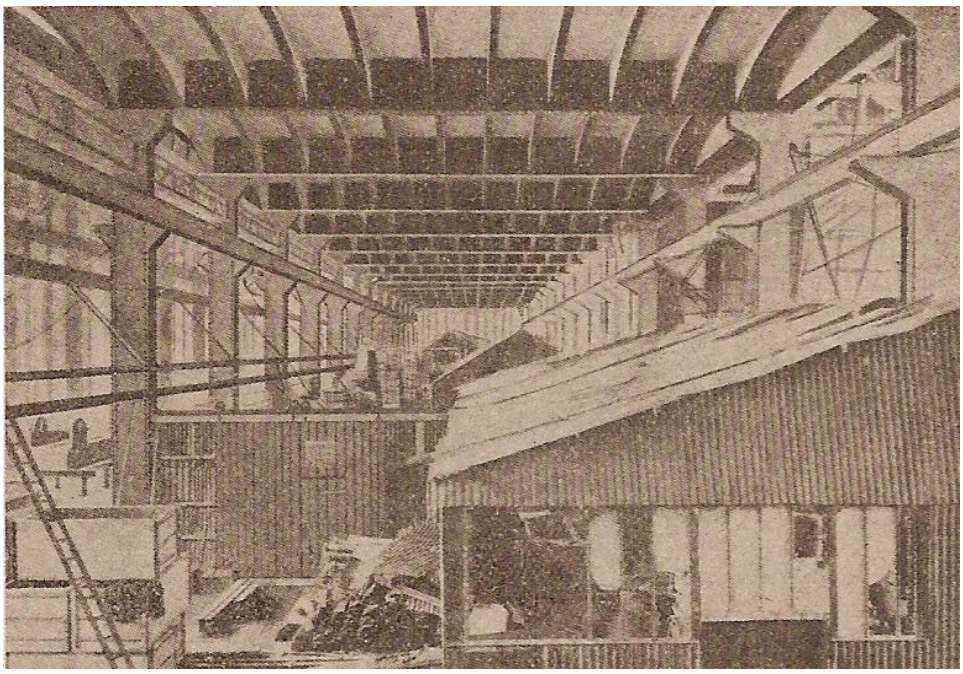


Figura 222. Fábrica de Armstrong, Withworth & Co en Newcastle (Reino Unido). Hacia 1900. Forjado resuelto con arcos Golding. En Tedesco y Forestier, *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.*

Hacía 1905 hasta el famoso inventor Thomas Edison presentaría una propuesta de construcción con hormigón armado, como sistema industrializado para hacer viviendas económicas. Pero aparte del coronel de ingenieros Rabt. H. Eiken nadie se atrevió a llevar a la práctica esta idea. Hacia 1908 Eiken patentó un sistema parecido, con el que su empresa, la *R.H. Aiken Engineering Co*, levantó unos edificios de viviendas para los cuarteles del cuerpo de maniobras de Kerry (Ohio)[258].

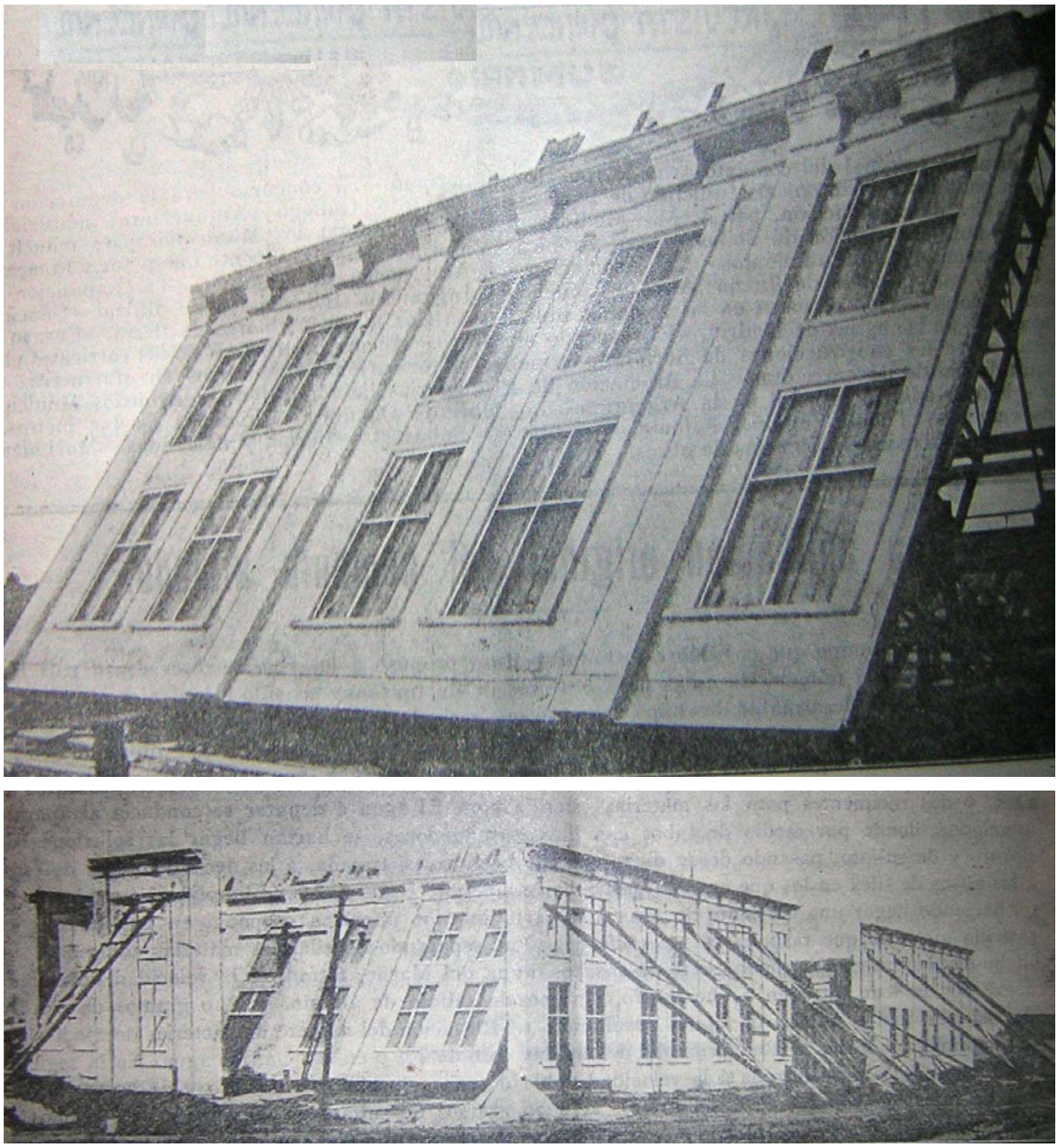


Figura 223. Construcción de viviendas prefabricadas en Kerry (Ohio). Estados Unidos. 1908. Rabt H. Aitken, ingeniero militar. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

13. La consolidación del hormigón armado en la primera década del siglo XX: desarrollo del conocimiento teórico y primeras normativas.

Al comenzar el siglo XX el hormigón armado todavía no había superado la etapa inicial de su desarrollo, a pesar del incremento vertiginoso del número de obras hechas con él en la década anterior. Aunque ya se había comenzado a estudiar científicamente, la base teórica de que se disponía era muy elemental. Unas cuantas empresas de diversa naturaleza monopolizaban la nueva técnica constructiva, en base a unos conocimientos mayoritariamente empíricos que iban acumulando a medida que llevaban a cabo nuevas construcciones. En estas condiciones, un gran acontecimiento internacional, la Exposición Universal de París de 1900, iba a ser su gran escaparate a nivel mundial.

Lo mismo que la anterior exposición de 1889 había constituido, con la Torre Eiffel y la Galería de Máquinas del Campo de Marte, la apoteosis de las construcciones metálicas, y ante la espectacular multiplicación de las nuevas construcciones de hormigón armado, no tardaron en surgir voces proponiendo que en el nuevo evento se consagrara la original e innovadora técnica constructiva. Por ejemplo, ya en 1894, Edmond Coignet pensaba que *"la Exposición de 1900 será una ocasión propicia para la ejecución, con este modo de construcción de invención francesa, de una obra cuya audacia deje muy atrás todo lo que de este género se ha hecho en el extranjero en los útlimos años"*[259]. Por su parte, proponía la construcción de un puente de 112 metros de luz, cuyo proyecto no fue aprobado.

No obstante, Edmond Coignet tendría su obra emblemática en la Exposición, y además participaría en el diseño de otra, el *Cosmorama* o Globo Celeste, un proyecto del arquitecto Albert Galeron. Se trataba de una grandiosa esfera de 50 m de diámetro, en cuyo interior se desplegaría *"un espectáculo jamás visto, […], la representación del Cielo comprendiendo la parte de la bóveda celeste visible desde el horizonte de París"*. Para construirla, Galeron "*no dudó en adoptar el cemento armado, de acuerdo con el eminente constructor Edmond Coignet".* Entre ambos quedaría planteada la estructura de la bóveda, *"que no tendría más de diez centímetros* de espesor medio"[260].

Sin embargo, de la construcción del "pedestal", el edificio de dos plantas sobre el que se sustentaba la gran esfera, se encargaría finalmente la Sociedad del *Fer-Béton*, dejándolo terminado en enero de 1900, unos meses antes de la inauguración de la Exposición[261]. Además de la desgraciada pasarela de acceso al *Globe Céleste*, también correspondería a esta sociedad, que explotaba el sistema Matrai, la construcción de las escaleras circulares del palacio de las Manufacturas[262]



Figura 224. El Gran Globo Celeste de la Exposición Universal de París de 1900. A. Galeron, arquitecto y constructor. Sociedad de construcciones en Fer-Béton, empresa constructora.

Casi todas las empresas punteras del hormigón armado participaron en las obras de la Exposición. Así, Edmond Coignet se encargó del *Château d'eau*, Boussiron del Restaurante de Congresos, la compañía de La Plaine-Saint-Denis del Pabellón de Camboya y Paul Cottancin del de San Marino[263].



Figura 225. Obras del pabellón de San Marino en la Exposición Universal de París de 1900. Paul Cottancin constructor. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Pero la empresa que más se beneficiara de la Exposición no podía ser otra que la casa Hennebique. Para empezar, le fueron adjudicados los forjados de los dos grandes palacios de los Campos Elíseos, las únicas construcciones de carácter permanente. Esto suponía una superficie de varios miles de metros cuadrados, que se empezaron a ejecutar en 1898[264].

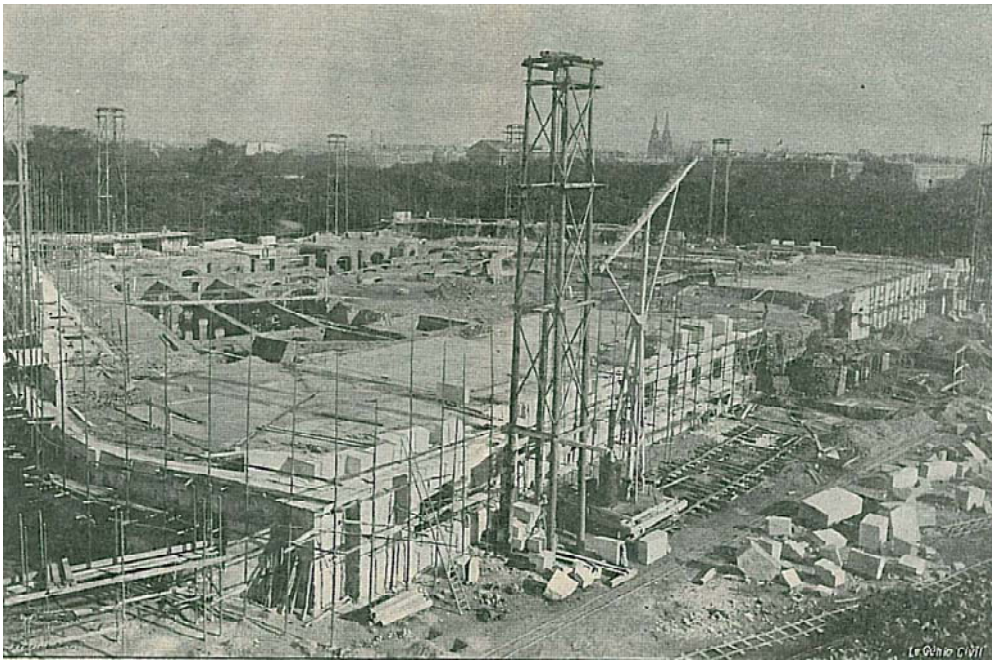


Figura 226. Construcción del Petit Palais en la Exposición Universal de París de 1900. Estado de las obras en mayo de 1898. C. Girault, arquitecto y Grouselle, constructor. En *Le Génie Civil.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos.

Además le iban a corresponder diversas obras de urbanización, como la cubierta de un tramo del Ferrocarril *des Molineaux* o la pasarela de acceso al Pabellón de Madagascar. Esta última fue ejecutada por su concesionario Dumesnil[265]

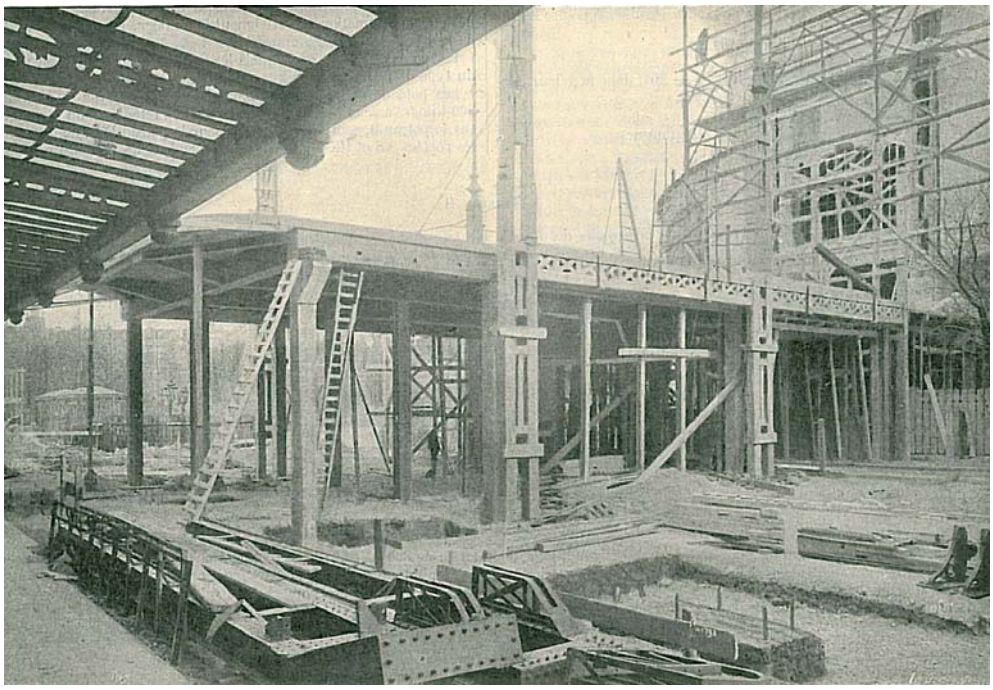


Figura 227. Exposición Universal de 1900. Construcción de la Pasarela del Pabellón de Madagascar. París, 1900. Dumesnil, constructor. En *Le Génie Civil.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos.

El Palacio de las Letras, Ciencias y Artes sería su obra representativa, aunque también había presentado (en 1896) un proyecto de puente monumental sobre el Sena, en colaboración con el arquitecto É. Bérard[266].

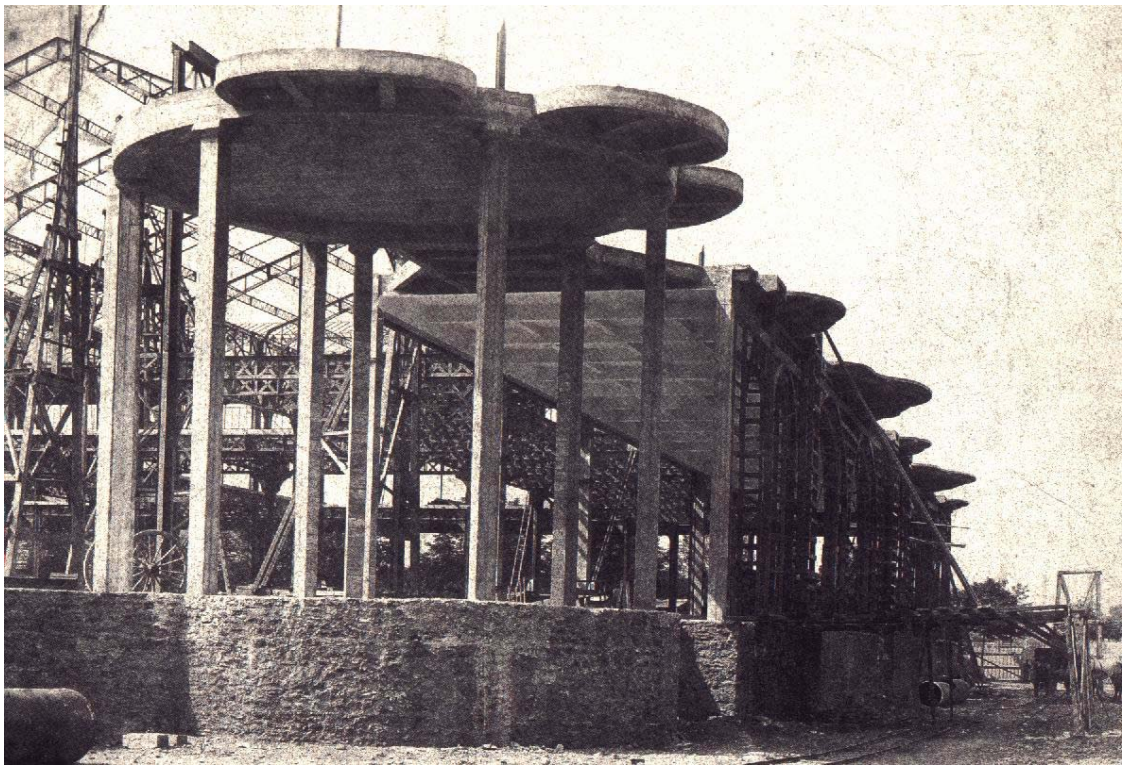


Figura 228. Exposición Universal de París, 1900. *Palais des Lettres, Sciences et Arts.* Sortais, arquitecto. Direction des Archives de France. Cité de l'architecture et du patrimoine. Centre d'archives d'architecture du XXe siècle.

El acontecimiento representó un fuerte espaldarazo al hormigón armado, pero no definitivo. En la misma Exposición se produjeron dos accidentes que sembraron la incertidumbre sobre la viabilidad de la nueva técnica constructiva. En el primero (24 de agosto de 1899), el hundimiento del edificio situado en frente del nº 5 del quai d'Orsay, no hubo victimas porque se produjo cuando habían salido todos los obreros. Sin embargo, el ya comentado colapso de la pasarela del *Globe Céleste*, ocurrido el 29 de abril de 1900, se llevó la vida de ocho personas.

Fuera de la Exposición, Hennebique tuvo dos accidentes más en 1899: el hundimiento de la casa de Anatole Janvier en Mans y el de los forjados del Hotel Imperial en Niza, con dos muertos[267].

El accidente que, si bien no fue el más grave, más repercusión tuvo fue el del Hotel *de l'Ours Noir* en Bâle, Suiza. Este edificio colapsó mientras se estaba construyendo, debido a un fallo en el proceso de ejecución. Sin embargo, había muchos intereses en contra del hormigón armado en general y de la casa Hennebique, que lo estaba construyendo, en particular. En algunos círculos se pretendió presentar el accidente como la prueba definitiva de la inconsistencia del nuevo material de construcción. Ante la desproporcionada campaña de desprestigio no dudarían salir en su defensa prestigios técnicos como el ingeniero Ritter o el arquitecto Geyser[268].

Ante la gran magnitud que etaba alcanzando la construcción con hormigón armado, cada vez iba tomando más cuerpo entre los profesionales de la construcción la necesidad de regular sus procedimientos de cálculo y ejecución. Para ello era imprescindible disponer de unas bases de diseño racionales y apoyadas sobre sólidos fundamentos teóricos, en vez de encontrarse a merced de unas patentes a menudo producto de intuiciones y llenas de empirismo.

El temor a los accidentes terminó de concienciar a los organismos públicos encargados de la construcción de que era necesario impulsar la investigación para la reglamentación del hormigón armado.

Aunque por propia iniciativa muchos técnicos ya estaban sumando sus esfuerzos para avanzar en el conocimiento teórico del nuevo material. En Francia, desde 1894 Planat, Ledort y Resal ampliaron las primeras investigaciones de Coignet y Tedesco. En Austria destacaron Spitzer, Mandl, Melan y Von Thullie, con trabajos publicados entre 1896 y 1897. En la misma dirección trabajaron Ostenfeld en Dinamarca, Lütken en Suecia, Sanders en los Países Bajos y Ritter en Suiza. Y en Francia, antes de que acabara el siglo XIX Armand Considère y el ya citado Harel de la Noë habían dado a conocer los resultados de sus valiosas investigaciones[269].



Figura 229. Ensayo de resistencia de una columna de hormigón ”zunchado” (invención de Armand Considère) en los laboratorios de Escuela de Ponts et Chausées. París, hacia 1900.

Entre los investigadores alemanes de principios de siglo destacó Emil Morsch, ingeniero que se hizo cargo de la dirección de Wayss & Freytag en 1903. Muy significativa sería también la aportación del austriaco Fritz Von Emperger, quien a partir de 1902 fomentó el intercambio de conocimientos mediante su revista *Beton und Eisen.*

El esfuerzo de estos investigadores pronto daría sus frutos. En 1902 los municipios de Berlín, Dresde, Düsseldorf, Francfort y Hamburgo emitieron los primeros reglamentos de construcción con hormigón armado. En su redacción primaron los aspectos preventivos, resultando ser muy restrictivos[270]. La primera circular alemana tratando los materiales, cálculo, ejecución y recepción de las construcciones de cemento armado se publicaría dos años más tarde[271].

Otro de los países pioneros en la normalización fue Suiza. Desde finales del XIX, la Escuela Politécnica de Zurich venía haciendo importantes progresos en el cálculo de estructuras en general y en el del hormigón armado en particular. En relación con este último destacan los trabajos del mencionado Wilhelm Ritter, quien en 1889 formuló la primera teoría sobre el cálculo de arcos de hormigón armado.

El hundimiento del edificio de Bâle motivó la creación de una comisión de expertos (formada por Ritter, Geiser y Schüle) que elaboró las primeras recomendaciones para la construcción con hormigón armado. Provisionalmente se publicó una instrucción en 1903, que sería completada de forma definitiva en 1910.

Aunque Francia iba por delante en la creación de una comisión similar (fue organizada en 1900), sus resultados se hicieron esperar algún tiempo más. En ella estaban representados ingenieros de puentes y caminos (Charles Rabut, Harel de la Noë y Armand Considère), ingenieros militares (Boitel), arquitectos (Jacques Hermant y Charles Albert Gautier) y representantes de empresas (Edmon Coignet, E. Candlot y François Hennebique)[272].

Las numerosas obras de la Exposición constituyeron la base de los primeros ensayos exhaustivos[273]. No obstante, sus trabajos se prolongaron hasta octubre de 1906, cuando el Ministerio de Obras Públicas emitió su famosa *Circular*. Esta se convirtió rápidamente en la norma más seguida en muchos países.

Por su parte, en los Estados Unidos hasta 1910 no tendrían su primera norma, la S*tandard Building regulations for the use of Reinforced Concrete.*

Disponiendo de estas herramientas, los técnicos empezaron a diseñar estructuras de hormigón armado por sí mismos, según su propio conocimiento y sin tener que recurrir a las onerosas patentes. A partir de este momento, el nuevo material empezó a consolidarse definitivamente.

En Francia, en gran medida serían tres ingenieros de *Ponts et Chausées*, Harel de la Noë, Armand Considère y Charles Rabut, serían los responsables de esta consolidación. Con sus investigaciones y con sus obras impulsarían notablemente el progreso de la nueva técnica de construcción.

Harel de la Noë proyectó y construyó en 1900 el singular puente en X de Mans, obra con grandes condicionantes económicos y funcionales, que resolvió brillantemente empleando el hormigón armado[274].

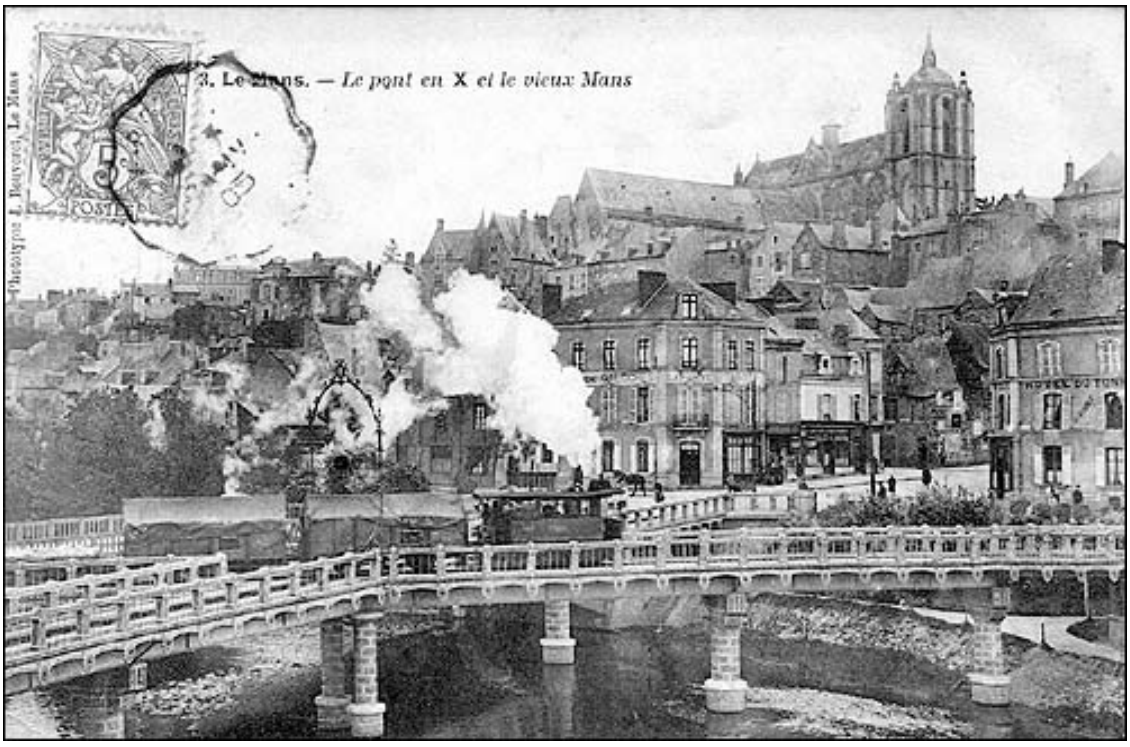


Figura 230: Puente en X de Mans (Francia.)1900. Harel de la Noë, ingeniero de Ponts et Chausées

Por su parte, Considère construiría el puente de la gare d'Ivry en 1902, uno de los primeros arcos bow-string de hormigón armado

Y de la producción de Charles Rabut destacan sus célebres voladizos de siete metros de luz de la *rue de Roma* en París, construidos en 1908[275].

En cuanto a las empresas que habían surgido en la fiebre de la década anterior la mayoría fueron desapareciendo. No obstante, sobrevivieron algunas de las más potentes, como la Wayss und Freytag en Alemania o la casa Hennebique en Francia.

La compañía alemana, de la que Mathias Koënen seguía siendo el director, fue reforzada con la valiosa incorporación de Emil Mörsch, profesor de la Escuela Politécnica de Zurich, a su cuerpo técnico. Desde ambas entidades impulsaría tanto la investigación como las aplicaciones prácticas.

Mörsch introdujo notables avances técnicos en la ingeniería de puentes, como las articulaciones, que puso en práctica por primera vez en 1903 en el Puente sobre el Isar en Grünwald. Este puente de setenta metros de luz se formaba con dos arcos triarticulados (en los arranques y la clave).

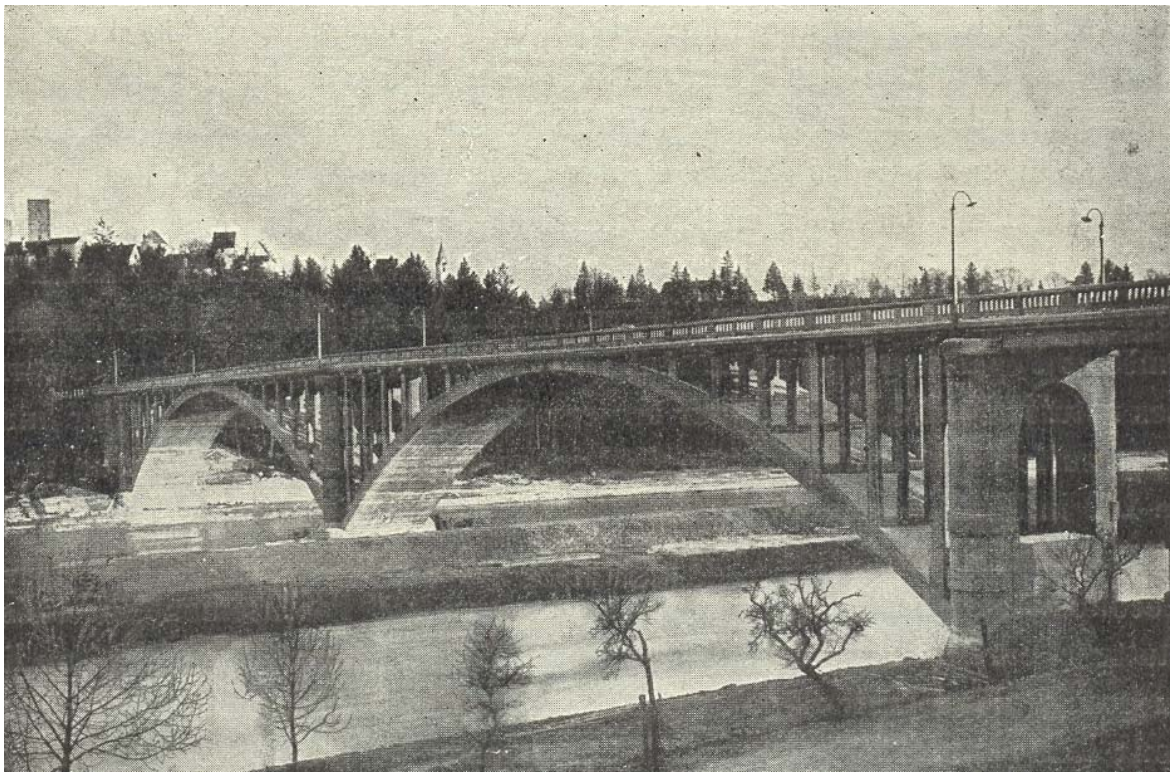


Figura 231: Puente sobre el río Isar en Grúnwald (Alemania).1903. Emil Mörsch, ingeniero civil. En Mörsch, *Le béton armé.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Los progresos se extendieron también a las otras realizaciones importantes de la compañía, los edificios industriales y sus instalaciones. Una de sus estructuras señaladas fueron los complejos silos exagonales de la fábrica de cemento Portland de Itzehoe[276].

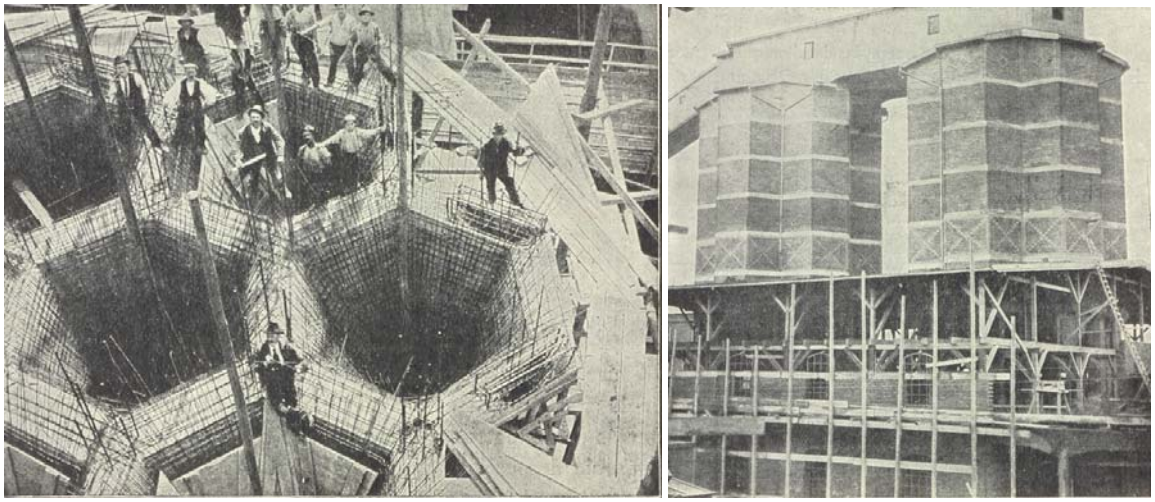


Figura 232: Silos de la fábrica de cemento de Itzehoe (Alemania).1905. Wayss & Freytag, empresa constructora. En Mörsch, *Le béton armé.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Aunque la construcción que más desarrollo conoció en estos años fue la de los puentes. Con diseños cada vez más audaces, los puentes de hormigón armado se multiplicaban por todo el mundo. Por ejemplo, en Alemania el ingeniero Max Leibbrand construyó un arco triarticulado, el sobre el río Neckar en Neckarhausen. Tenía 63 metros de luz [277].

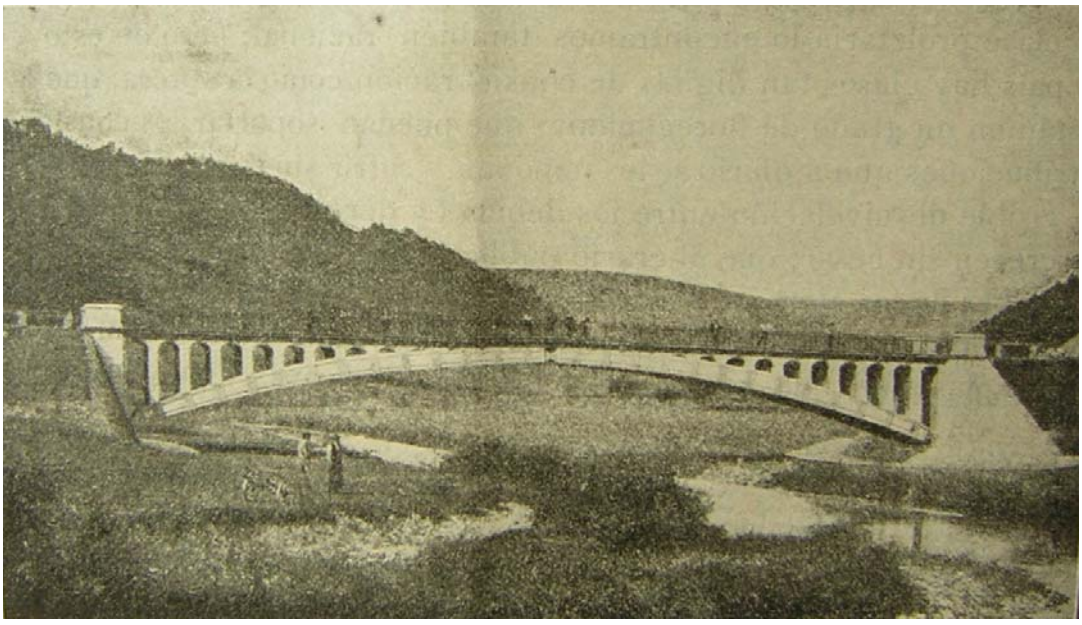


Figura 233. Puente sobre el río Neckar en Neckarhausen (Alemania). 1904. Max Leibbrand, ingeniero. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Y en Lausana (Suiza) Joseph Melan construyó el puente de Chauderon-Montbenon[278].

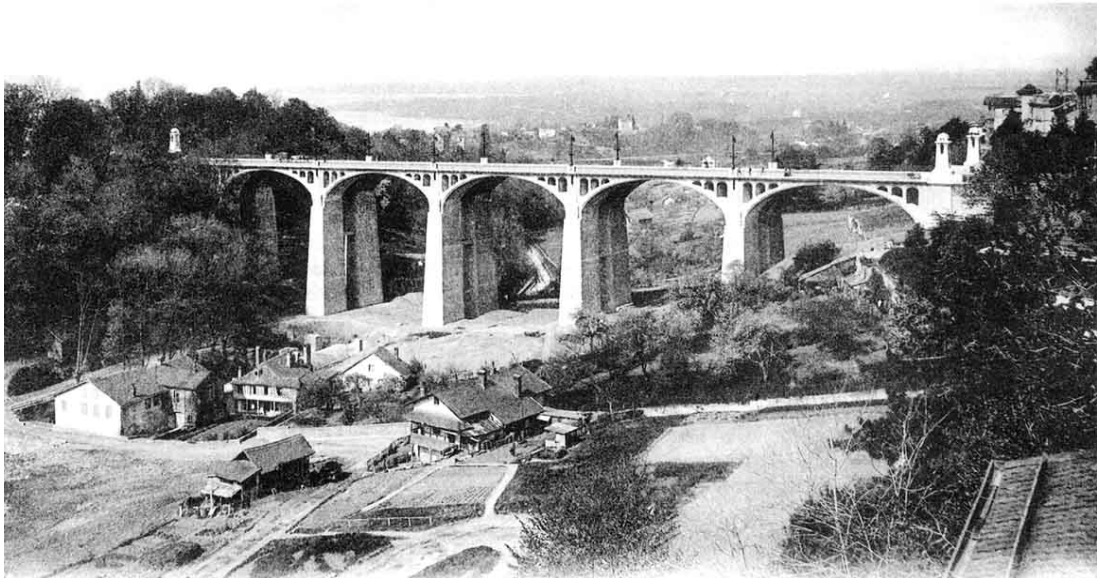


Figura 234. Puente de Chauderon-Montbenon. Lausana (Suiza). 1905. Josef Melan, ingeniero.

Tampoco se quedó atrás la organización Hennebique en esta rama de la ingería. Enseguida superó su hito del puente del Puente de Chatellerault con el de Soissons sobre el Aisne. Aunque menos luz que aquel (sólo 75 m), en su proyecto hubo que resolver importantes dificultades: un importante ángulo de estiaje, una cimentación complicada y, sobre todo, unas sobrecargas extraordinarias, pues el puente debía servir de paso a una carretera y a una línea de ferrocarril[279].

Los ingenieros de Henenbique las resolvieron diseñando una bóveda reforzada con arcos en el intrados y cuyas aramduras, barras redondas siempre, se prolongaban dentro de las pilas para conseguir el empotramiento[280].

PONT DE SOISSONS

1903. Pl. 29.

Fig. 1. — Coupe longitudinale de la travée rive gauche suivant l'axe de la voie charretière.

Fig. 2. — Coupe transversale du tablier suivant G H de la fig. 1.

Fig. 3. — Coupe suivant A B B'.

Fig. 4. — Coupe suivant C D.

Fig. 5. — Coupe suivant E F.

Fig. 6. — Coupe suivant I J.

Fig. 7. — Détail des pieux et palplanches. Elévation partielle.

Coupe horizontale

Fig. 8. — Plinthe en deux parties.

Fig. 9. — Corbeau.

Fig. 10. Bordure de trottoir.

Annales des Ponts et Chaussées

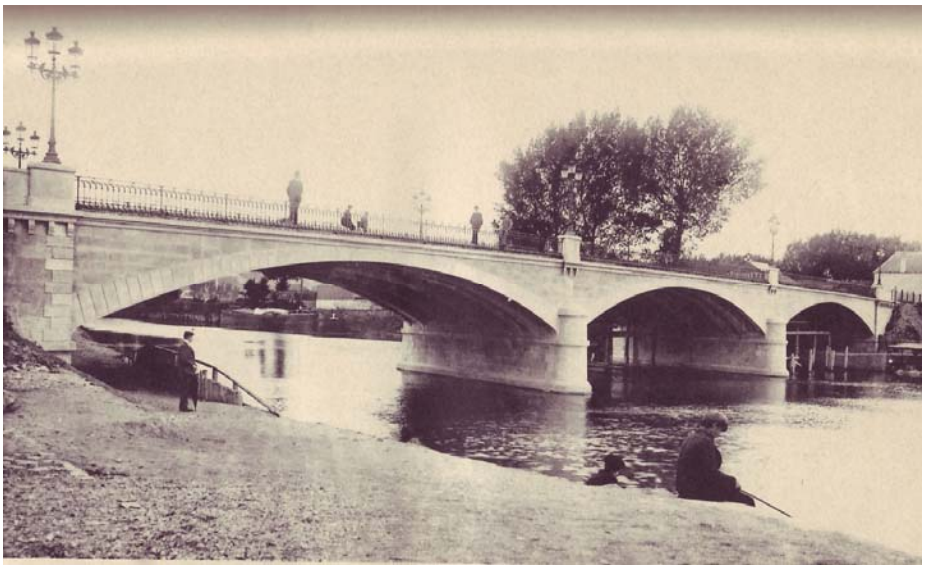






Figura 235. Puente sobre el Aisne en Soissons (Francia). 1903. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En *Annales de Ponts et Chausées.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Su siguiente obra importante fue el viaducto de Pyrimont, construido sobre el Ródano, en el límite de los departamentos de Saboya y Ain. Constaba de tres arcos de 54 m de luz que se elevaban a más de treinta metros por encima del nivel del agua[281]. Fue destruido en la Segunda Guerra Mundial.

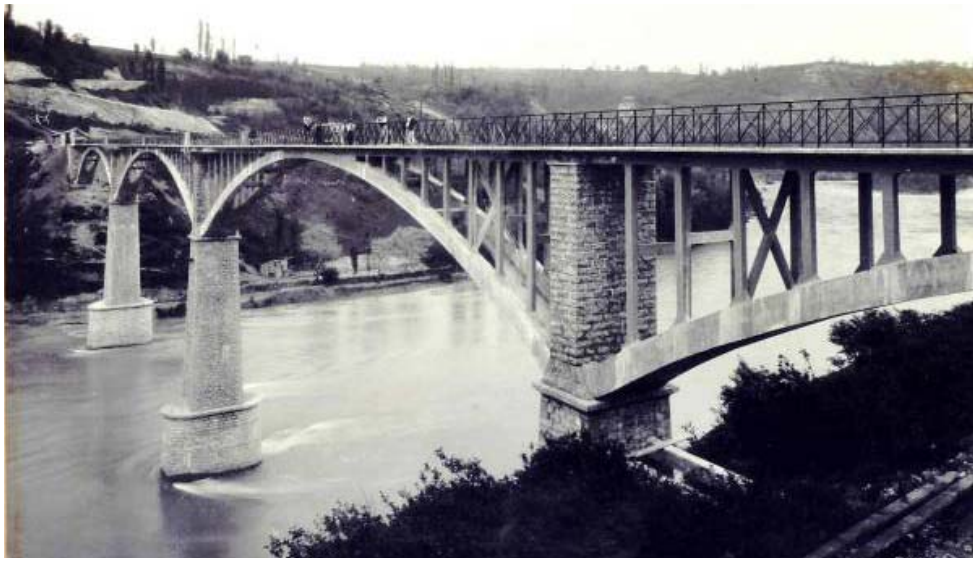


Figura 236. Viaducto de Pyrimont (Francia). 1904. Organización Hennebique, proyecto y construcción. Colección de Emilienne Bornard. www.structurae.de.

En cuanto a los depósitos e instalaciones industriales, una buena muestra podría ser el *château d'eau (*depósito elevado) de Kobanya, en Hungría, que fue construido en 1903. El depósito propiamente dicho, una cuba circular de 10,50 m de diámetro, se situaba a unos treinta metros de altura, sobre una torre en cuyo interior una escalera de caracol daba acceso a las distintas plantas. El depósito tenía una altura total de 34,30 metros[282].

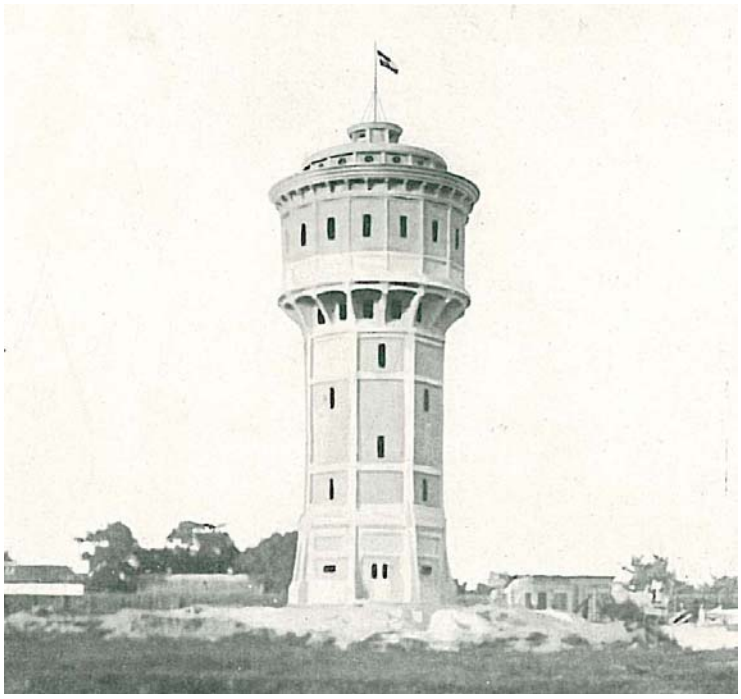


Figura 237. Depósito elevado de Kobanya (Hungría). 1903. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En *Le Béton Armé.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

No menos empeño pondría la casa Hennebique en la construcción de edificios de hormigón armado. También daría en este campo notables muestras de su creatividad, aunque no consiguiera imponerse del todo en la edificación residencial.

Los edificios en los que intervendría en esta época son casi siempre especiales: bancos, grandes almacenes, edificios de almacenes para la administración. Uno de los más importantes fue el grandioso nuevo Tribunal de Cuentas en París, un edificio de doce plantas con estructura íntegra de hormigón armado[283].

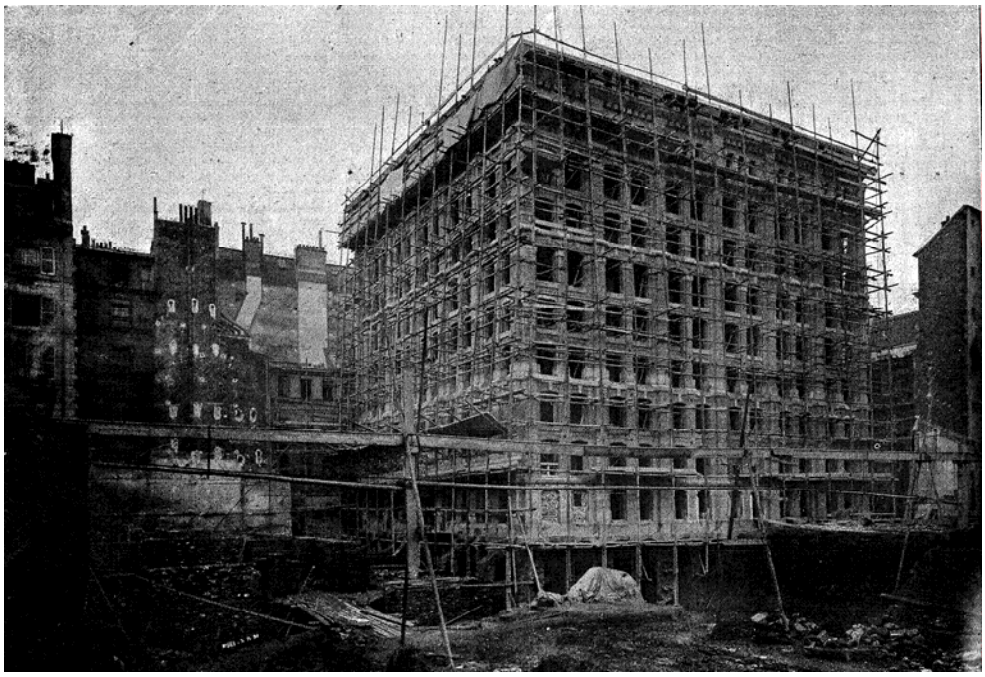


Figura 238. Construcción del Tribunal de Cuentas en París. 1901. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Fort, *Construcciones de Hormigón Armado.* Biblioteca Foral de Bizkaia

Algunos de ellos, como el depósito de archivos del *Comptoir National d'Escompte* (Banco Nacional) en París, muestran ya una estética muy original.

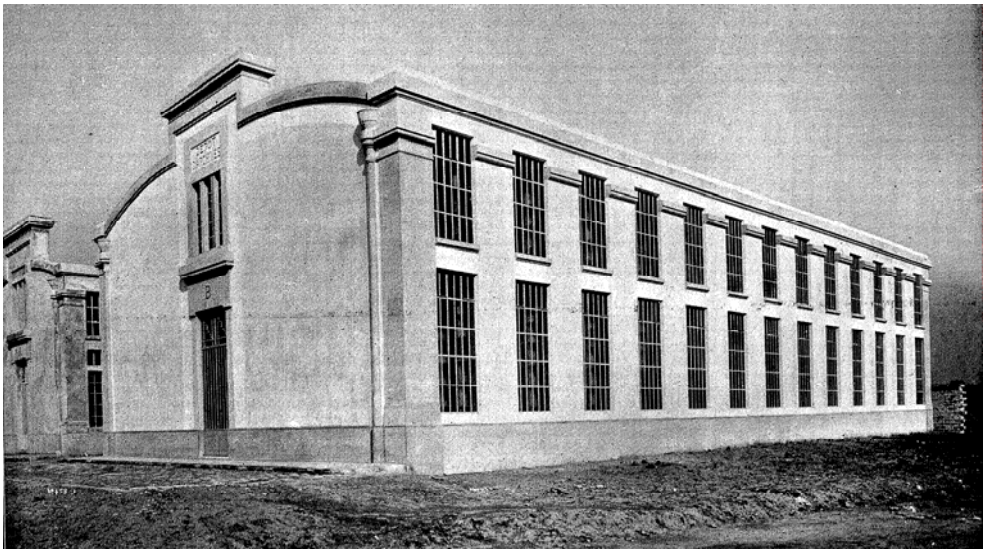


Figura 239. Depósito de achivos del *Comptoir National* (Francia). 1901. Organización Hennebique, proyecto y construcción. En Fort, *Construcciones de Hormigón Armado.* Biblioteca Foral de Bizkaia.

Esta apariencia renovada también se pondría de manifiesto en los numerosos edificios industriales de cuya construcción se hizo cargo en los primeros años del siglo XX. La fábrica de tinturas de la *rue Saint Charles,* en París, sería una de las más representativas.

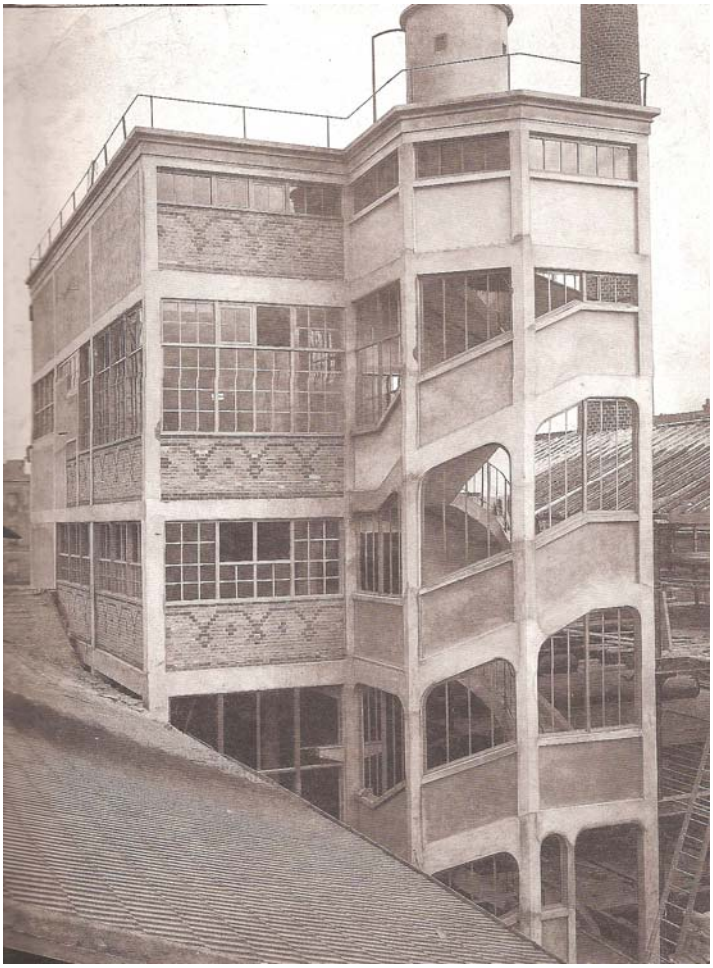


Figura 240. Fábrica de tinturas de la *rue Saint Charles* en París. 1905. Richard y Audiger, arquitectos. Direction des Archives de France. Cité de l'architecture et du patrimoine. Centre d'archives d'architecture du XXe siècle.

La firma francesa continuaría su expansión mundial en este campo, desenvolviéndose con pujanza hasta la Primera Guerra Mundial. Destacadas cosntrucciones de este periodo, repartidas por los cinco continentes, son las iglesias de San Jorge en Tiflis (Georgia) y de la Sagrada Familia en México o el Palacio de Justicia de Sousse(Túnez)[284].

La gran aceptación de las construcciones de hormigón armado en esta época hizo que se plantearan aplicaciones singulares, que después no tendrían continuidad. Una de las más curiosas fue la de las presas huecas de cemento armado norteamericanas.

En el estado de Nueva York se construyó en 1904 la de Schuylerville, de sección triangular, que alcanzaba una altura de 8,50 m con su paramento de aguas arriba de hormigón armado apoyado en contrafuertes. La de Oakdale (Indiana), que data de la misma época, albergaba la casa de máquinas de la central hidroeléctrica[285].

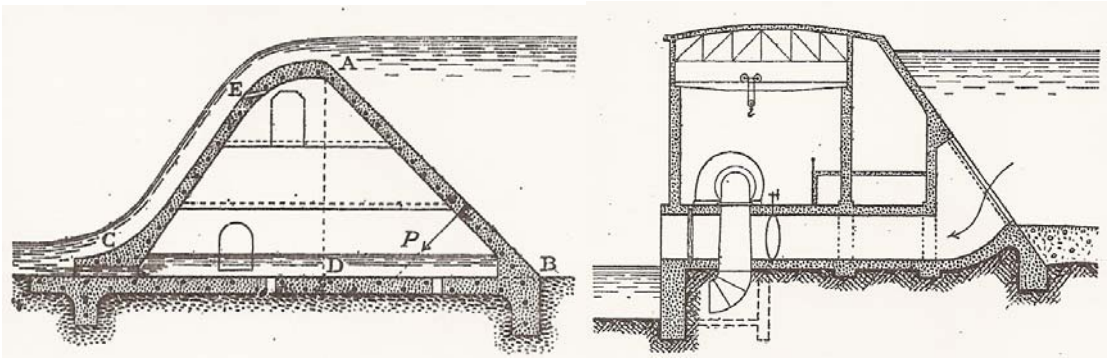


Figura 241. Presas de hormigón armado de Schuylerville (Nueva York) y Oakdale (Indiana). Estados Unidos, 1904. En *Ingeniería*. Biblioteca Nacional de España.

Otro interesante ejemplo de este tipo de construcciones sería la presa de la central hidroeléctrica de Warrior's Ridge. También tenía sección triangular, alcanzando una altura de 8,40 m. El paramento de aguas arriba se resolvía con una losa de hormigón armado de 23 cm de espesor, apoyada por contrafuertes[286].

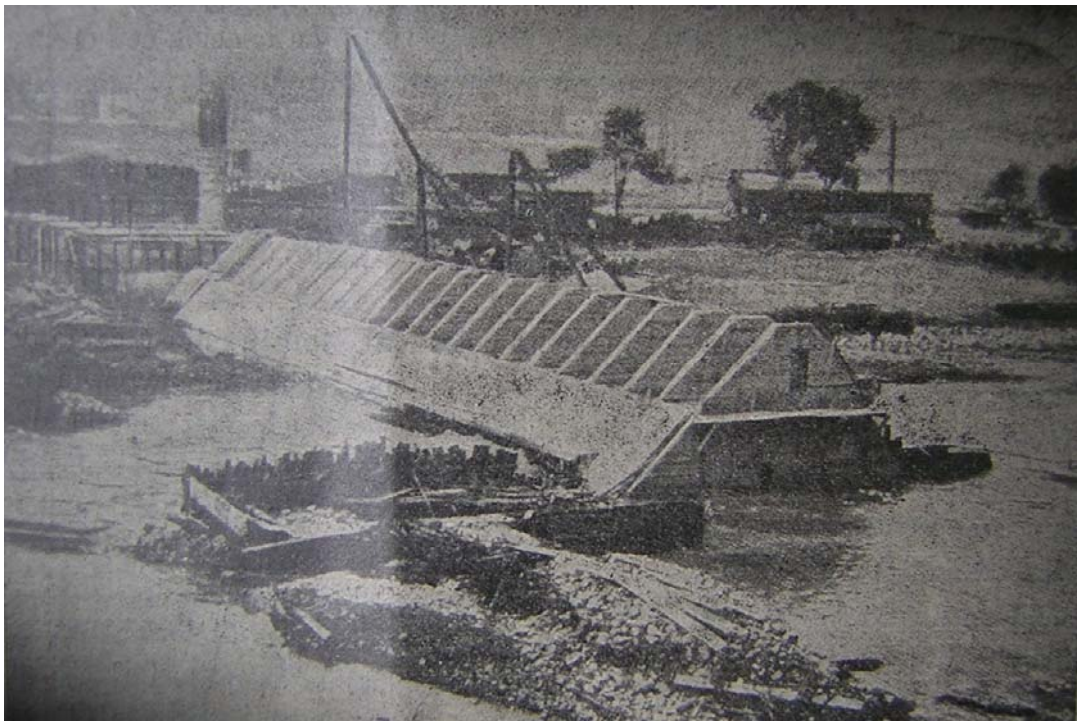


Figura 242. Presa hueca de hormigón armado de Warrior's Ridge. Estados Unidos, 1909. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municpal de Madrid.

En estos años siguieron apareciendo nuevos sistemas de construcción con hormigón armado, orientados hacia aplicaciones específicas o que incorporaban alguna mejora en el proceso de ejecución. Por ejemplo, León Monnoyer patentó un sistema de construcción con bloques prefabricados, con el que en 1909 se construyó la curiosa chimenea de las minas de Anderny-Chevillon, en Bélgica. Esta columna de sección poligonal tenía 55 metros de altura y portaba además dos depósitos de agua de 23 y 100 m^3 de capacidad[287].

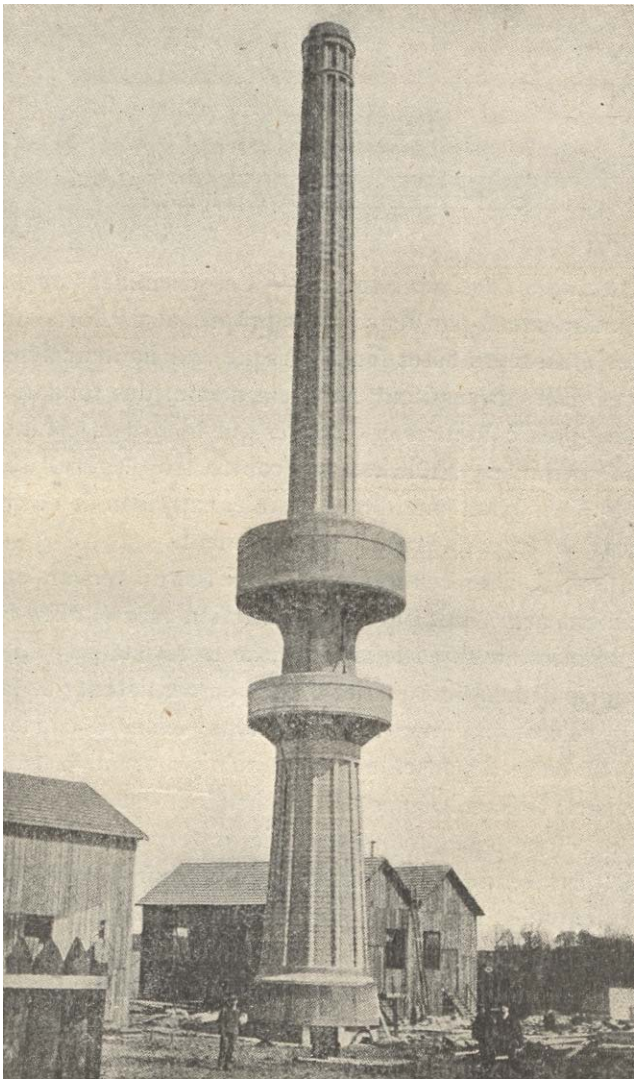


Figura 243. Chimenea con depósitos elevados de las minas de Anderny-Chevillon (Bélgica), 1909. Leon Monnoyer, ingeniero. En Tedesco y Forestier*, Manuel du constructeur en ciment armé*.

Más llamativa todavía fue la construcción naval, que suponía en cierto modo una continuación de la primera aplicación del hormigón armado, la barca de Lambot.

Con el inventor Gabellini Italia fue la pionera en estas originales embarcaciones. En 1897 construyó una barca que navegó por el Tiber *"en excelentes condiciones"*[288]. Su empresa de construcción naval se mantuvo activa al menos hasta la Gran Guerra, saliendo de sus astilleros, entre otras embarcaciones, varios pontones para el Club Náutico de Roma y hasta una nave de calado importante, la *Liguria*, capaz de desplazar 150 toneladas[289].

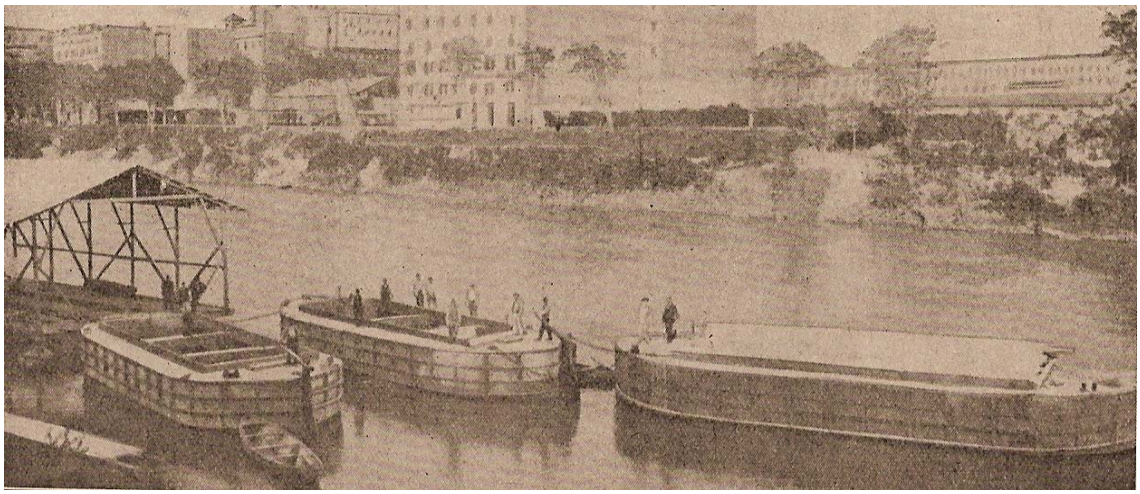


Figura 244. Pontones de hormigón armado del Club Náutico de Roma. 1908. Gabellini, constructor. En Tedesco y Forestier*, Manuel du constructeur en ciment armé*.

También probaría fortuna en la construcción naval la casa *A. Last et Sohn*, de Enkhuizen (Holanda), que hacia 1910 comercializaba pequeñas botes con motor de 4,50 m de eslora[290].



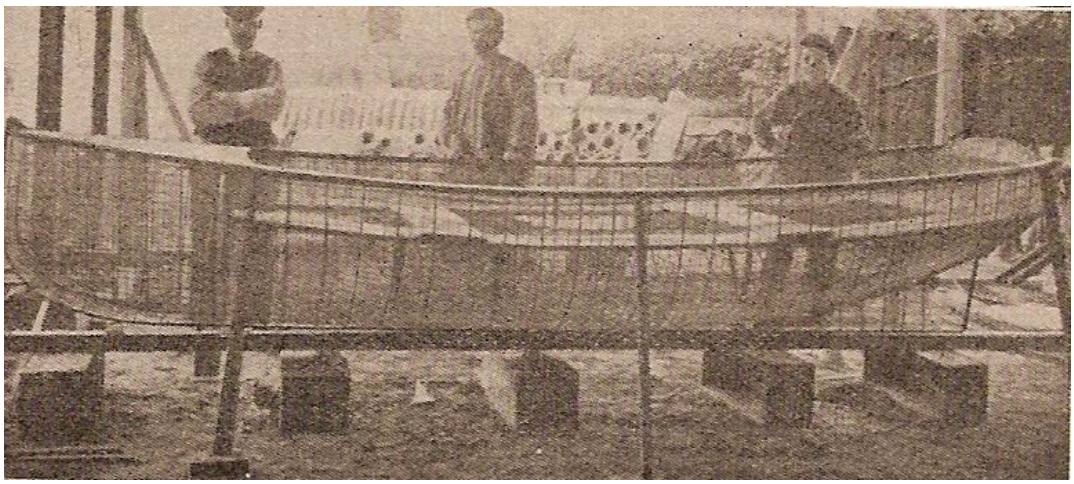


Figura 245. Botes con motor de la casa Last et Sohn. Holanda, 1910. En Tedesco y Forestier*, Manuel du constructeur en ciment armé*.

El hito que vendría a culminar esta etapa de consolidación del hormigón armado fue la construcción del puente del *Risorgimiento* en Roma, obra del ingeniero Giovanni Porcheddu en colaboración con la casa Hennebique. Terminado en 1911, fue el primer puente de hormigón armado que alcanzaba los cien metros de luz[291].

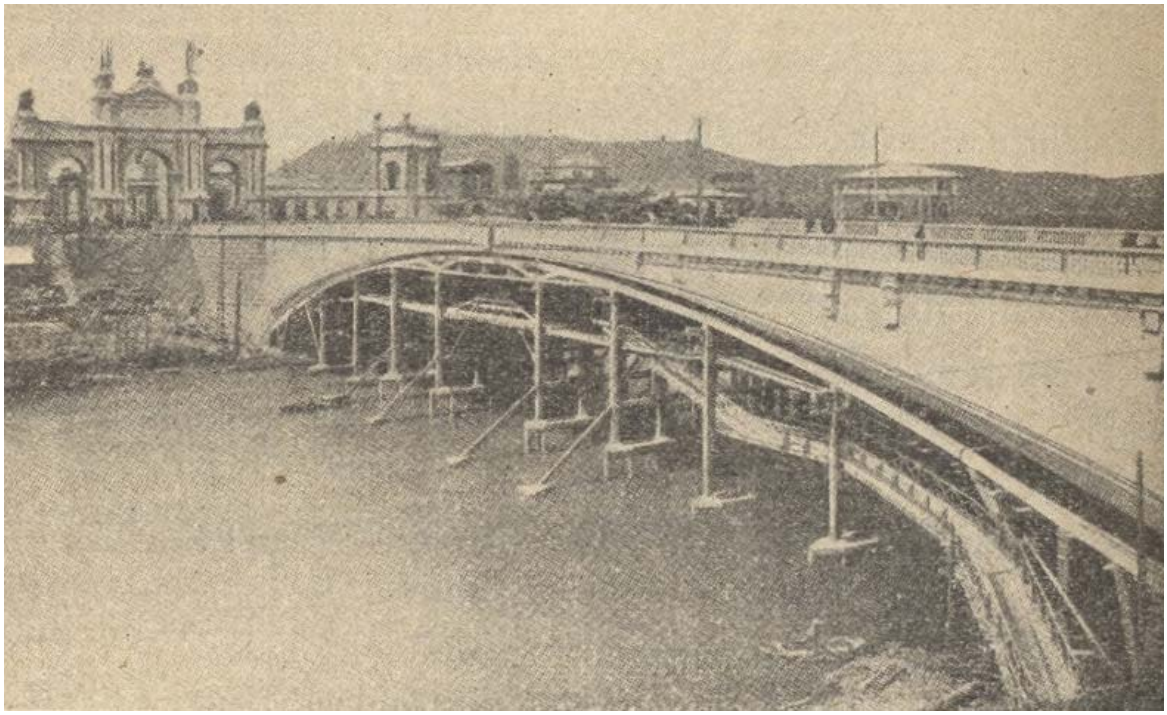


Figura 246. Puente del *Risorgimiento* durante su construcción. 1909- 1911.Giovanni Porcheddu, ingeniero. En Tedesco y Forestier*, Manuel du constructeur en ciment armé*.



Figura 247. Puente del *Risorgimiento* sobre el Tíber. Roma, 1911.Giovanni Porcheddu, ingeniero.

14. La incorporación del hormigón armado por las vanguardias de la arquitectura y la ingeniería en el primer tercio del siglo XX.

La generalización del hormigón armado no sólo supuso una revolución en el diseño estructural. También generó un cambio profundo en la estética de las nuevas construcciones de arquitectura e ingeniería.

Donde antes empezó a notarse ese cambio fue en los edificios industriales. Cuestiones económicas y de funcionalidad (iluminación natural y menor condicionamiento del espacio entre las plantas) llevaron rápidamente a extenderse la nueva apariencia de las fábricas de pisos introducida por Hennebique en las Hilaturas de Tourcoing y Lille.



Figura 248. Fábrica de motores Daimler en Untertürkheim, cerca de Stuttgart (alemania).1903. Wayss&Freytag, empresa constructora. En Mörsch, *Le ciment armé.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Sin embargo, la imagen radicalmente moderna de estos edificios industriales tardaría tiempo en trasladarse a la arquitectura residencial.

En los primeros edificios que incorporaron el hormigón armado, deliberadamente su forma externa no se diferenciaba de la de los construidos con estructura tradicional. Ante las reservas que causaba el nuevo material entre los arquitectos, sus defensores se empeñaban en demostrar que con él podían reproducirse las mismas fachadas y elementos ornamentales. Fuera de los aspectos estructurales, pues, la inmensa mayoría de los edificios de hormigón de esta primera época no representan ninguna novedad. Deliberadamente su estética se circunscribió a las corrientes imperantes del momento, pudiendo contemplarse ejemplos historicistas como la Caja de ahorros de Amsterdam (construida por la *Société Amsterdamoise en 1899)*, experiencias de *Art Nouveau* como el inmueble Félix Potin (140 *rue de Rennes,* Paris), que data de 1905, o incursiones en el eclecticismo como el también parisino edificio de viviendas de la rue Chahu.

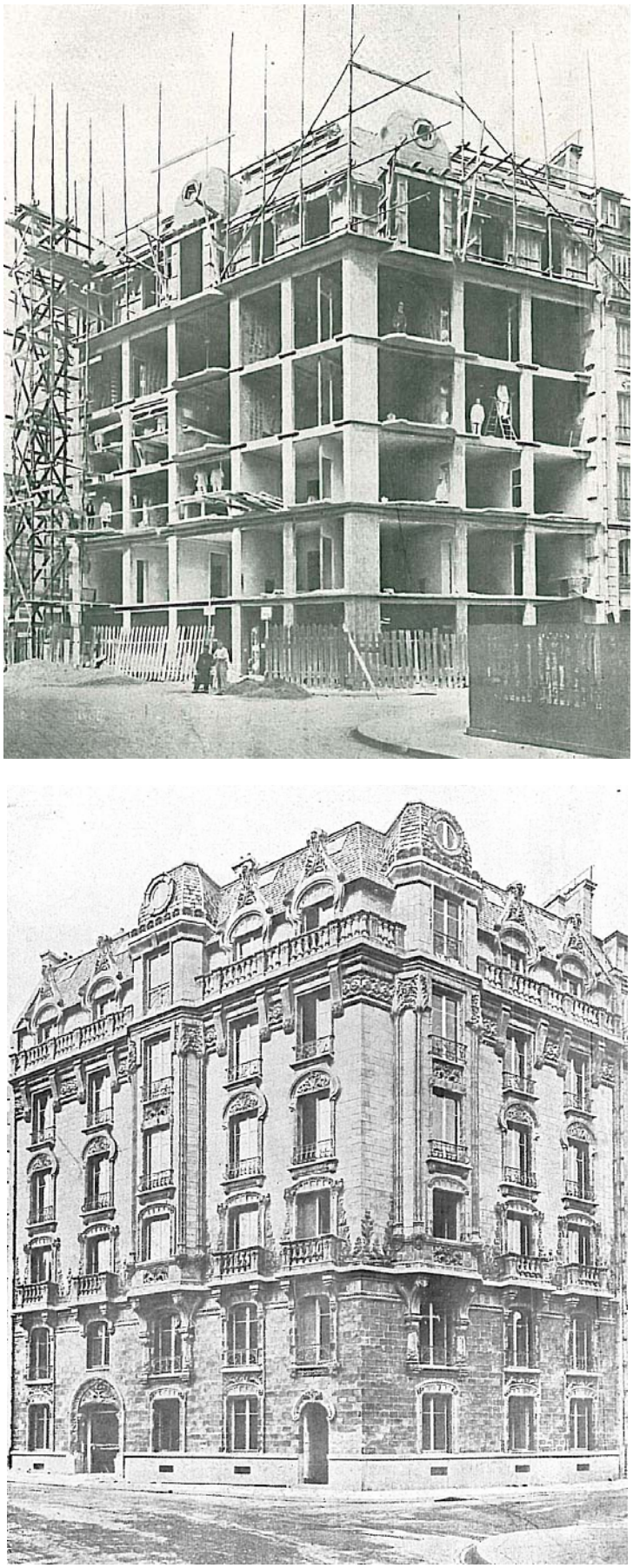


Figura 249. Edificio de viviendas de la *rue Claude Chahu*. París, 1903. Charles Klein, arquitecto. Organización Hennebique, empresa constructora. En *Le Béton Armé.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos.

En América el nuevo material, no pudiendo competir en precio con los entramados metálicos para los grandes edificios, estaba convirtiéndose en un activo rival para las fábricas tradicionales de ladrillo y madera en la construcción de villas del campo o en los extrarradios de las grandes ciudades. Sin embargo, como sucedía en Europa, los primeros ejemplos mostraron una marcada tendencia a imitar formas existentes, singularmente el *Old Mission Style*. Lentamente empezaban a surgir pronunciamientos en el sentido de aprovechar mejor sus posibilidades resistentes, pero no iban más allá de utilizar vigas y dinteles de mayores luces y forjados planos como sólucion lógica para las cubiertas[292].

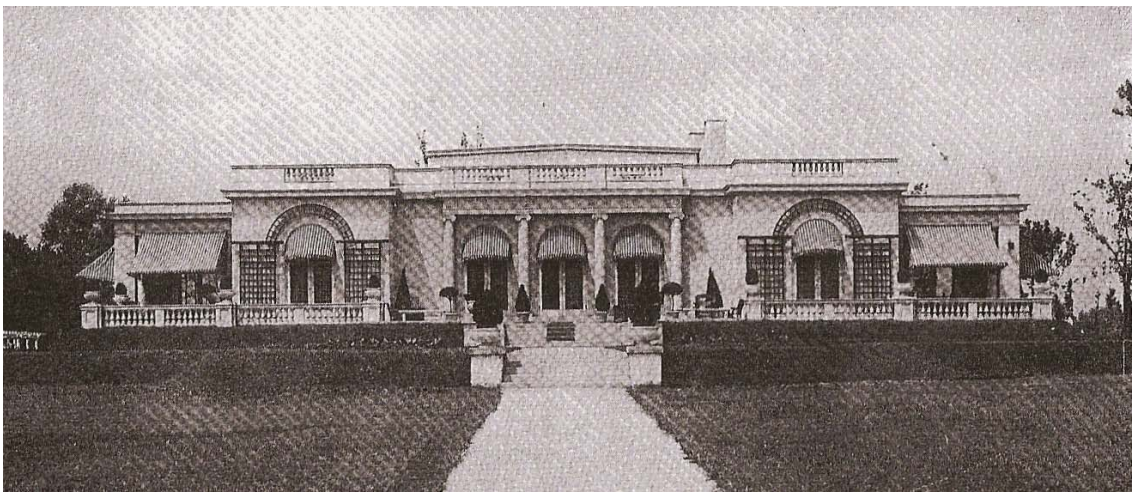


Figura 250. Residencia de L.M. Stumer. California (USA). 1908. Nimmons & Fellows, arquitectos. Biblioteca de la Universidad de Granada.

La opinión mayoritaria de los arquitectos era la que Domingo Fort, profesor de la Escuela de Arquitectura de Madrid, expresó en el VI Congreso internacional de arquitectos: *"los procedimientos modernos que sustituyen a la combinación de elementos constructivos, productos monolíticos fabricados con molde, no pueden expresar la forma artística propia de la obra arquitectónica".* En consecuencia, sostenía que *"estos sistemas no deben emplearse más que en construcciones industriales o utilitarias, que no tienen por objeto la manifestación de la belleza".*

Frente a ellos estaba la postura de arquitectos como el holandés Berlage, expresada en el mismo ámbito en los siguientes términos: *"es probable que los cementos armados sean causa de una revolución en la Arquitectura; es, pues, absolutamente necesario que los arquitectos estudien sus formas artísticas desde ahora, si quieren ser dueños de su Arte".*

Abundando en esta opinión, el español Mauricio Jalvo expresó que era indispensable que los arquitectos estudiasen y aplicaran los nuevos procedimientos constructivos, de todos los cuales *"el hormigón armado es el que más y mejores auxilios puede prestar a la forma artística […], porque no impone ninguna forma determinada; acepta la que el artista crea y el constructor la construye".*

Ante ello, Fort replicó, no sin razón, que *"los procedimientos modernos no han producido hasta ahora formas artísticas nuevas, como tendrían que serlo para que acusasen las propiedades de los materiales nuevos. Las formas empleadas sólo reproducen las de los procedimientos antiguos".* Y por tanto, *"si es verdad que el hormigón armado no impone ninguna forma determinada y acepta la que el artista crea para que el constructor la construya, debe deducirse que no tiene fisonomia propia, y por consiguiente, no puede dar tampoco medios de expresión"*[293].

La cuestión siguió latente en el siguiente congreso, celebrado en Londres. Los arquitectos no podían quedar indiferentes ante la imparable expansión que por su economía, su ligereza unida a la resistencia y su resistencia al fuego estaban tomando las construcciones de hormigón armado. El recurso más común de los arquitectos en este periodo de confusión fue admitir el nuevo material mientras no se tuviera necesidad de decorar las construcciones, *"pero sin pretender emplear otros medios de expresión artística que los que naturalmente da el procedimiento, como son las proporciones entre las diversas partes de la obra, entre los macizos y los huecos, las líneas de contorno de estos, etc y prescindir de los que son extraños a este sistema de construcción, como molduras, relieves y cualquier individualización de miembros que en el monolitismo no tienen razon de ser"*. En el caso de querer decorar su obra, al arquitecto no le quedaba otro recurso que el revestimiento, *"en cuyo procedimiento caben todos los grados de riqueza, todas las coloraciones y gran variedad de materiales"*[294].

Pero frente a esta idea de independizar la apariencia del edificio de su configuración estructural no tardaría en surgir una nueva orientación de la arquitectura de hormigón armado, caracterizada por la busqueda de *"soluciones de articulación entre la estructura y el cerramiento"*[295].

Los primeros pasos en esta dirección los habría dado algunos años antes el arquitecto francés Anatole de Baudot, con su famosa iglesia de Saint Jean de Montmartre. Antes de 1890, su intención de desarrollar una arquitectura acorde con las propuestas de su maestro Viollet-le-Duc, le llevó a experimentar con el hierro en sus proyectos de la iglesia de Saint Loubin en Rambouillet y de los pabellones de la Exposición de 1878 en París. Sin embargo, *"ante la insatisfacción que le producían las estructuras de metal visto, comenzó a buscar una expresión más homogénea e igualmente tectónica"*[296]. El sistema de Cottancin, cuya aparición coincidió con el encargo de la Iglesia de Montmartre, le permitiría poner en práctica su nueva visión de la arquitectura, en el que los elementos estructurales, exentos, estaban llamados a jugar un papel determinante en la apariencia del edificio.

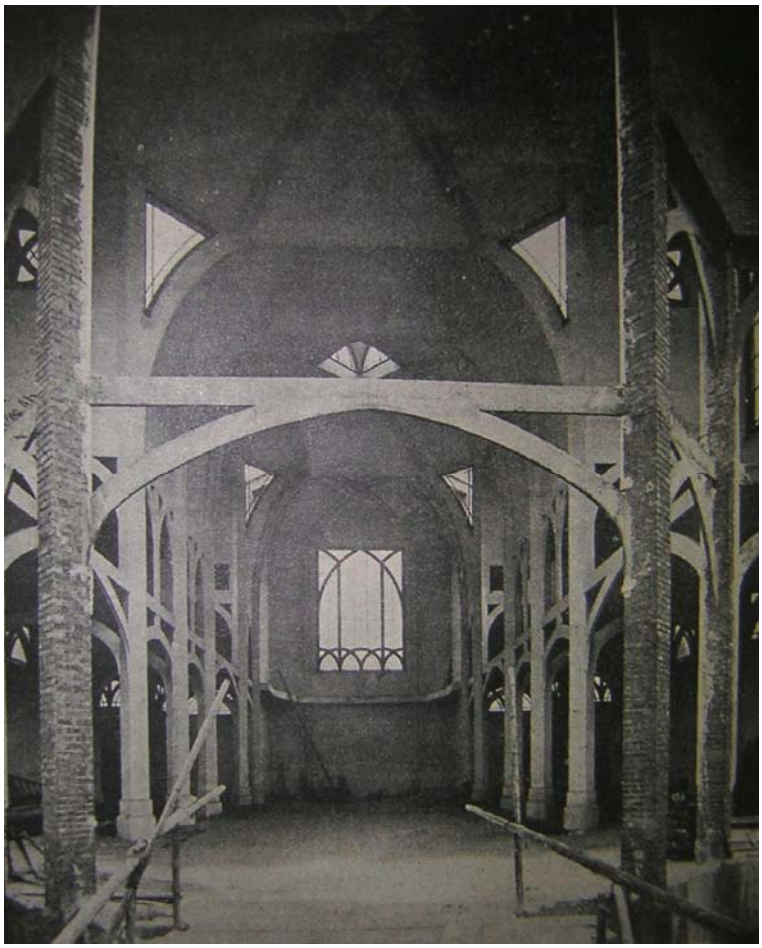


Figura 251. Iglesia de Saint-Jean de Montmartre. Vista del interior durante la construcción. En Berger y Guillerme, *La construction en ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Tras el intento preliminar de Baudot, la conjugación de las nuevas formas estructurales con la imagen del edificio tendría en Auguste Perret a su primer paladín. Aunque no llegaría a completar su formación de arquitecto, sería uno de los grandes responsables de la renovación de la arquitectura a principios del siglo XX, basándose precisamente en utilizar la estructura, siempre de hormigón armado, *"no sólo como un auxiliar de la construcción, sino como parte integrante y expresiva del lenguaje arquitectónico"*[297].

Laos pricipios que desde el primer momento marcarían su línea de actuación quedan patentes en su afirmación de que *"si la estructura no es digna de quedar vista el arquitecto no ha hecho bien su misión"*. O también cuando opinaba que *"los materiales de revestimiento deberán completar al esqueleto, pero sin disimularlo; hace falta que se muestre una viga donde hay una viga y un pilar donde hay un pilar"*[298].

Sin embargo, no se trataba, como podría pensarse de un modo simplista, de que la estructura, el hormigón armado, quedara visto. Lo que contaba era aprovechar las posibilidades que esta ofrecía en el diseño de la estética final de la obra arquitectónica.

Perret plasmaría por primera vez sus ideas en 1904, en un inmueble de la calle Franklin, en París. Es una muestra aún no completada de su original concepción de la arquitectura,

porque incorpora revestimientos en su fachada. Pero se perciben claramente las líneas generales de la estructura hormigón armado, que fue diseñada en colaboración con la casa Hennebique.



Figura 252: Inmueble 25 bis, Rue Franklin. Paris, 1904. Auguste Perret, arquitecto.

Donde sí que alcanzaría plenamente sus objetivos fue en el garaje de la *rue Ponthieu*, construido entre 1906 y 1907. La estructura de hormigón armado, que se ofrece completamente al descubierto en el interior, define las líneas generales de la fachada. *"Aquí el hormigón armado luce sus formas bellas en magnífica desnudez; el equilibrio y las proporciones son enteramente satisfactorias […] es el primer ejemplo claro de arquitectura de hormigón armado"*[299].



Figura 253: Garaje de la *rue Ponthieu*. Paris, 1905. Auguste Perret, arquitecto.

La línea de actuación marcada en estas primeras obras caracterizaría la dilatada producción arquitectónica de Perret. Los talleres de costura Esders, el *Teatro de los Champs Elysées* o la iglesia de *Notre Dame de Raincy* serían otras muestras destacadas de esta nueva arquitectura del hormigón armado, en la que algunos quisieron ver la la consumación de las pretensiones del austríaco Adolf Loos de suprimir el ornamento en la obra arquitectónica[300].



Figura 254. *Ateliers Esders*. París, 1919. Auguste Perret, arquitecto. En Tedesco y Forestier: *Manuel du constructeur en ciment armé.*

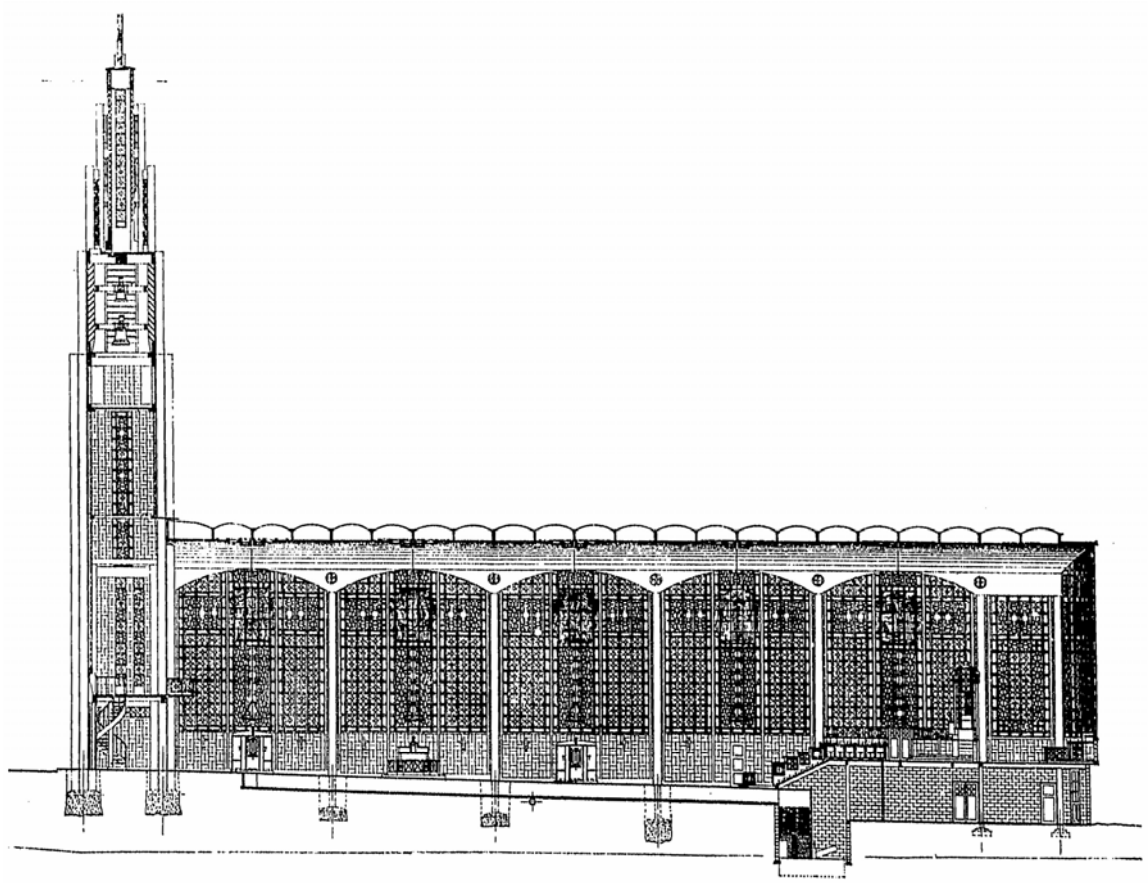


Figura 255. Iglesia de *Notre Dame de Raincy.* París, 1923. Auguste Perret, arquitecto. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

La otra gran figura del nuevo clasicismo arquitectónico francés, Tony Garnier, también tendría en el hormigón armado uno de los fundamentos de su obra urbanística y arquitectónica.

Mediada la segunda década del siglo, cuando presentara su creación más trascendente, el proyecto de *Cité Industrielle,* adoptará sin ambages el hormigón armado como material estructural de todos los edificios. En busca de una imagen nueva, que dejara atrás a los historicismos, el eclecticismo y el modernismo, Garnier lo hizo porque le permitía *"obtener grandes superficies horizontales y verticales, que conferían a las construcciones un aspecto de calma y de equilibrio que las pone en armonía con las líneas de la naturaleza*"[301].

De la misma generación que Perret y Garnier, Frank Loyd Wright también experimentaría con el nuevo material en búsqueda de nuevas formas de arquitectura. Su aportación más interesante en los inicios de la técnica serían los edificios modulares. En 1901 estudió la construcción de un banco con bloques de hormigón armado. Cinco años más tarde, su proyecto de la casa de Harry Browne incorporaba asímismo este tipo de bloques. También debía ser de hormigón armado la fábrica básica del "Templo Unitario", terminado en 1906 en el Oak Park de Illinois[302].

No obstante, quien verdaderamente desarrollaría la arquitectura del hormigón armado en los Estados Unidos sería el ingeniero Albert Kahn con sus edificios industriales, entre los que destacan el edificio Packard 10 de Detroit o la fábrica de la Ford Motor Company en Highland Park, Michigan. Para Kahn, el hormigón armado satisfacía de forma ideal todas las exigencias de los nevos edificios industriales, desarrollando una *"morfología característica deplantas reticuladas y alzados rectangulares sencillos".* Aunque él nunca pensó que sus proyectos utilitarios fueran constituyeran verdaderas obras arquitectónicas, los arquitectos de vanguardia europeos vieron en ellos *"las imágenes simbólicas de un lenguaje nuevo y universal en la arquitectura"*[303].

Algunos de ellos (Gropius, Mies van der Rohe, Taut) estaban empezando a dar sus primeros en el *Werkbund*, bajo el apadrinamiento de Peter Behrens. No obstante, por el momento la evolución de la arquitectura del hormigón armado la iban a marcar una serie de alardes monumentales en edificios públicos, que se iniciaría con el nuevo mercado municipal de Munich. Su proyecto, fechado en 1903, contemplaba cuatro naves cuya estructura se resolvía con entramados de pórticos a dos aguas de 19 m de anchura[304].

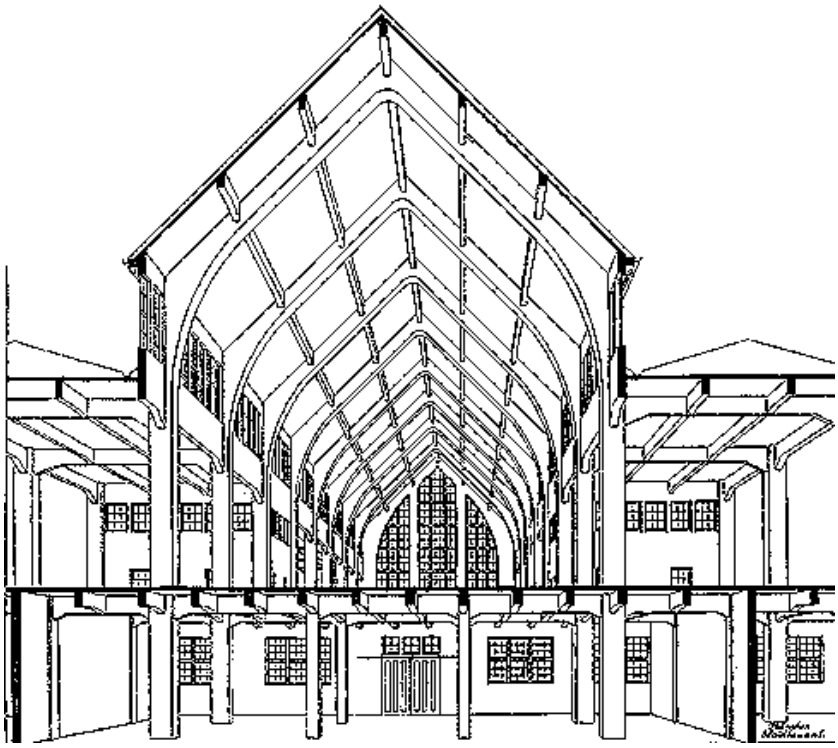


Figura 256. Configuración estructural del Mercado de Munich (Alemania).1903. Richard Schachner, arquitecto y B. Rueb, ingeniero. Cortesía de Chris H. Luebkeman.

Una estructura similar fue diseñada por Heinrich Küster para la nave principal del mercado de Breslau, en 1908. Se resolvía con arcos parabólicos de 19 metros de luz.

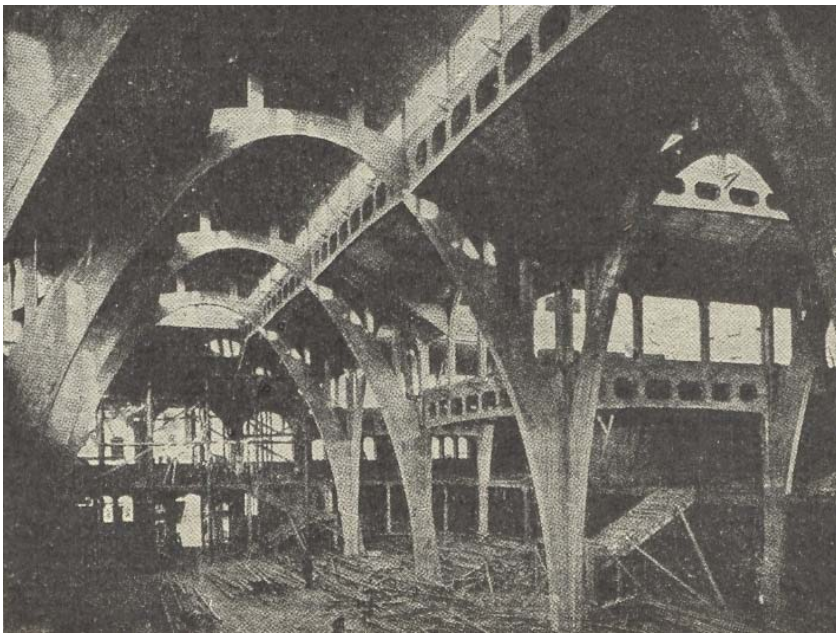


Figura 257. Mercado de Breslau (actual Wroclaw, Polonia). 1908. Heinrich Küster, arquitecto. En Magny, *La construction en béton armé*

Continuaría esta línea de construcciones monumentales la Estación Central de Leipzig, proyecto de los arquitectos Lossow y Khüne de 1907. Incorporaba un imponente vestíbulo cubierto por una bóveda de 34 m de luz. Su estructura fue diseñada por el gabinete de ingeniería Dyckerhoff & Widmann, los otros grandes especialistas alemanes en estructuras de hormigón armado (junto con Wayss & Freytag).

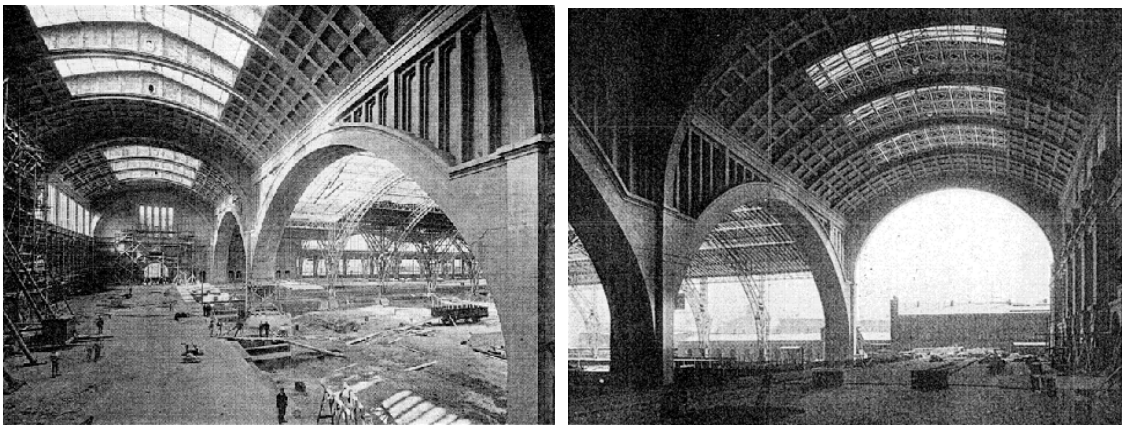


Figura 258. Vestíbulo de la Estación Central de Leipzig (Alemania). 1911. Lossow y Khüne, arquitectos; Dyckerhoff y Widmann, ingenieros. Cortesía de Chris H. Luebkeman.

La culminación llegaría con el domo del Centenario, una asombrosa bóveda de 65 m de diámetro, obra del arquitecto Max Berg. En esta construcción "*es la utilización sin complejos de las nuevas formas estructurales la que produce, intencionadamente, un efecto de monumentalidad [...] en los enormes arcos de la sala del Centenario o en las parábolas delicadamente proporcionadas del mercado fue donde se percibió por primera vez una arquitectura realmente nueva, de forma original y gran escala, cuya sensibilidad de líneas no era consecuencia de una búsqueda arbitraria de efectos plásticos, sino que derivaba de las leyes geométricas y de sus exigencias ineluctables*"[305].

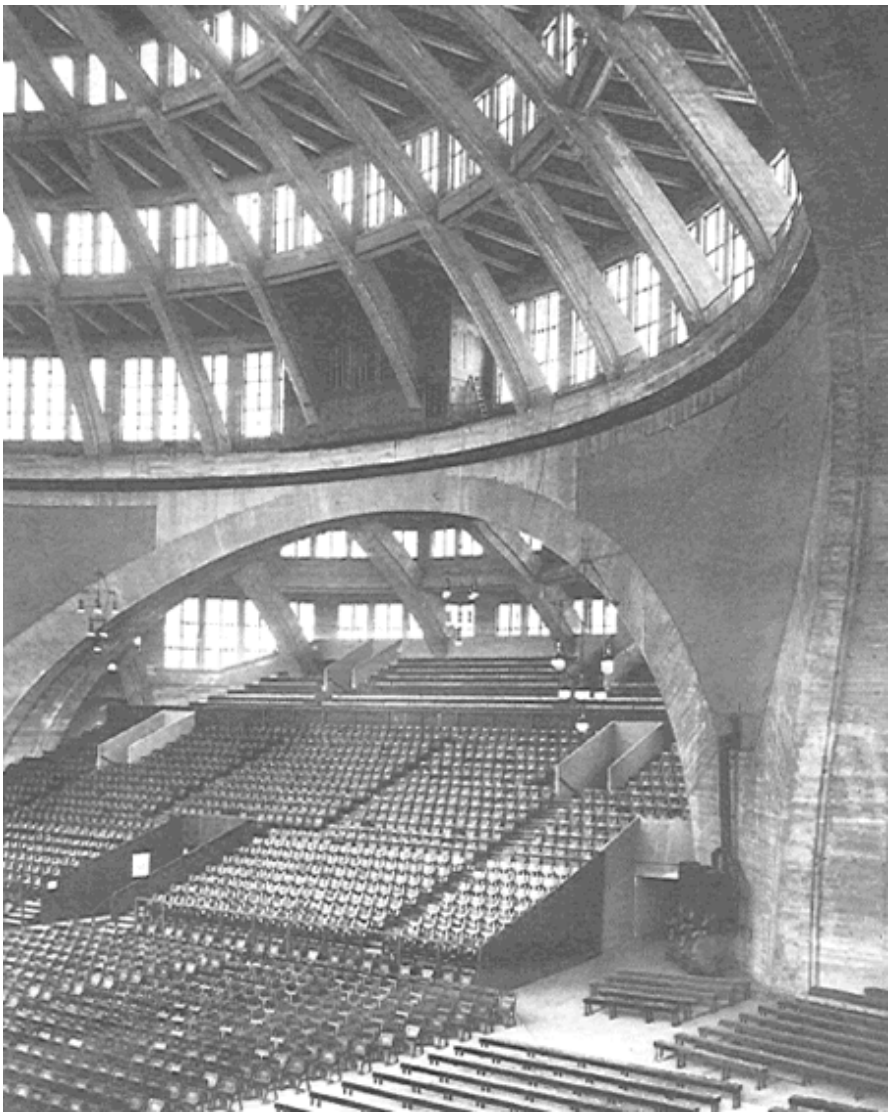


Figura 259. Jahrhunderthalle (Sala del Centenario) de Breslau (actual Wroclaw, Polonia). 1913. Max Berg, arquitecto.

Tras la Gran Guerra, Mies van der Rohe impulsará la nueva arquitectura de hormigón armado con dos proyectos a escala más humana: su casa de campo y su edificio de oficinas de hormigón. En este último, una estructura de entramados de pórticos en dos direcciones ortogonales soportan los forjados. El nuevo material permitió romper a Mies Van der Rohe romper con la imagen de los edificios tradicionales: *"los edificios de hormigón armado son, ante todo, esqueletos y no cintas o torres de depósitos; armaduras portantes y muros no portantes; en suma, estructuras de piel y huesos"*[306].

Mies formaba parte de la nueva generación de arquitectos europeos que, liderados por Le Corbusier, iniciaran la corriente de renovación conocida como Movimiento Moderno.

La relación de Le Corbusier con el hormigón armado seguramente arrancaría de su trabajo en el estudio de Auguste Perret entre 1909 y 1910. Tras este primer contacto, se hará inseparable del nuevo material, no tardando en desarrollar con él una nueva visión de la arquitectura.

El hormigón armado sería el material que le permitiera desarrollar su particular concepción, eminentemente práctica y funcional, del diseño de los edificios, las "máquinas de habitar". Sus ideas quedarían plasmadas por primera vez en 1914, en su proyecto de viviendas industrializadas "Dom-Ino".

Pensadas para ser construidas en serie, el diseño de estas viviendas se apoyaba en una estructura de hormigón armado estandarizada, compuesta de *"tres losas horizontales, seis pilares y una escalera para comunicar los distintos niveles"*[307].

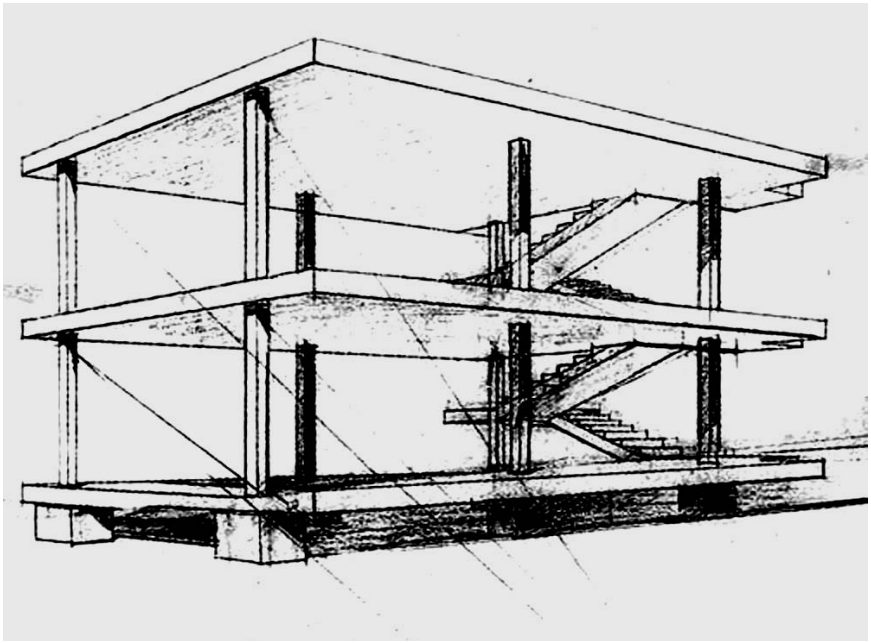


Figura 260. Viviendas "Dom-Ino". Estructura de losas y pilares de hormigón armado. Proyecto de Le Corbusier. 1914.

Con esta propuesta estructural, a la que recurriría de forma constante en toda su trayectoria posterior, Le Corbusier halló por fin la forma de explotar al máximo las posibilidades del hormigón armado en la arquitectura, consiguiendo que los edificios, *"al tener todo su peso suspendido de unos pocos pilares de hormigón armado, pudieran ver reducidos sus cerramientos a una simple piel aislante, o incluso ser suprimidos allí donde el constructor lo deseara".*

De este modo, Le Corbusier aportaba una solución al que se avistaba como gran problema de la vivienda en el siglo XX, a base de *"edificios abiertos a todas las posibilidades, transformables y estrechamente relacionados con los medios de transporte"*[308].

En el ámbito de la ingeniería la evolución fue distinta. Las construcciones ingenieriles de hormigón armado, libres de las cortapisas que condicionaron la estética arquitectónica, ofrecieron desde el primer momento una imagen novedosa, muchas veces radicalmente distinta a todo lo hecho anteriormente. Expresando siempre la realidad estructural, la imagen de estas obras fue evolucionando a medida que se iban ampliando las posibilidades constructivas del nuevo material.

En la etapa más temprana de esta evolución del sobresalen dos grandes personalidades: Robert Maillart en Suiza y Eugene Freyssinet en Francia. Ambos sobresalen tanto por su elevada capacidad técnica (los dos desarrollaron importantes avances en el cálculo y la técnica constructiva del nuevo material) como por su preocupación por hacer construcciones bellas sin que dejaran por ello de ser funcionales.

Lo más destacado de la producción de Robert Maillart fueron sus puentes de hormigón armado, que en esta rama de la ingeniería constituyen *"uno de los conjuntos más expresivos y sugerentes de toda la Historia"*[309].



Figura 261. Puente de Salgina Tobel (Suiza). 1919. Robert Maillart, ingeniero civil.

El concepto estructural de Maillart tiene en sus orígenes los forjados nervados de Hennebique y la bóveda de Monier. La solución estructural de sus puentes se basaba en *"la solidaridad estática de la bóveda y el tablero"*, que se conseguía *"dando a este una rigidez tal que el arco no tenía que soportar las notables excentricidades de la presión".* En este sistema de *"arco rigidizado"* los tímpanos transversales también jugaban un importante papel, *"enlazando el arco con el tablero y permitiendo bóvedas de espesor mínimo"*[310].

En suma, todos los elementos del puente, el arco, el tablero y los tabiques transversales se conjugan en un sistema coherente. Además, la imagen final es concebida de forma rigurosa, resultando *"no sólo una solución acorde con la función del puente y el material empleado, sino además elegante y artística"*[311].

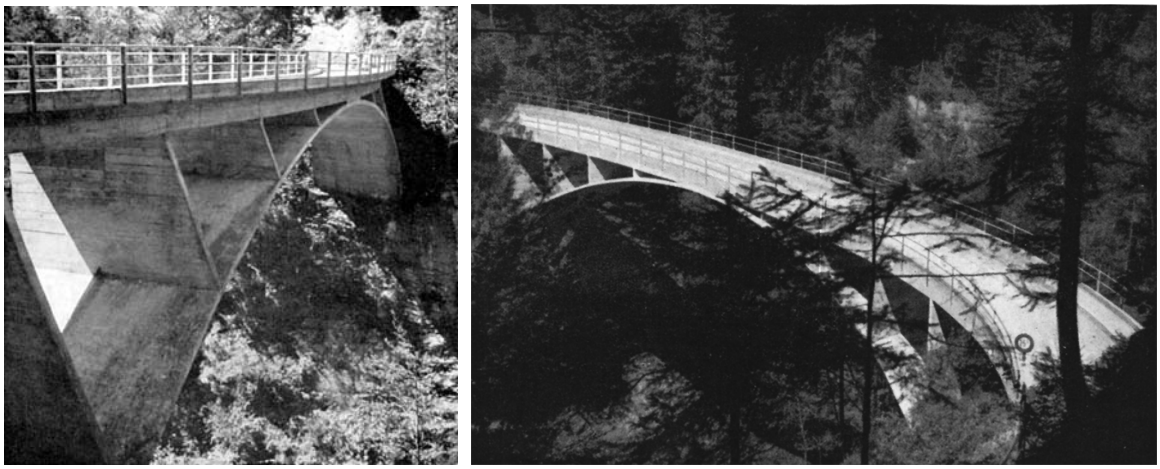


Figura 262. Puente de Schwandbach (Suiza). 1933. Robert Maillart, ingeniero civil.

Maillart supo explotar los recursos que le ofrecía el nuevo material, consiguiendo *"hacer nacer formas nuevas [...] en las que se podía reconocer la expresión natural del hormigón armado"*[312].

La culminación de la secuencia evolutiva del hormigón armado sería obra del francés Eugène Freyssinet, con su trascendental invención del pretensado a mediados de siglo XX. Pero antes de eso, este ingeniero revolucionario daría muestras de su genio utilizando decididamente, casi diríase que con pasión, el hormigón armado, *"el material que le seducía por su reducido coste, su facilidad de uso y su aptitud para adaptarse a todas las formas que brotaban de su imaginación"*[313].

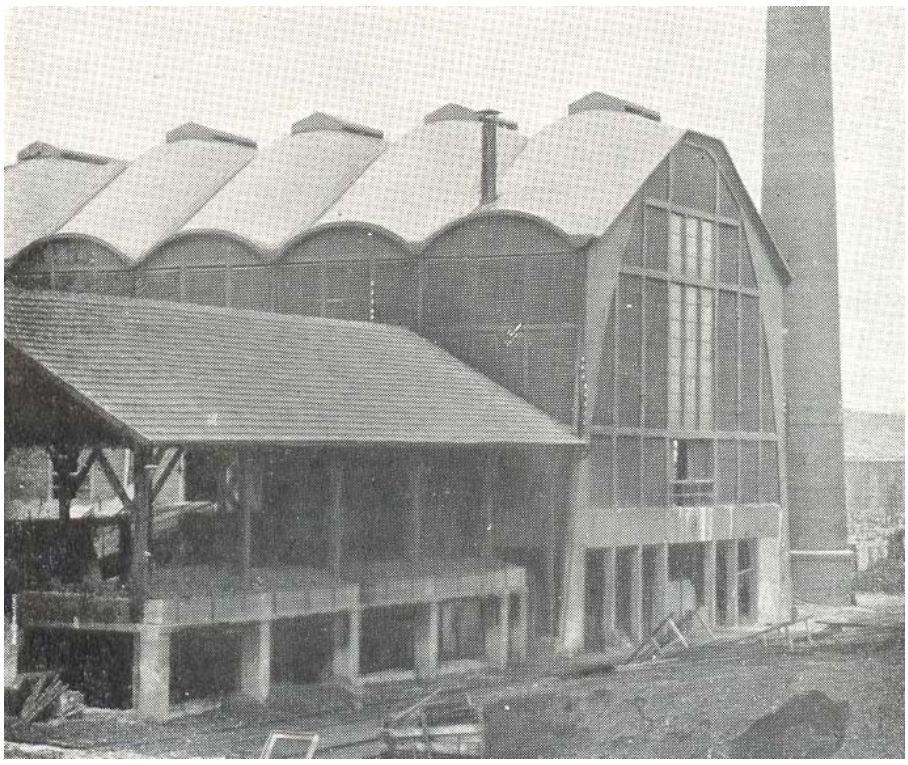


Figura 263: Cubierta para una fundición de vidrio en Montluçon. Francia, 1915. Eugene Freyssinet, ingeniero. En Freyssinet, *Les hangars à dirigeables de l'aeroport d'Orly.*

La espectacular imagen y la ingeniosa solución estructural de construcciones como el puente de Plougastel o los hangares de dirigibles de Orly, lo convertirían en un referente fundamental de la construcción con hormigón armado.

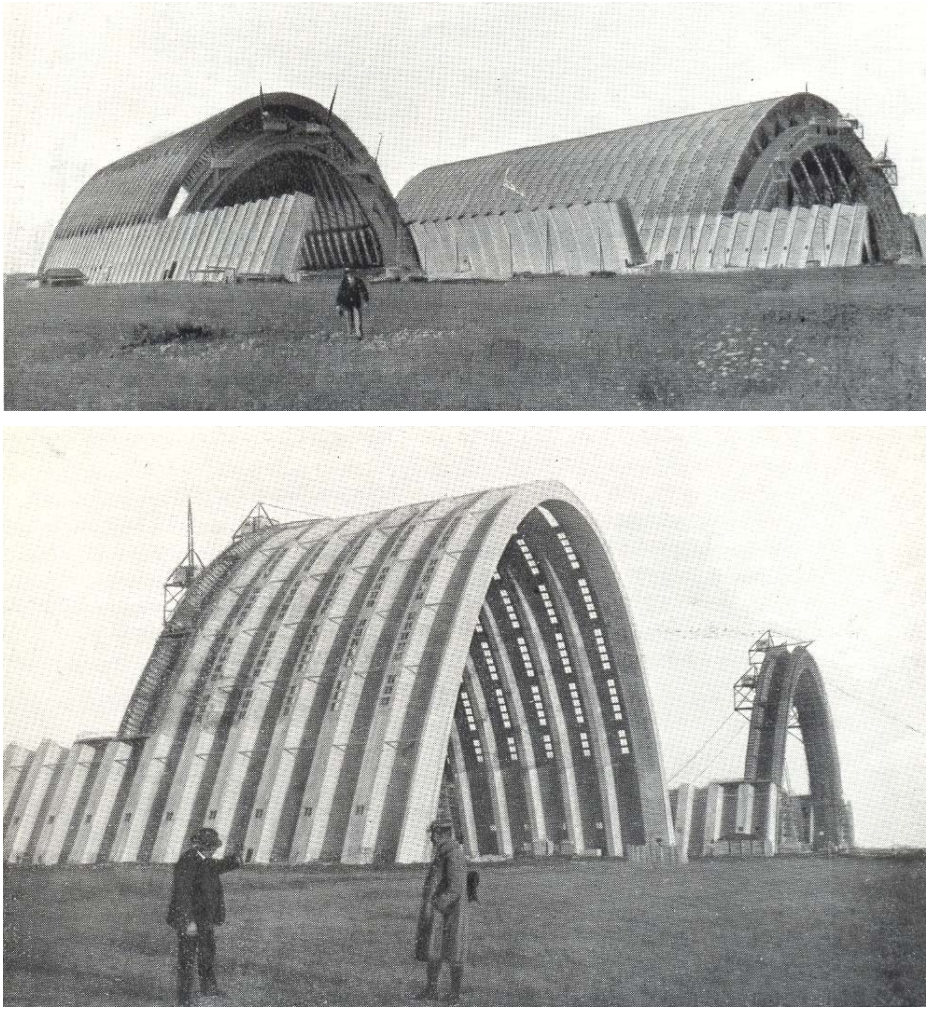


Figura 264: Hangares para dirigibles del aeropuerto de Orly, durante la construcción. Francia, 1923. Eugene Freyssinet, ingeniero. En Freyssinet, *Les hangars à dirigeables de l'aeroport d'Orly*.

.



Figura 265: Puente de Plougastel. Francia, 1930. Eugene Freyssinet, ingeniero

NOTAS AL CAPÍTULO PRIMERO

[1] Marco Lucio Vitruvio: *Los diez Libros de Arquitectura*. Libro segundo, capítulo VI. Traducción del latín publicada por la Editorial Iberia. Barcelona, 1977.

[2] Ward Perkins, John: *Arquitectura romana*. Madrid, Aguilar, 1989

[3] Choisy, Auguste: *L'art de bâtir chez les romains*. Librairie générale de l'architecture et des travaux publics Ducher et Cie., Paris, 1873. Publicado en España con el título *El arte de construir en Roma*. Madrid, CEHOPU, 1999.

[4] Adam, Jean-Pierre: *La Construcción Romana. Materiales y técnicas.* León, Editorial de los Oficios, 2002.

[5] Rondelet, Jean: *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. París, Chez l'auteur, enclos du Panteon, 1814. Libro segundo.

[6] Cointeraux, François: *École d'architecture rurale, quatrième cahier.* París, Chez l'auteur, 1791. p. p. 1-39.

[7] Smeaton, John: *A narrative of the building and a description of the construction of the Edystone Lighthouse with stone".* Londres, librería de H. Hughs, 1791. Edición traducida al español publicada por Intemac. Madrid, 1978. p. 94.

[8] Belidor, Bernard Forest de: *Architecture hydraulique.* París, Chez Charles-Antoine Jombert, 1770. p. 168-190.

[9] Belidor, Bernard Forest de: *Architecture hydraulique.* Obra citada, p. 185

[10] Vicat, Joseph Louis: *Résumé des connaissances positives actuelles sur les qualités, le choix et la convenance réciproque de matériaux propres à la fabrication des mortiers et ciments calcaires*. París, de l'Imprimerie de Firmin Didot, 1828. p. 93

[11] Rondelet, Jean: *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. Obra citada, p. 343.

[12] Gauthey, Émiland-Marie: *Traité de la construction des ponts.* Lieja, Chez Leduc, 1843. p. 234.

[13] Rondelet, Jean: *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. Obra citada, p.p. 284.

[14] Smeaton, John: *A narrative of the building and a description of the construction of the Edystone lighthouse.* Obra citada.

[15] Vicat, Joseph Louis: *Résumé des connaissances positives actuelles sur les qualités, le choix et la convenance réciproque de matériaux propres à la fabrication des mortiers et ciments calcaires.* Obra citada. p. 93

[16] Smeaton, A.C.: *The builder's Pocket Companion; containing the elements of building, surveying and architecture.* Philadelphia, Henry Carey Baird, 1850. p.p. 24-37.

[17] Mary, M.: "De l'emploi du béton dans la fondation des écluses", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1832 (primer semestre).

[18] Magdelaine, M: "Description des procédes employés de 1812 a 1815 pour la fondation, et notamment pour le coulage de l'aire de béton, du barrage éclusé de Saint-Valery-sur-Somme", en *Annales des Ponts et Chausées,* premier cahier. París, 1832 (primer semestre).

[19] Vicat, Joseph Louis: *Résumé des connaissances positives actuelles sur les qualités, le choix et la convenance réciproque de matériaux propres à la fabrication des mortiers et ciments calcaires*. Obra citada, p. 65

[20] Hewlett, Peter: *Lea's Chemistry of cement and Concrete.* Burlington, 2004. p.p.8-9.

[21] "El fundador de la industria del cemento", en *Madrid Científico*, año XVII, nº 665. Madrid, 30 de abril de 1910.

[22] D'Ambly, Pierre: *Naissane d'une entreprise. Les Pavin de Lafarge.* París, François-Xavier de Guibert, Office d'Édition, 2000. p.p. 25-52.

[23] Daguenet, M.: "Note sur le ciment de Guétary", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1847 (segundo semestre).

[24] Desiré Michel y Compañía: *Noticia sobre el cimento del Mediterráneo. Sus ventajas y usos.* Marsella, Imprenta y Litografía de Julio Barile, 1862.

[25] "Cronique: Emploi du ciment de Porland au pont Saint-Michel", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1857 (segundo semestre).

[26] Coignet, François: "Rapport fait à sa majesté l'Empereur Naoleon III sur l'état actuel des blocs de bétons agglomérés à base de chaux exécutés à Saint Jean de Luz, par F. Coignet, ingénieur civil et manufacturier", en Bétons agglomérés appiqués à l'art de construire. Paris, E. Lacroix, 1861. p. 324.

[27] Gobin, A.: "Fabricación de cales hidráulicas en la Cuenca del Ródano", en *Gaceta del Constructor*, año XV, número 15. Madrid, 8 de abril de 1888.

[28] Sociedad J. y A. Pavin de Lafarge: *Cales y cementos J.A. Pavin de Lafarge. Cemento artificial Vicat.* Madrid, Establecimiento tipográfico Hijos de J. A. García, 1900.

[29] Eichtinger, G.F.: "Sobre el cemento de Portland", en la *Revista de Obras Públicas*, año XIII, número 16. Madrid, 15 de agosto de 1865.

[30] Rebolledo, José Antonio: *Casas para obreros o económicas.* Madrid, Imprenta de la viuda e hijos de Galiano, 1872. p. 125.

[31] Martínez Unciti, Ricardo: "La fábrica de cemento Hemmoor", en *El Cemento Armado,* año III, nº 10, octubre de 1903.

[32] Isambert, C.: *Notice sur la fondation des machines à vapeur en béton de ciment Portland.* Fleurier, Suiza, 1881.

[33] Vacchelli, José: *Las construcciones de hormigón y de cemento armado.* Edición española. Madrid, Adrián Romo, Editor, 1910. p.8.

[34] Barutell, Carlos: "Cementos. Los hornos modernos", en *El Cemento Armado*, año III, nº 3. Madrid, marzo de 1903.

[35] Ransome, Frederich: "Adelantos en la fabricación del cimento portland", en la *Gaceta del Constructor.* Año XIV, nº 41. Madrid,10 de octubre de 1866.

[36] Alonso y Millán, Juan: "Empleo de los hornos giratorios en la fabricación del cemento portland", en la *Revista de Obras Públicas*, año LIV, número 1588. Madrid, 1 de marzo de 1906.

[37] "La fábrica de cemento Hemmoor", en *El Cemento Armado*, año III, nº 10. Madrid, octubre de 1903.

[38] Gálvez-Cañero, A.: "La industria del cemento portland. Nuevos hornos de cocción", en *Ingeniería.* Año II, número 54. Madrid, 30 de septiembre de 1906.

[39] Rohault, Ch.: "Voutes en ciment hydraulique", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1835 (primer semestre).

[40] "Martin's Cement", en *The Builder*, vol 1, 27 de mayo de 1843.

[41] Strike, James: *The influence of new methods of construction on Architectural design 1690 -1990*. Obra citada. p. 64.

[42] Rebolledo, José Antonio: *Casas para obreros o económicas.* Obra citada. p. 42.

[43] Scheidnagel, Leopoldo:"Noticias sobre materiales de construcción en la parte relativa a cales y morteros, como también de algunos proyectos interesantes para la fabricación de piedras artificiales, estucos, pinturas, etc.", en el *Memorial de ingenieros del Ejército.* 1858.

[44] Lebrun, François-Martin: *Méthode pratique pour l'emploi du béton.* París, Chez Carilian-Goeury, 1835. p. 20.

[45] Lebrun, François-Martin: *Méthode pratique pour l'emploi du béton.* Obra citada, p.p. 88-104.

[46] Bosc, Jean Louis; Chaveau, Jean Michel, Cément, Jacques, Marrey, Bernard y Paulin, Michel: *Joseph Monier et la naissance du béton armé.* París, Éditions du Linteau, 2001. p. 19.

[47] Lebrun, François-Martin: *Méthode pratique pour l'emploi du béton.* Obra citada, p.p. 107.

[48] Scheidnagel, Leopoldo:"Noticias sobre materiales de construcción en la parte relativa a cales y morteros, como también de algunos proyectos interesantes para la fabricación de piedras artificiales, estucos, pinturas, etc.", en el *Memorial de ingenieros del Ejército.* 1858.

[49] Néhou, M: "Recherches sur les mortiers hydrauliques et les bétons du Calaisis", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1835 (primer semestre).

[50] Raynal, M.: "Application des injections de béton à l'étanchement des poches et fontaines qui se produisent dans les bajoyers d'écluses, et des filtrations qui ont lieu à travers les voûtes des pont-aqueducs", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1836 (segundo semestre).

[51] Poirel, M: "Port d'Alger. Jetées à la mer en blocs de béton", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1838 (primer semestre).

[52] Petot, M.: "Description de l'appareil à bétonner employé pour la foundation de la nouvelle digue de l'anse de Kerhoun, près Brest", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1840 (segundo semestre).

[53] Beaudemolin, M: "Memoire sur quelques procédés, outils, machines, etc., employés à la construction des radiers en béton du pont de Tours", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1841 (primer semestre).

[54] Garnier: *Dessins et notices relatifs à diverses constructions en ciment de l'exploitation de Vassy-les-Avallon (Yonne), appartenant à MM. Gariel et Garnier*. París, Imprimerie de Bonaventure et Ducessois, 1845.

[55] Belgrand, M.: "Notice sur l'établissement d'une conduite destinée à amener les eaux du ru d'Aillon à Avalon, suive de quelques considérations sur les ouvrages en ciment romain", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1850 (segundo semestre).

[56] Scheidnagel, Leopoldo:"Noticias sobre materiales de construcción en la parte relativa a cales y morteros, como también de algunos proyectos interesantes para la fabricación de piedras artificiales, estucos, pinturas, etc.", en el *Memorial de ingenieros del Ejército.* 1858.

[57] "On the building materials employed in Paris and in the Valley of the Lower Seine", en *The Builder*, vol 7, 30 de junio de 1849.

[58] "Cronique: Emploi du ciment de Porland au pont Saint-Michel", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1857 (segundo semestre).

[59] "Cronique: Mortiers er bétons de ciment", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1858 (primer semestre).

[60] Dorveaux, Paul: "Lambot-Miraval, Monier et le Ciment armé" en la *Revue Horticole*, nº 17 y 18. París, 1919.

[61] Lambot-Miraval, Joseph: "Bateau-ciment, expérience et épreuve de cinq ans". Brignoles, Typographie Perreyrond-Dufort, h. 1842. Reproducida por Marrey, B. en *Joseph Monier et la naissance du béton armé.* Obra citada.

[62] Lambot-Miraval, Joseph: *Fer-ciment*, patente de 30 de enero de 1855. Reproducida por Dorveaux, P. en artículo citado.

[63] Demarq, Michel: "Une page d'Histoire industrielle: la saga des Coignet", en *Rive Gauche,* nº 161. París, junio de 2002.

[64] Coignet, François: *États de service de la maison Coignet Père et ils et Cie et de son gérant actuel François Coignet.* Paris, Typographie de Ch.Meyrureis, 1872.

[65] Simonnet, Cyrille: *Le béton, histoire d'un matériau.* Paris, Éditions Parenthèses, 2005.

[66] Coignet, François: "Constructions économiques en béton pisé", en *L'ingenieur*. París, 1 de noviembre de 1855.

[67] Scheidnagel, Leopoldo:"Noticias sobre materiales de construcción en la parte relativa a cales y morteros, como también de algunos proyectos interesantes para la fabricación de piedras artificiales, estucos, pinturas, etc.", en el *Memorial de ingenieros del Ejército.* 1858.

[68] Coignet, François: *Emploi des bétons.* Patente nº 22994, de 29 de marzo de 1855

[69] Coignet, François: *Emploi des bétons.* Adición a la patente nº 22994. 18 de noviembre de 1858.

[70] Coignet, François: *Emploi du béton hydraulique.* Patente nº 24805. Adición de 26 de septiembre de 1856.

[71] Coignet, François: *États de service de la maison Coignet Père et Fils et Cie et de son gérant actuel François Coignet.* Obra citada, p. 6.

[72] "Cronique: Bétons maigres moulés de M. Coignet", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1856 (segundo semestre).

[73] Coignet, François: *Bétons agglomérés appliqués à l'art de construire.* Paris, E. Lacroix, 1861. p.13-14

[74] Coignet, François: "Rapport fait à sa majesté l'Empereur Napoleon III sur l'emploi à la mer et sur la terre des bétons agglomérés à base de chaux, par F. Coignet, ingénieur civil et manufacturier. En *Bétons agglomérés appliqués à l'art de construire.* Paris, E. Lacroix, 1861. p.311-314.

[75] Coignet, François: *Bétons agglomérés appliqués à l'art de construire.* Obra citada p.13-14

[76] Gillmore, Quincy Adams: "Report on Béton Aggloméré or Coignet-béton, and the materials of which it is made", en *Professional papers of Corps of Engineers, U.S. Army.*, nº 19. Washington D.C, US Government Printing Office, 1871.

[77] Coignet, François: "Rapport fait à sa majesté l'Empereur Napoleon III sur l'emploi à la mer et sur la terre des bétons agglomérés à base de chaux, par F. Coignet, ingénieur civil et manufacturier. En *Bétons agglomérés appliqués à l'art de construire.* Paris, E. Lacroix, 1861. p.311-314.

[78] Coignet, François: "Rapport fait à sa majesté l'Empereur Napoleon III sur l'état actuel des blocs de bétons agglomérés à base de chaux exécutés a Saint-Jean-de-Luz, par François Coignet, ingénieur civil et manufacturier". En *Bétons agglomérés appliqués à l'art de construire.* Paris, E. Lacroix, 1861. p.322-334.

[79] Coignet, Edmond: *Note sur le Bétons Coignet.* París, Maison Lainé et Cie, 1886. p.21

[80] Coignet, François: *Bétons aglomeres système Coignet.* París, Typographie de Ch. Meyrureis, 1869.

[81] Simonnet, Cyrille: "Le béton Coignet", en *Les Cahiers de la recherche architecturale,* nº 29, 1992.

[82] Boileau, Louis Auguste: "Impressions sur les bétons agglomérés", en el *Moniteur des Architectes.* París, 1 de diciembre de 1867.

[83] Coignet, François: "Réponse a M Boileau père", en el *Moniteur des Architectes.* París, 1 de febrero de 1868.

[84] Certificado de Charles Garnier en *Bétons agglomerés système Coignet.* Obra citada, p. 30.

[85] Certificado de A. Cusin en *Bétons agglomerés système Coignet.* Obra citada, p. 30.

[86] Coignet, François: *Bétons agglomerés système Coignet.. Obra citada,* p. 6.

[87] Certificado de Henri Parent en *Bétons agglomerés système Coignet.* Obra citada, p.p. 30-31.

[88] Gillmore, Quincy Adams: "Report on Béton Aggloméré or Coignet-béton, and the materials of which it is made". Obra citada, p. 47.

[89] Certificado de M. Alphand en *Bétons agglomerés système Coignet.* Obra citada, p.p. 27-28.

[90] Coignet, François: *Bétons agglomerés système Coignet.. Obra citada,* p. 8.

[91] "Cronique: Emploi du béton agglomeré (système Coignet) dans la construction de l'aqueduc de la Vanne", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1870 (primer semestre).

[92] Ibarreta, A: "Memoria sobre el canal marítimo del istmo de Suez.1870", en la *Revista de Obras Públicas*, año XXIX, número 3. Madrid, 15 de febrero de 1881.

[93] Berger, C y Guillerme, V.: *La Construction en ciment armé. Applications générales, theories et systemes divers.* París, Dunod, 1902. p. 70.

[94] "Crónica científica. Conservación de hierro empotrado en hormigón", en el *Memorial de ingenieros del Ejército, quinta época,* año LXVI, número VII. Madrid, julio de 1911.

[95] Coignet, François: *Emploi des bétons.* Adición a la patente nº 22994. 15 de enero de 1856.

[96] Valdés, Nicolás: *Manual del ingeniero y arquitecto.* Madrid, Establecimiento tipográfico de Gabriel Alhambra, 1870. p. p. 788-789.

[97] Collins, Peter: *The vision of a new architecture.* Publicado en Francia con el título *Splendeur du béton. Les prédécesseurs et l'oeuvre d'Auguste Perret..* París, Hazan, 1995.p.p. 58-59.

[98] Rebolledo, José Antonio: *Casas para obreros o económicas.* Obra citada. p.p.60 y 98.

[99] Collins, Peter: *The vision of a new architecture.* Obra citada. p.p. 61-88.

[100] Rebolledo, José Antonio: *Construcción general.* Madrid, Imprenta y Fundición de J. Antonio García, 1875. p.249.

[101] Desiré Michel y Compañía: *Noticia sobre el cimento del Mediterráneo. Sus ventajas y usos.* Obra citada, p.p. 10-11

[102] Bosc, Jean Louis; Louis; Marrey, Bernard y otros: obra citada. p.p..50-51.

[103] Bosc, Jean Louis; Louis; Marrey, Bernard y otros: obra citada. p.p.46-47.

[104] Bosc, Jean Louis; Louis; Marrey, Bernard y otros: obra citada. p.p.59-63.

[105] Bosc, Jean Louis; Marrey, Bernard y otros: obra citada. p.p.102.

[106] Delacruz, Jean-Paul: *Reliques souterrains & Industrie. 2007.* http://paperso-orange.fr/derelicta.

[107] Bosc, Jean Louis; Marrey, Bernard y otros: obra citada. p.p.77-78.

[108] Monier, Joseph: *Perfeccionamientos introducidos en las traviesas de ferro-carriles, aplicables a los travesaños para formar recipientes de todas clases y a las construcciones en general de hierro y cemento.* Patente española nº4433, de 27 de agosto de 1884.

[109] De Tedesco, Napoleón y Forestier, Victor: *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.* París, Librairie de Charles Béranger, 1920. p.p. 7-8.

[110] Fougerole, Jacques: "L'évolution du béton armé", en *Cents ans du béton armé.* París, Science & Industrie, 1949.

[111] Bosc, Jean Louis; Marrey, Bernard y otros: *Joseph Monier et la naissance du béton armé.* Obra citada. p.87-92.

[112] De Tedesco, Napoleón y Forestier, Victor: *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.* Obra citada, p. 8.

[113] Bosc, Jean Louis; Marrey, Bernard y otros: *Joseph Monier et la naissance du béton armé* .Obra citada. p.93-98

[114] "Depósitos para aguas construidos de hierro y cimento", en *La Gaceta del Constructor.* Año XIII, número 37. Madrid, 12 de septiembre de 1886.

[115] Bosc, Jean Louis; Marrey, Bernard y otros: *Joseph Monier et la naissance du béton armé* .Obra citada. p.121.

[116] Monier, Joseph: *Adición a la patente por los perfeccionamientos introducidos en las traviesas para ferro-carriles, recipientes de todas clases y construcciones en general de hierro y cemento.* Expediente nº 6156. Madrid, 5 de agosto de 1886.

[117] Bosc, Jean Louis; Marrey, Bernard y otros: *Joseph Monier et la naissance du béton armé.* Obra citada. p.120-123.

[118] "Joseph Monier" en *Le Béton Armé,* nº 53. Rennes, octubre de 1902.

[119] Morsch, Emil: *Le béton armé, étude théorique et pratique.* París, Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1909. p. p. 213-214.

[120] Bosc, Jean Louis; Marrey, Bernard y otros: *Joseph Monier et la naissance du béton armé.* Obra citada. p.p. 111-112.

[121] Rosenberg, Karl: *Los diversos sistemas de construcción de hormigón armado.* Barcelona, Casa editorial Feliú y Susana, 1912.

[122] "Beton und Eisen", en *El Cemento Armado.* Año III número 7. Madrid, julio de 1903.

[123] Berger, C y Guillerme, V: *La Construction en ciment armé. Applications générales, theories et systemes divers.* Obra citada, p. 72.

[124] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* París y Lieja, Librairie Polytechnique Beranger, Éditeur, 1902. p.232.

[125] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 217

[126] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 240-241.

[127] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p. p. 93-96.

[128] Morsch, Emil: *Le béton armé, étude théorique et pratique.* Obra citada, p.p. 220-245.

[129] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 208-209.

[130] Morsch, Emil: *Le béton armé, étude théorique et pratique.* Obra citada, p.p. 245-252.

[131] Zafra, Juan Manuel De: *Construcciones de hormigón armado*. Madrid, Imprenta de V. Tordesillas, 1911.

[132] Vacchelli, José: *Las construcciones de hormigón y de cemento armado*. Segunda edición española. Madrid, Adrián Romo Editor, 1910. p.389.

[133] "Revista extranjera: El sidero-cemento aplicado a cañerías para agua, depósitos, alcantarillas, etc" en la *Revista de Obras Públicas.* Año L, nº 1404. Madrid, 21 de agosto de 1902.

[134] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 362-363.

101[135] Cottancin, Paul: "Fabricación de objetos de materia plástica con armazón metálico", patente española nº12301. Barcelona, julio de 1891.

[136] "Crónica científica", en el *Memorial de ingenieros del Ejército,* Tercera época, año VIII, número VI. Madrid, 15 de abril de 1889.

[137] Lavergne, Gérard: "Les travaux en ciment avec ossature métallique du systeme P. Cottancin", en *Le Genie Civil*., nº 648(Tomo XXVI). París, 10 de noviembre de 1894.

[138] Cottancin, Paul: *Notice sur la parfaite construction moderne.* París, Imprimerie de la Société Anonyme de Publications Industrielles et d'Imprimerie administrative, 1897.

[139] González Irún, Antonio y Luengo y Carrascal, Juan: *Cementos armados*. Madrid, Bailly-Baillière, 1900. p. 173-177.

[140] Berger, C. y Guillerme, V: *Construction en ciment armé: applications générales, theories et systemes divers*. París, Dunod, 1902. p. 824.

[141] Berger, C. y Guillerme, V: *Construction en ciment armé: applications générales, theories et systemes divers*. Obra citada. p. 845.

[142] Berger, C. y Guillerme, V: *Construction en ciment armé: applications générales, theories et systemes divers*. Obra citada. p. 295.

[143] De Tedesco, Napoleón y Forestier, Victor: *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.*Obra citada, p. 95

[144] Lavergne, Gérard:"Constructions en ciment armé", en *Le Genie Civil*., nº 857(Tomo XXXIV). París, 12 de noviembre de 1898.

[145] Berger, C. y Guillerme, V: *Construction en ciment armé: applications générales, theories et systemes divers*. Obra citada.

[146] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 379-380.

[147] De Tedesco, Napoleón y Forestier, Victor: *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.*Obra citada, p. 186.

[148] Berger, C y Guillerme, V.: *La Construction en ciment armé. Applications générales, theories et systemes divers.* Obra citada, p. 554-556.

[149] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 163-164

[150] Berger, C y Guillerme, V.: *La Construction en ciment armé. Applications générales, theories et systemes divers.* Obra citada, p. 526.

[151] Bosc, Jean Louis; Marrey, Bernard y otros: *Joseph Monier et la naissance du béton armé.* Obra citada. p.133-134

[152] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 364-365.

[153] Planat, P.: *L'art de bâtir.* París, Librairie de la Construction Moderne, 1902. p.560.

[154] Bosc, Jean Louis; Marrey, Bernard y otros: *Joseph Monier et la naissance du béton armé.* Obra citada. p.135-143.

[155] "Revista extranjera: hormigón armado", en la *Revista de Obras Públicas.* Año XLVII, nº 1299. Madrid, 16 de agosto de 1900.

[156] Berger, C y Guillerme, V.: *La Construction en ciment armé. Applications générales, theories et systemes divers.* Obra citada, p. 575.

[157] Bied, J.: *Chaux hidrauliques et ciments Portland de Lafarge et du Teil.* París, Ch. Béranger Éditeur, 1903. p.25.

[158] Morel, Marie-Auguste: *Le ciment armé et ses applications*. París, Gauthier-Villars, 1902. p.147.

[159] Dubois, J.: *Notice sur les constructions en ciment armé.* Maçon, Protat Frères imprimeur, 1896. p.p.40-51.

[160] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 203-205.

[161] Berger, C y Guillerme, V.: *La Construction en ciment armé. Applications générales, theories et systemes divers.* Obra citada, p. p. 785-791.

[162] "Nuestros colaboradores. Mr. Louis Coularou", en *El Cemento Armado*, año I, úmero 2. Madrid, 28 de febrero de 1901.

[163] Société des constructions en Fer-Béton,système Matrai: *Notice descriptive des constructions en fer béton Sytème Matrai.* Tours, Imprimerie E. Arrault et Cie, 1899. p. v (preface)

[164] "Au lecteur", en *Le Fer-Béton*. Año primero, nº 1. Tours, agosto de 1899.

[165] "Tableau des travaux les plus importants en Fer-Béton, système Matrai, exécutés à l'étranger", en *Le Fer-Béton*. Año primero, nº 4. Tours, noviembre de 1899.

[166] "Aux lecteurs", en *Le Fer-Béton*. Año primero, nº 3. Tours, octubre de 1899.

[167] "Le Fer-Béton système Matrai", en *Le Fer-Béton*. Año primero, nº 2. Tours, septiembre de 1899.

[168] "Les travaux du Métropolitain de Paris", en *Le Fer-Béton*. Año primero, nº 12. Tours, julio de 1899.

[169] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p. 344 y 366-367.

[170] "Le Fer-Béton système Matrai", en *Le Fer-Béton*. Año primero, nº 3. Tours, octubre de 1899.

[171] Société des constructions en Fer-Béton, système Matrai: *Notice descriptive des constructions en fer béton Sytème Matrai.* Obra citada, p.42.

[172] Fougerole, Jacques: "L'évolution du béton armé", en *Cents ans du béton armé.* Obra citada.

[173] "Variétés: Exposition de 1900. Effondrement de la passerelle du Globe Celeste", en *Le Génie Civil.* Año 20, tomoXXXVII, nº 934. París, 5 de mayo de 1900.

[174] "Información. Construcción de cubierta y pilares del tercer deposito del Canal de Isabel II, empleando hormigón o cemento armado", en *El Cemento Armado.* Año III, nº 1. Madrid, enero de 1903.

[175] Aguado, José: "Una obra notable de hormigón armado. El depósito para el servicio de aguas de la Villette", en *La Construcción Moderna*, año II, nº 17. Madrid, 5 de septiembre de 1904.

[176] De Tedesco, Napoleón y Forestier, Victor: *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.*Obra citada, p. p. 101-102.

[177] Berger, C y Guillerme, V.: *La Construction en ciment armé. Applications générales, theories et systemes divers.* Obra citada, p.p. 745.

[178] Saiz, A: "El sistema Boussiron", en *El cemento armado*, año I, número 8. Madrid, 31 de agosto de 1901.

[179] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 114-116

[180] Hammoutène, Frank y Marrey, Bernard: *Le béton à Paris.* Paris, Éditions du Pavillon de l'Arsenal, 1999. p.19.

[181] "Tubería de hormigón armado para resistir grandes presiones", en *La Construcción Moderna*, año IV, nº 12. Madrid, 30 de junio de 1906.

[182] Morel, Marie-Auguste: *Le ciment armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 147-148.

[183] Berger, C. y Guillerme, V.: *La Construction en ciment armé. Applications générales, theories et systemes divers.*. Obra citada, p. 774.

[184] "Nuestros colaboradores", en *El cemento armado*. Año I, número 1. Madrid, 31 de enero de1901.

[185] Fougerole, Jacques: "L'évolution du béton armé", en *Cents ans du béton armé.* Obra citada.

[186] Planat, P.: *L'art de batir.* Obra citada. p.556.

[187] "Puente en Vigueux (Francia) de cemento armado", en *El cemento armado*. Año I, número 2. Madrid, 28 de febrero de 1901.

[188] "Triunfo del cemento armado en el incendio del Metropolitano de París", en *El Cemento Armado.* Año III, nº 11. Madrid, noviembre de 1903.

[189] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 3 y 20.

[190] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 129-130.

[191] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 257-260.

[192] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 210-212.

[193] "Martínez y Ruíz de Azua, Enrique: "Hormigón de cemento armado", artículo publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año XLVIII, número 1363. Madrid, 7 de noviembre de 1901.

[194] "Puente del sistema Melan en Steyr". En la *Revista de Obras Públicas,* Año XLVI, número 1232. Madrid, 4 de mayo de 1899.

[195] Mörsch, Emil: *Le béton armé, Étude theorique et pratique.* Obra citada, p.p. 295-297.

[196] Berger, C. y Guillerme, V.: *La Construction en ciment armé. Applications générales, theories et systemes divers.* Obra citada, p.p. 718-744.

[197] Collins, Peter: *Concrete, the vision of a new architecture*. Obra citada, p.128.

[198] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 318-320.

[199] Sanchiz, L.: "Los grandes almacenes del Canal Marítimo de Manchester", en *La Construcción Moderna*, año II, nº 23. Madrid, 15 de diciembre de 1904.

[200] "Description des expériences faites", en *Le Fer-Béton.* Año primero, nº 3. Tours, octubre de 1899.

[201] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 260-263.

[202] Holgate, Alan: "John Monash, Engineering entreprise prior to WW1". 2000. http://home.vicnet.net.au/~aholgate/jm/jm_intro.html

[203] Reed, Peter; Salmond, Jeremy; y Schoonees, Kate: *Historic concrete structures in New Zealand.* Wellington, Science & Technical Publishing, 2005.

[204] Vacchelli, José: *Las construcciones de hormigón y de cemento armado*. Segunda edición española. Obra citada, p.427.

[205] "9º tableau des travaux les plus importants en Fer-béton, système Matrai, exécutés à l'étranger", en *Le Fer-béton,* Año 1ª, nº 6. Tours, enero de 1900.

[206] Nelva, Riccardo y Signorelli, Bruno: *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique.* Milán, Edizione di Scienza e Tecnica, 1990. p. p. 20-26.

[207] Nelva, Riccardo y Signorelli, Bruno: *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique.* Obra citada, p. p. 119-121.

[208] Franquichel, R.: "Acueductos de cemento armado". En *El Cemento Armado*, año II, número 3. Madrid, marzo de 1902.

[209] Delhumeau, Gwenaël; Gubler, Jacques; Legault, Réjean y Simonnet, Cyrille: *Le béton en représentation. La mémoire photographique de l'entreprise Hennebique 1890-1930*. Obra citada, p.p. 18-21

[210] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 222

[211] "Travaux publics: Le tunnel du Simplon", en *Le Génie Civil*, número 959 (año vigésimo, tomo XXXVII). París, 27 de octubre de 1900.

[212] Gallego, E.: "Las piezas aisladas de cemento armado y las vigas huecas, sistema Siegwart", en *La Construcción Moderna*. Año II, número 15. Madrid, 15 de agosto de 1904.

[213] Emer, Franz y Von Emperger, Fritz:"Sistema Visintini. Vigas de alma calada, de cemento armado", en *El cemento armado*. Año III, número 9. Madrid, septiembre de1903.

[214] Fort, Domingo: *Construcciones en hormigón armado.* Sociedad Bilbaína de Artes Gráficas. Bilbao, 1901.p.13.

[215] "Necrología. Schouiatschenko", en *El Cemento Armado.* Año III, número 6. Madrid, junio de 1903.

[216] Barutell, Carlos: "Modernas obras de cemento armado", en *El Cemento Armado.* Año III, número 12. Madrid, diciembre de 1903.

[217]Franquichel, R.: "Escaleras de cemento armado", en *El Cemento Armado.* Año II, número 5. Madrid, mayo de 1902.

[218] "Troisième congrès du béton de ciment armé, séance du mardi soir 24 janvier 1899", en *Le Béton Armé,* nº 11, abril de 1899.

[219] Collins, Peter: *Concrete, the vision of a new architecture*. Obra citada, p. 104.

[220] Delhumeau, Gwenaël: *L'invention du béton armé. Hennebique 1890-1914*. Paris, Norma Editions, 1999. p.33-61.

[221] Seco de la Garza, Ricardo: *Construcciones de hormigón de cemento armado, sistema Hennebique privilegiado*. *Extracto de la memoria descriptiva del sistema*. Madrid, imprenta de Hernando y C.ª. Madrid, 1898.

[222] Martínez, J.: *Étude sur les constructions en béton de ciment armé*. París, Imprimerie Paul Dupont, 1896. p. 18.

[223] Grotta, Ramón: "Resistencia al fuego de las construcciones de cemento armado sistema Hennebique", en la *Revista de Obras Públicas*, año XLVII, nº 1269. Madrid, 18 de enero de 1900.

[224] Delhumeau, Gwenaël: *L'invention du béton armé. Hennebique 1890-1914*. Obra citada, p.p.84-93

[225] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p. 202

[226] Lavergne, Gérard: "Constructions en ciment armé", en *Le Génie Civil.* Año 19, tomo XXXIV, nº 857. París, 12 de noviembre de 1898.

[227] Fort, Domingo: *Construcciones en hormigón armado.* Obra citada.p.7.

[228] De Mollins, Samuel: "Compte rendu d'une visite au Congrès des ingenieurs du sud-ouest de la France à Nantes", en el *Bulletin de la Société Vaudoise des Ingénieurs et des architectes.* Lausanne, Imprimerie Georges Bridel, 1897.

[229] Martínez, J.: *Étude sur les constructions en béton de ciment armé*. Obra citada. p.p. 38-50.

[230] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p. 223.

[231] "Le ciment armé dans la construction des silos", en *Le Béton Armé.* Año sexto, nº 66. Rennes, noviembre de 1903.

[232] Simonnet, Cyrille: *Le béton, histoire d'un materiau".* Obra citada, p. 75.

[233] Seco de la Garza, Ricardo: "Aplicaciones militares de los hormigones armados", en el *Memorial de ingenieros del Ejército.* Año LV. Madrid, 1900.

[234] Smeaton, A.C.: *The builder's Pocket Companion; containing the elements of building, surveying and architecture.* Obra citada., p. p. 24-37.

[235] Valdés, Nicolás: *Manual del ingeniero y del arquitecto*. Madrid, Establecimiento tipográfico de Gabriel Alhambra, 1870.

[236] Beckwith, Leonard F.: *Paris Universal Exposition, 1867. Report on beton-coignet, its fabrication and uses.* Washington,1868.

[237] Chamberlin, William P.: "The Cleft-ridge Span: America's First Concrete Arch", en *Industrial Archeology,* vol 9, nº 1.New York, 1983.

[238] Postal, Matthew A.: "Report on the New York and Long Island Coignet Stone Company Building". The New York City Landmarks Preservation Commission. New York, 2007.

[239] "Early Concrete structure Landmarked", en *Roebling Chapter Newsletter,* vol 15, nº 2. New York, agosto de 2006.

[240] Postal, Matthew A. : "Report on the New York and Long Island Coignet Stone Company Building". Obra citada.

[241] De las Casas Gómez, Antonio: "Las bóvedas de Guastavino". En la *Revista de Obras Púlicas*, nº 3422. Madrid, mayo de 2002.

[242] Ward, William E.: "Béton in combination with iron as a building material". En el *Journal of American Society of Mechanical Engineers.* Vol 4, 1882-83. ASME, Nueva York, 1883. p.p. 388-403.

[243] Berger, C. y Guillerme, V.: *La Construction en ciment armé. Applications générales, theories et systemes divers.* Obra citada, p. 74.

[244] Collins, Peter: *Concrete, the vision of a new architecture*. Obra citada, p. 99.

[245] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p. 91.

[246] Banham, Reyner: *La Atlántida de hormigón.* Madrid, Nerea, 1989. p.p. 66.

[247] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p. 162

[248] De las Rivas y López, Manuel: "Chimeneas de Fábrica", en el *Memorial de ingenieros del Ejército*. Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros, 1905.

[249] Banham, Reyner: *La Atlántida de hormigón.* Obra citada. p.p. 60-83.

[250] Collins, Peter: *Concrete, the vision of a new architecture*. Obra citada, p. 102-103

[251] Banham, Reyner: *La Atlántida de hormigón.* Obra citada. p.p. 85-88.

[252] Berger, C. y Guillerme, V.: *La Construction en ciment armé. Applications générales, theories et systemes divers.* Obra citada, p. 573-574.

[253] Wilde, Robert E.: *American Concrete Institute, a century of progres.* ACI Publications, 2003. p.13.

[254] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p. 241-251.

[255] "La industria y las obras públicas. El Métal Déployé en España", en la *Revista de Obras Públicas*. Año XLVII, número 1277. Madrid, 15 de marzo de 1900.

[256] Berger, C. y Guillerme, V.: *La Construction en ciment armé. Applications générales, theories et systemes divers.* Obra citada. p. 686.

[257] Gallego, Eduardo: "Cálculo y aplicaciones de los arcos Golding", en *La Construcción Moderna*, año IV, nº 12. Madrid, 30 de junio de 1906.

[258] Soriano, Jorge: "Una aplicación original del cemento armado", en el *La Construcción Moderna*, año VII, nº 5. Madrid, 15 de marzo de 1909.

[259] Coignet, Edmond: *Project de pont de 112 mètres d'ouverture, construction mixte en ciment et acier.* París, Imprimerie Chaix, 1894. p. 3.

[260] Galeron, M: *Le Cosmorama, conférence faite à l'École des Beaux Arts.* París, Alphonse Lemerre Éditeur, 1895.

[261] "Le grand Globe céleste de l'Exposition de 1900", en *Le Fer-Béton*. Año primero, nº 5. Tours, diciembre de 1899.

[262] Pilatre, M.: "Le Fer-Béton à l'Exposition", en *Le Fer-Béton*. Año segundo, nº 13 Tours, agosto de 1900.

[263] Berger, C. y Guillerme, V.: *La Construction en ciment armé. Applications générales, theories et systemes divers.* Obra citada.

[264] Seurat, M.:"Exposition de 1900. Revue des travaux de l'Exposition. Les Palais des Champs-Elysées". En *Le Génie Civil*., número 833 (año 18, tomo XXXII). París, 28 de mayo de 1898.

[265] Dantin, Ch.:"Exposition de 1900. Passerelle en béton armé reliant le pavillon de Madagascar au Trocadero". En *Le Génie Civil*., número 934 (año 20, tomo XXXVII). París, 5 de mayo de 1900.

[266] Delhumeau, Gwenaël: *L'invention du béton armé. Hennebique 1890-1914*. Obra citada, p.p.235-236

[267] Mesnager, A.: *Cours de Béton Armé, notes prises par les auditeurs.* Paris, Imprimerie Goury, 1910. p.p.7-9.

[268] Autor sin identificar: *L'accident de Bâle et les accidents de chantier.* Levallois-Perret (Suiza), Imprimerie Crété de l'Arbre, 1902. p. 7

[269] Christophe, Paul: *Le béton armé et ses applications.* Obra citada, p.p. 6-8.

[270] Díaz de Canto, E: "Reglamentos alemanes para las construcciones de cemento armado", artículo publicado en *El cemento armado*. Año III, número 1. Madrid, enero de 1903.

[271] "Crónica científica", en el *Memorial de ingenieros del Ejército,* Cuarta época, año LIX, número XI. Madrid, noviembre de 1904.

[272] "Comisión francesa del hormigón armado", en *El cemento armado*. Año I, número 3. Madrid, 31 de marzo de 1901.

[273] Ministère des travaux publics, des postes et des télégraphes. Commission du ciment armé: *Expériences, rapports & propositions ministerielles relatives à l'emploi du béton armé.* París, Dunod et Pinat, 1907.

[274] Harel de la Noë: "Nota sobre el puente en X de Mans", en *El cemento armado*. Año I, número 5. Madrid, 30 de mayo de 1901.

[275] Fougerole, Jacques: "L'évolution du béton armé", en *Cents ans du béton armé*. Obra citada, p. 65.

[276] Mörsch, Emil: *Le béton armé, étude théorique et pratique.* Obra citada, p.p.313-314.

[277] Amigó, Narciso: "El puente de Neckarhausen sobre el Neckar (Alemania)", en *La Construcción Moderna*, año III, nº 10. Madrid, 30 de mayo de 1905.

[278] Mörsch, Emil: *Le béton armé, étude théorique et pratique.* Obra citada, p.p.297.

[279] Tamayo, Isidoro: "El cemento armado y las modernas obras de ingeniería", en *La Construcción Moderna*, año II, nº 17. Madrid, 15 de septiembre de 1904.

[280] Riboud, M.: "Notice sur un pont en béton armé système Hennebique construit sur l'Aisne, à Soissons", en *Annales des Ponts et Chausées.* París, 1903 (segundo semestre).

[281] Mesnager, A.: *Cours de Béton Armé, notes prises par les auditeurs.* Obra citada, p.6.

[282] "Le Réservoir de Kobanya", en *Le Béton Armé.* Año sexto, nº 66. Rennes, noviembre de 1903.

[283] Fort, Domingo: *Construcciones en hormigón armado.* Blbao, Sociedad Bilbaina de Artes Gráficas, 1901. p.20.

[284] Delhumeau, Gwenaël: *L'invention du béton armé. Hennebique 1890-1914*. Obra citada

[285] "Presas americanas de cemento armado", en *Ingeniería.* Año II, nº 56, Madrid, 10 de noviembre de 1906.

[286] "Presa hueca de cemento armado", en *La Construcció Moderna*. Año VIII, nº 3. Madrid, 15 de febrero de 1910

[287] Magny, A.V.: *La construction en béton armé.* Paris, Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1932. p.688.

[288] "Una barca de cemento armado", en la *Revista de Obras Públicas*, año XLIV, nº 1139. Madrid, 22 de julio de 1897.

[289] De Tedesco, Napoleón y Forestier, Victor: *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.*Obra citada, p. p. 503-506.

[290] De Tedesco, Napoleón y Forestier, Victor: *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.*Obra citada, p. p. 506-507.

[291] "Gran puente de hormigón armado en Roma", en *Ingeniería.* Año VIII, nº 256. Madrid, 10 de mayo de 1912.

[292] Hering, Oswald C.: *Concrete and stucco houses*. Nueva York, McBride, Nast & Company, 1912. p.p. 91-92.

[293] "El cemento armado en el VI Congreso Internacional de Arquitectos", en *El cemento armado*. Año IV, número 2. Madrid, mayo de 1904.

[294] Bassegoda, Joaquín: "El cemento armado en la Arquitectura", en *La Construcción Moderna*, año IX, nº 11. Madrid, 15 de junio de 1911.

[295] Gargiani, Roberto: *Auguste Perret.* Paris, Gallimard/Electa, 1994. p. p. 62-63.

[296] Frampton, Kenneth: *Estudios sobre cultura tectónica.* Madrid, Akal, 1999. p.p. 60-61.

[297] Chueca Goitia, Fernando: *Historia de la Arquitectura Occidental. Tomo V, el siglo XX, de la Revolución Idustrial al Racionalismo.* Madrid, Dossat, 1981. p. 104.

[298] Citado por Gargiani, Roberto en *Auguste Perret.* Paris, obra citada. p.p. 63.

[299] García-Diego, Tomás: *Estética del hormigón. Conferencia dada en la Escuela de ingenieros de Caminos.* Madrid, Editorial de la Revista de Obras Públicas, 1934.

[300] García-Diego, Tomás: "La influencia del ingeniero en el Arte de nuestro tiempo", en la *Revista de Obras Públicas.* Año LXXIII, nº 2430. Madrid, 1 de junio de 1925.

[301] Leniaud, Jean Michel: *Les bâtisseurs d'avenir.* Obra citada. p.p.292-293.

[302] Frampton, Kenneth: *Estudios sobre cultura tectónica*. Madrid, Akal Ediciones, 1999. p.p.106-109.

[303] Curtis, William J.R.: *La arquitectura moderna desde 1900.* Londres, Pahidom Press Limited, 2006. p. p. 80-81.

[304]Luebkeman, Chris H. : *History of structural concrete case studies*. 1995. http://darkwing.uoregon.edu/~struct/resources/case_studies/case_studies_concrete/case_studies_concrete.html.

[305] Collins, Peter: *Concrete, the vision of a new architecture*. Obra citada, p. p. 160-163.

[306] Mies van der Rohe, Ludwig: "Bürohaus", citado por Cohen, Jean-Louis en M*ies van der Rohe*. Madrid, Akal, 2007. p.p. 34-37.

[307] Leniaud, Jean Michel: *Les bâtisseurs d'avenir.* París, Fayard, 1998. p.p.342.

[308] Giedion, Sigfried: *Construire en France. Construire en fer. Construire en béton.* París, Editions de La Villette, 2000. p. p. 83-86.

[309] Fernández Troyano, Fernando: *Tierra sobre el agua. Visión histórica universal de los puentes.* Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canlaes y Puertos, 1999. p.34.

[310] Maillart, Robert: "L'ingénieur et les autorités", en *Vie, art et cité,* enero-febrero de 1940. Recopilado por Marrey, Bernard en *Écrits d'ingénieurs.* París, Editions du Linteau, 1997. p.p. 89-94.

[311] Imhof, Daniel: *Les ponts de Robert Maillart.* Cambridge, Universidad, 2000.

[312] Maillart, Robert: "L'ingénieur et les autorités". Obra citada.

[313] Guyon, Frank, y otros: *Eugène Freyssinet, un ingeniero revolucionario.* Madrid, Fundación Esteyco, 2003. p.8.

CAPÍTULO SEGUNDO:

LA CONSTRUCCIÓN EN ESPAÑA A LA LLEGADA DEL HORMIGÓN ARMADO

1. Economía y construcción en España a principios del siglo XX.

El hormigón armado se introdujo en España en los últimos años del siglo XIX. Su aparición en nuestro país coincidiría, pues, con el desastre del 98, el acontecimiento que tan profundamente marcaría la vida de la nación en los años siguientes.

Esta época en la que el nuevo material daría sus primeros pasos, sería la del *Regeneracionismo*, la profunda revisión de todas las cuestiones de la vida nacional que surgió tras la pérdida de los últimos restos del imperio colonial.

Desde el punto de vista económico el Desastre tuvo repercusiones muy negativas ligadas a la pérdida del mercado de las colonias. Pero también las tuvo positivas, y mucho. Para empezar, hizo ineludible la adopción de medidas de reformas en la Hacienda, que rápidamente conducirían al equilibrio presupuestario. Asimismo, la repatriación de los grandes capitales ultramarinos daría un gran impulso a la financiación de todas las actividades productivas de nuestro país.

Al 98 sucederían unos años de intenso desarrollo económico, favorecido por la conjunción de esas circunstancias y otras no menos importantes como la renovada afluencia de recursos extranjeros y la presencia de una activa banca nacional[1].

Al comenzar el siglo la economía española era fundamentalmente agrícola. En 1901 el 46,40% del Producto Interior Bruto procedía del sector primario, mientras que la industria aportaba el 19,6% y los servicios el 34%[2].

El sector agrario desarrollaba una doble producción: por un lado, las explotaciones destinadas al abastecimiento interior, que el excesivo proteccionismo había hecho deficientes; por otro, estaban los cultivos de productos mediterráneos destinados a la exportación, que junto con la minería constituían el principal aporte de divisas para el país.

Durante el primer tercio del siglo XX, la agricultura experimentó una notable expansión, en cierta medida impulsada por las políticas regeneracionistas, que habían hecho de la modernización del campo uno de sus leitmotiv.

La obsesión por los regadíos de principios de siglo movió a los gobernantes a promover vastos programas de obras hidráulicas, que dieron un importante impulso a la industria de la construcción en general. Significativamente uno de ellos, el Canal de Aragón y Cataluña (1907) representó un notable respaldo a la construcción con hormigón armado.

También la industria, aunque fuertemente localizada en cierta áreas (Vizcaya, Asturias y Barcelona), viviría unos años de extraordinario crecimiento, especialmente en las dos primeras. En ello influiría decisivamente el decidido apoyo que, con sus políticas proteccionistas, todos los gobiernos darían a la industria nacional.

El tejido industrial que había venido formándose a lo largo de la centuria anterior se afianzó coincidiendo con la Segunda Revolución Industrial. Tres nuevos sectores, el eléctrico, el de los motores de explosión y el químico, vinieron a sumarse a los ya tradicionales textil y siderúrgico. Asimismo, las industrias extractivas de minerales (hierro, carbón) continuarían siendo uno de los más firmes pilares de la economía nacional.

A esta gran industria, de desigual implantación, vendría a sumarse una amplia variedad de establecimientos menores. Harineras, almazaras, azucareras, industrias del calzado o papeleras, estas sí repartidas por todo el territorio, serían las que protagonizarían realmente esta fase de la industrialización española, convirtiéndose en *"las auténticas difusoras de la Revolución Industrial"*[3].

El desarrollo del hormigón armado se asociaría principalmente a la actividad industrial, donde se encuadraban los sectores más dinámicos de la sociedad, abiertos a la introducción de nuevas tecnologías. La gran mayoría de las primeras construcciones de hormigón armado fueron establecimientos industriales. No obstante, del auge de las edificaciones industriales se beneficiaría todo el sector de la construcción.

Por entonces haría su aparición una nueva industria pesada, la del cemento, dando lugar a la construcción de grandes instalaciones de hormigón armado. La de Tudela-Veguin (Asturias), creada en 1899, fue la primera fábrica de portland de España. Algo más tarde se crearía la cementera Asland, con su principal factoría en Castellar de N'Hug, provincia de Barcelona. En estos dos casos su accionariado era íntegramente español. Aunque no era rara la constitución de compañías con capital extranjero como la *"Société Générale des Ciments Portland de Sestao-Bilbao".*

Otras de las nuevas industrias de estos años serían las hidroeléctricas*,* muchas de ellas constituidas con financiación extranjera sería importantísima. Asimismo, en las grandes ciudades las compañías de gas ciudad darían lugar a la construcción de importantes establecimientos industriales.

Las inversiones extranjeras también estuvieron detrás de nuevas concesiones ferroviarias. Por ejemplo, los *Ferrocarriles Suburbanos de Málaga* se constituyeron *c*on capital belga. Aunque con menor intensidad que en los años anteriores, el trazado de nuevas líneas de ferrocarril aportará una importante carga de trabajo para el sector de la construcción

El mismo efecto positivo tendrían los grandes programas urbanísticos que se llevaron a cabo en las ciudades importantes. Una de las actuaciones típicas fue la apertura de nuevas

calles representativas, las *Grandes Vías*. La de más trascendencia sería la madrileña, pero también tendrían la suya varias capitales de provincia como Granada.

La reordenación de nuevos barrios, como el de la playa de Gros en San Sebastián, serían las otras actuaciones más representativas.

En definitiva, el primer tercio del siglo XX, la época inicial del hormigón armado en nuestro país, fue para España un periodo de expansión económica. El crecimiento fue acompañado por una notable modernización de todas las estructuras productivas, tanto las agrarias, la actividad principal, como especialmente las industriales. La construcción se benefició de estas circunstancias, propiciando el gran incremento de la actividad la implantación de las nuevas obras de hormigón armado.

2. Los profesionales de la construcción.

Hacia 1900, como ahora, participaban en el sector de la construcción empresarios, técnicos y obreros.

En cuanto a los empresarios, la mayoría eran contratistas de ámbito local, que gestionaban empresas de reducido tamaño. Obreros aventajados casi todos ellos, su capacidad técnica y organizativa era prácticamente nula.

De las construcciones de cierta entidad se hacían cargo habitualmente empresas extranjeras, que aportaban una mayor cualificación técnica. Así, la mayoría de las grandes infraestructuras metálicas ferroviarias serían realizadas por empresas francesas, belgas o británicas.

La situación empezaría a cambiar en estos años. Vinculadas precisamente al hormigón armado, aparecerían las primeras empresas constructoras modernas de España. Quizás la más conocida fuera la *Compañía de Obras Hidráulicas y Civiles,* fundada en 1900 por el ingeniero de caminos José Eugenio Ribera y los hermanos Manuel y Luís Gomendio.

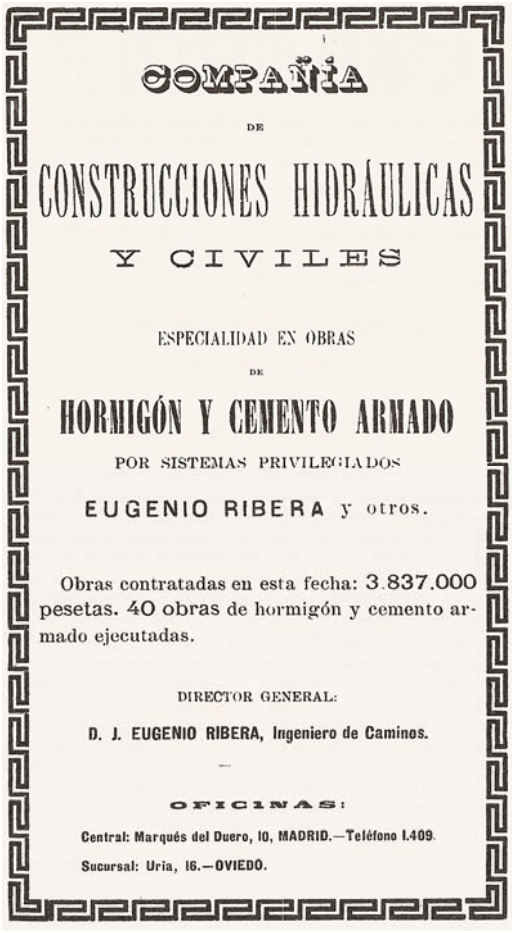


Figura 1. Anuncio de la empresa constructora de José Eugenio Ribera en *El Cemento Armado.* 1901. Hemeroteca Municipal de Madrid.

Muchos consideran a Ribera el primer contratista moderno de España[4]. Por la misma época, compitiendo a veces fuertemente, trabajarían también con vocación nacional la empresa de Construcciones Monier del arquitecto barcelonés Claudio Durán, la madrileña *Sociedad de Aplicaciones de la Ingeniería* o la Sociedad de Cementos Portland de Sestao (esta última de capital francés). Algo más tarde se incorporaría con fuerza al mercado *Construcciones y Pavimentos*, la potente empresa catalana de F. Miró Trepat.

En lo que se refiere al estamento técnico, en el mundo de la construcción participaban arquitectos e ingenieros, estos últimos divididos a su vez en militares, civiles e industriales. En una escala inferior estaban los maestros de obras, peritos y ayudantes de obras públicas.

Formados desde 1844 en la Escuela Superior de Arquitectura, a los arquitectos correspondía la construcción de todos los edificios. Cincuenta años atrás, la consolidación del cuerpo de ingenieros de caminos había originado una polémica sobre las atribuciones de ambas profesiones, saldada de forma salomónica por la Real Orden de 25 de noviembre de 1846. Los arquitectos quedaron como los únicos técnicos con facultades para proyectar edificios. Además, podían construir caminos, puentes y canales de utilidad privada. Poco después conseguirían (R.O. de 3 de febrero de 1848) la facultad de realizar las obras públicas y arquitectónicas promovidas por los ayuntamientos[5].

De estas últimas atribuciones surgiría la figura del arquitecto municipal, empleo oficial estable al que muchos de ellos aspiraban[6]. Sin embargo, la mayoría de los arquitectos desarrollaría su profesión en el ámbito privado, dedicados al diseño y construcción de edificios de toda clase y entidad para clientes particulares.

En un escalafón inferior se encontraban los maestros de obras, con título reconocido por la Academia de San Fernando. Estaban habilitados para *"proyectar y dirigir por sí solos los edificios particulares en los pueblos que no lleguen a 2000 vecinos, y en los demás en que no hubiese arquitecto"*[7].

Hasta el siglo XIX no hubo profesionales específicamente dedicados a las obras públicas. De su construcción se encargaban ingenieros militares, arquitectos, maestros de obras, facultativos extranjeros y hasta en no pocas ocasiones "*frailes experimentados"*[8]. Durante el primer tercio de siglo fue organizándose, con muchas dificultades, el cuerpo de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Los ingenieros civiles españoles, siguiendo el modelo de sus colegas franceses, serían funcionarios de la más alta calificación científica al servicio del Estado[9].

Por la Real Orden de 10 de octubre de 1845 les fue encomendada, con carácter exclusivo, la realización de todas las obras públicas del Estado. Después, como ya se ha comentado, se modificó esta resolución, admitiendo la participación de los arquitectos en las obras municipales.

Por iniciativa del ministro Seijas Lozano, en 1850 se fundó en Madrid el Real Instituto Industrial, donde se impartirían las enseñanzas para la obtención de la nueva titulación de ingeniero industrial. De sus aulas saldría seis años después la primera promoción española de ingenieros industriales, continuada después en nuevas escuelas fundadas en Barcelona, Sevilla, Valencia, Vergara y Gijón[10].

La participación de los ingenieros industriales en el mundo de la construcción estaba en principio limitada a los propios edificios fabriles: *"pueden trazar y construir edificios destinados a la industria […] y sólo en el caso de que los edificios de que se trate hayan de tener parte artística, se encargarán de la dirección de la obra un arquitecto y un ingeniero industrial"*[11]. Con el paso del tiempo irían asumiendo más atribuciones, participando en la construcción de obras civiles y edificios de diverso tipo.

Con la aparición de estas nuevas ingenierías especializadas, los ingenieros del ejército fueron paulatinamente centrándose en las competencias exclusivamente militares. No obstante, su formación les habilitaba completamente para realizar trabajos de arquitectura e ingeniería, atribuciones estas últimas que les fueron reconocidas mediante R. O. de 7 de enero de 1900.

De hecho, en las colonias de Cuba y Filipinas, y más adelante en las ciudades españolas del Norte de África, ejercerían ampliamente y con toda naturalidad estas funciones, encargándose de todas las cuestiones relativas a las Obras Públicas y hasta de la construcción de edificios.

Queda por último describir el papel de los protagonistas anónimos de todas las construcciones: los obreros. El oficio principal era sin duda el de albañil, dentro del cual se englobaban varios grados o categorías. Se iniciaban en el oficio a los trece o catorce años, como aprendices, pudiendo ascender después a oficiales y capataces. Incluso podían llegar a ser "*dependientes"*, auténticos jefes de obra elegidos por el contratista *"entre aquellos oficiales o maestros albañiles que, habiendo pasado por todos los grados de su oficio, son bastante aplicados e inteligentes [..] y a una conducta digna y experiencia bastante en el trabajo, reúnan una instrucción regular, sabiendo a lo menos leer, escribir, hacer las operaciones elementales de aritmética y conociendo un poco de dibujo lineal y el corte de piedras"*.

Muchos de estos *"dependientes"* finalmente se lanzaban a emprender construcciones por su propia cuenta, convirtiéndose en contratistas. Con su gran experiencia, en no pocas ocasiones se sentían en condiciones de prescindir de los facultativos, por lo que *"con sobrada frecuencia se veían obras que por falta de buena dirección arquitectónica se desplomaban o derrumbaban"*[12].

En el nivel más bajo, se empleaban en la construcción gran número de peones. Sin ninguna preparación, muchas veces eran reclutados entre los trabajadores agrícolas de la zona donde se realizaba la obra.

Las condiciones laborales de estos trabajadores de la construcción eran terribles: jornadas agotadoras, salarios míseros, nulas condiciones de seguridad.

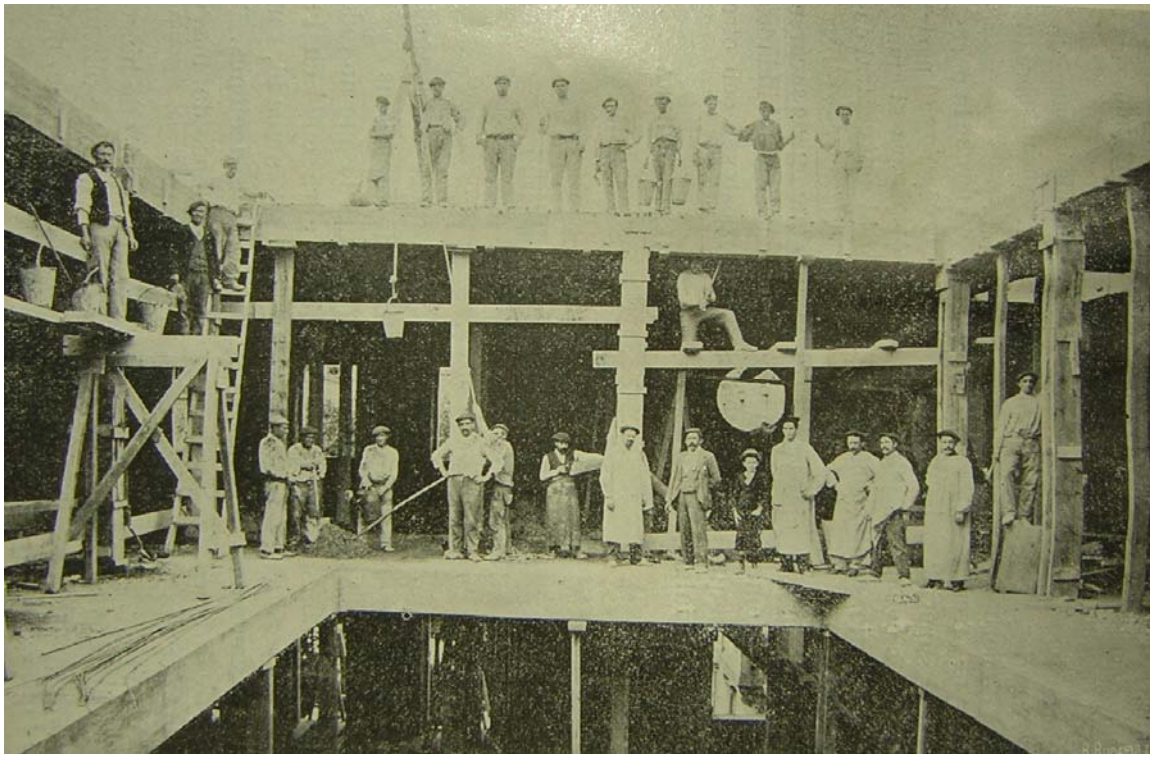


Figura 2. Obreros en la construcción del Banco Guipuzcoano (San Sebastián). 1900. En *El Cemento Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.



Figura 3. Obreros en la construcción del Canal de Aragón y Cataluña. 1905. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

3. Materiales y tecnologías en la construcción arquitectónica.

Al comenzar el siglo XX los materiales básicos en edificación eran la piedra, el ladrillo, la madera, el hierro y el vidrio. El hormigón rápidamente se sumaría a esta lista, aunque ya se venía utilizando en diversas funciones desde tiempo atrás.

La piedra seguía siendo muy apreciada para las fachadas, reconociéndose especialmente la calidad de la extraída en yacimientos como los de Porriño, Igueldo, Motrico, Calatorao, Montjuich, Garraf, Villafranca, Salamanca, Sepúlveda, Guadarrama, Morata de Tajuña o Colmenar[13]. En Granada era muy apreciada la de Sierra Elvira. Y no menos famosos eran los mármoles de Macael, en la provincia de Almería.

En cuanto al hierro utilizado en la construcción, tres eran las modalidades que se podían encontrar: hierro forjado, fundición y acero. Las dos primeras, las tradicionales, fueron poco a poco relegadas a cometidos secundarios por los elementos de acero, cuya producción empezó a generalizarse a finales del siglo XIX.

La tipología estructural predominante para los edificios era la de muros de carga y forjados planos de viguetas o bóvedas. También se usaban frecuentemente pilares o pies derechos de fundición. El perfeccionamiento de la fabricación de acero en perfiles laminados permitió la introducción de la estructura de entramados de pórticos metálicos, que iba a ser la más empleada en los años siguientes.

Las viviendas más modestas se levantaban con paredes de adobe, tapial, mampostería o ladrillo. Los pisos se formaban con una armazón de viguetas de madera apoyadas directamente en los muros o en otras vigas de madera. Encima se disponía un enlistonado acompañado por una capa de argamasa para recibir el pavimento. Este era el procedimiento más empleado en las aldeas pobres y edificios rurales.

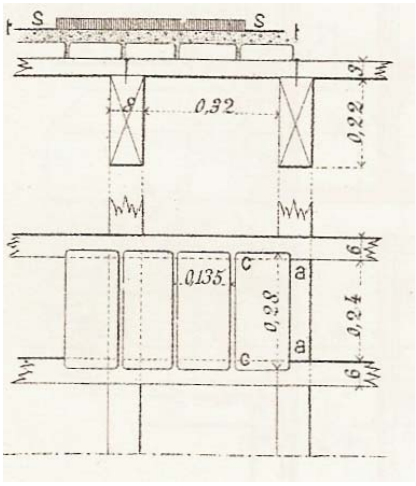


Figura 4. Forjados de viguetas de madera. Solución tradicional con enlistonado. En Ger, *Tratado de Construcción civil.* 1898.

La fábrica de ladrillo era la más utilizada en la edificación por diversas razones: *"en las comarcas donde la piedra escasea, y por consiguiente es cara, el ladrillo, siendo fabricado de buena tierra, es decir, dura y bien cocido, no absorbe la humedad, reemplaza con ventaja la piedra, en cuanto que la pared de ladrillos no necesita ser tan gruesa como la de sillares, sillarejos y pedruscos"*[14].

Los forjados de los edificios de cierta entidad, sobre todo en las ciudades se resolvían con viguetas planas y bovedillas. A medida que mejoraba la fabricación de perfiles de hierro fue generalizándose la viguería de este material, en detrimento de la tradicional de madera. Ya en 1870 los suelos con viguetas de hierro forjado eran bastante utilizados en Madrid y Valencia[15].

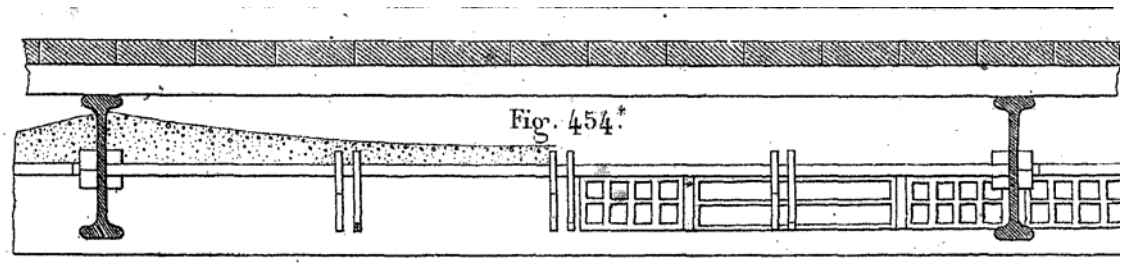


Figura 5. Forjado de viguetas de hierro y relleno de mampostería de yeso y cascotes o ladrillos. En Valdés, *Manual del ingeniero y arquitecto.* 1870. Biblioteca de la Universidad de Granada.

Finalmente, la solución más utilizada fueron los forjados de viguetas metálicas y bóvedas de rosca de ladrillo. A finales de siglo estaba muy extendido el empleo de viguetas con sección en doble T, espaciadas a distancias de setenta centímetros a un metro.

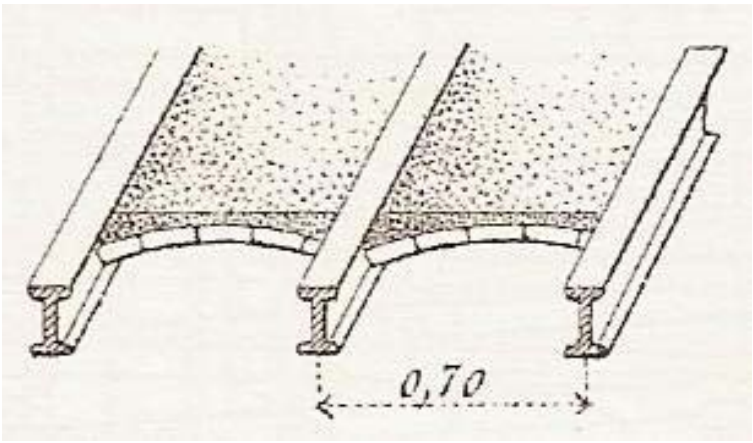


Figura 6. Forjados de viguetas de metálicas y bóvedas de rosca de ladrillo. En Ger, *Tratado de Construcción civil.* 1898.

Si entre los muros de carga había que dejar un espacio considerable, el edificio se dividía *"en dos o tres naves por medio de columnas de fundición huecas encargadas de sostener los extremos de las dobles o grandes divisorias de las crujías"*[16].

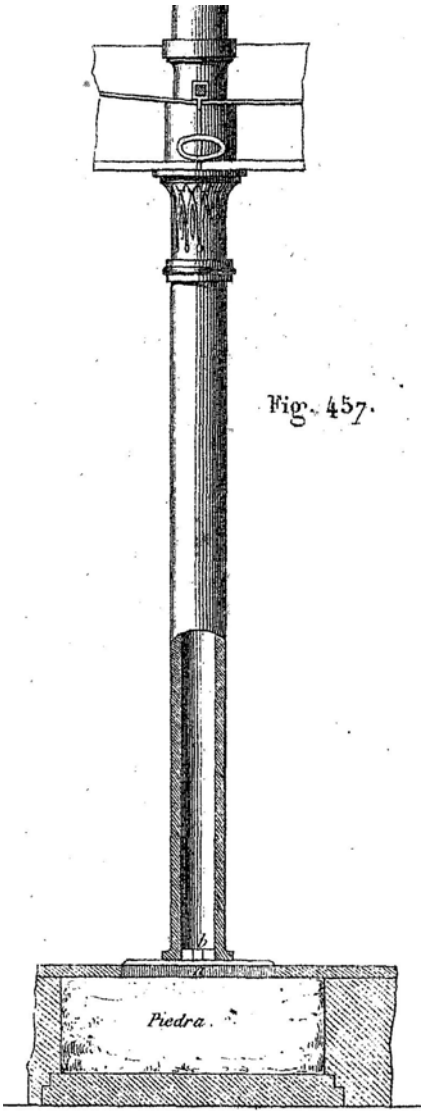


Figura 7. Columna hueca de fundición. En Valdés, *Manual del ingeniero y el arquitecto.* 1870. Biblioteca de la Universidad de Granada.

Los techos de los sótanos solían resolverse con bóvedas. En las zonas rurales se usaba mampostería, pero en las capitales, *"donde el arte de construir está más adelantado"*, se hacían con "*arcos de ladrillo y suelos de varias capas de baldosas o ladrillo, rellenando los riñones y declives de los arcos con despojos de sillares y argamasa"*. No obstante, cada vez con mayor frecuencia se hacían los techos de los sótanos como en los pisos superiores, no teniendo el albañil *"que construir otros arcos sino aquellos que les han de dar paso a través de las paredes principales"*[17].

En cuanto a las cubiertas inclinadas, se formaban *"con dos obras muy diferentes: una la armadura de madera, de hierro o de ambos materiales, que determina o fija la figura de la cubierta, y otra la cubierta verdaderamente dicha o sea la superficie que recibe directamente la acción del agua, de la nieve del aire o del sol y es el revestido de la anterior"*[18]. Las tradicionales armazones de madera fueron sustituyéndose, sobre todo en edificios importantes, por cerchas de perfiles laminados unidos mediante roblones.

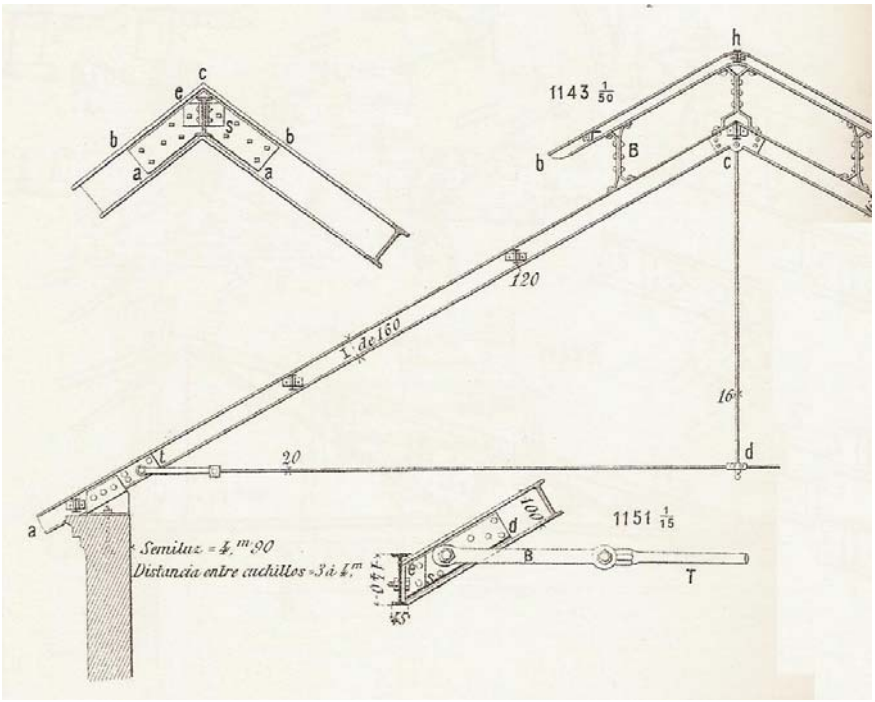


Figura 8. Estructuras metálicas para soporte de cubiertas. En Ger, *Tratado de Construcción civil.* 1898.

Por lo que se refiere a las cimentaciones, si el terreno era competente se resolvían con zapatas corridas para los muros de carga. Se hacían rellenando zanjas previamente excavadas con pedruscos "*mejor o peor colocados por capas que se apisonan fuertemente para que hagan el menor asiento posible"* y trabadas con argamasa. En algunas zonas se rellenaban las zanjas con *"mazacote, que es una mezcla de cal, arena y casquijo"*[19].

En terrenos de escasa consistencia se hacían también las cimentaciones sobre arena, siendo frecuente asimismo la construcción de pozos y arcos de descarga de ladrillo.

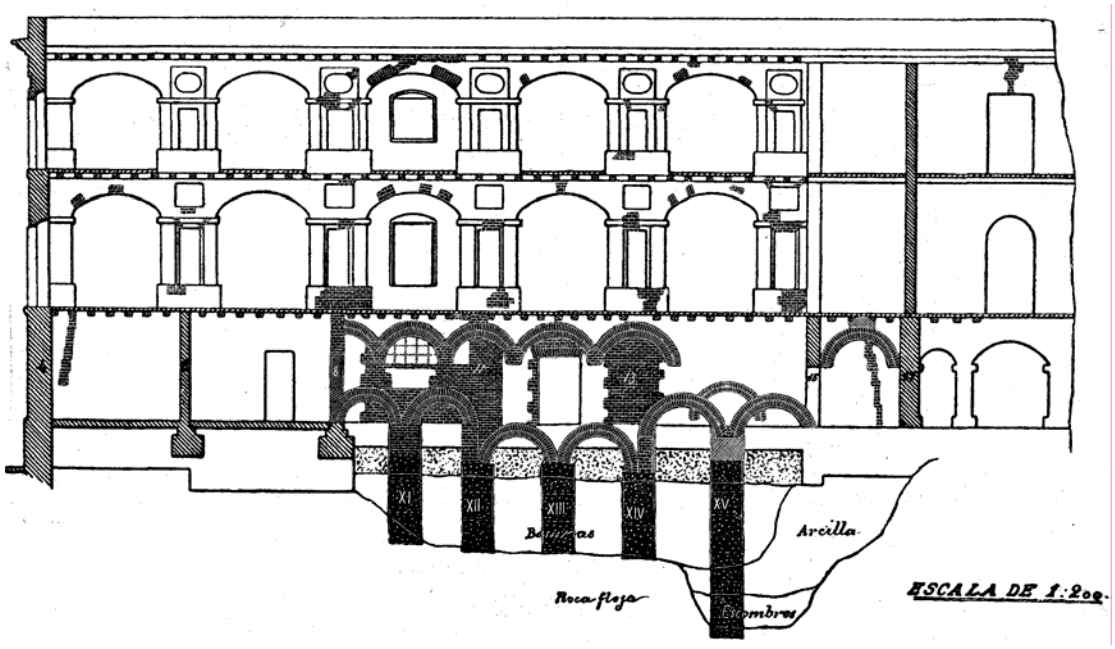


Figura 9. Cimentaciones con pozos y arcadas del cuartel de Ballajá (Puerto Rico). 1897. Rafael Aguirre, ingeniero militar. En el *Memorial de Ingenieros del Ejército.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

En ausencia de terreno firme se recurría a los pilotes, que se hacían con madera, preferentemente de roble, y se hincaban con martinetes.

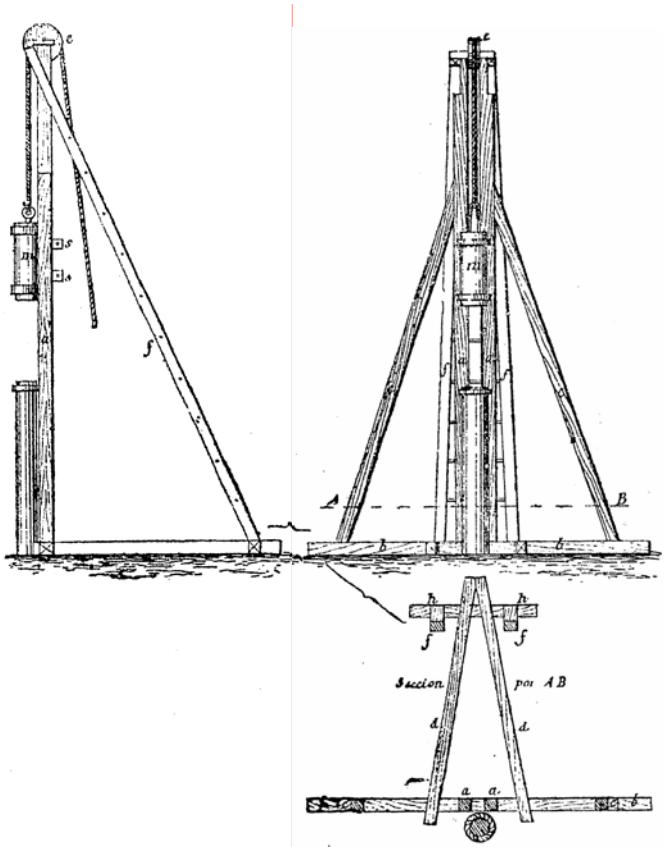


Figura 10. Martinete para hinca de pilotes de madera. En Rebolledo, *Manual del Constructor.* 1893. Biblioteca de la Universidad de Granada.

Paulatinamente la estructura de muros resistentes de fábrica fue cediendo terreno a la de entramados metálicos, que terminaría imponiéndose en todos los edificios de alguna importancia. La combinación de pies derechos y jácenas metálicos permitía una disposición menos rígida del edificio y liberaba un considerable espacio (antes ocupado por los muros de carga).

En el comercio se suministraba el acero en chapas o *palastros* y barras de sección rectangular de distintas dimensiones (*barrotes, llantas, pletinas, flejes, cuadradillos)* y circular de 20 a 30 mm de diámetro *(balaustres o cabillas).* También presentaba la industria *"hierros en forma de escuadras de diversas dimensiones, o bien en piezas de simple y doble T, cruces, dobles escuadras o en canal, pernos, clavazón gruesa y menuda, etc."*[20].

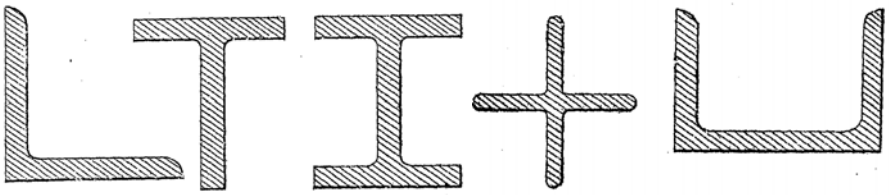


Figura 11. Perfiles laminados disponibles hacia 1900. En Rebolledo, *Manual del Constructor.* 1893. Biblioteca de la Universidad de Granada.

A finales del XIX empezaron a introducirse en España los cerramientos con cámara de aire combinados con estructura metálica (como el sistema patentado en 1888 por la Sociedad Anónima Internacional de Construcción de Brain-le-Comte), consiguiendo edificios más sólidos, resistentes al fuego, económicos y con buenas prestaciones de aislamiento térmico y acústico[21].

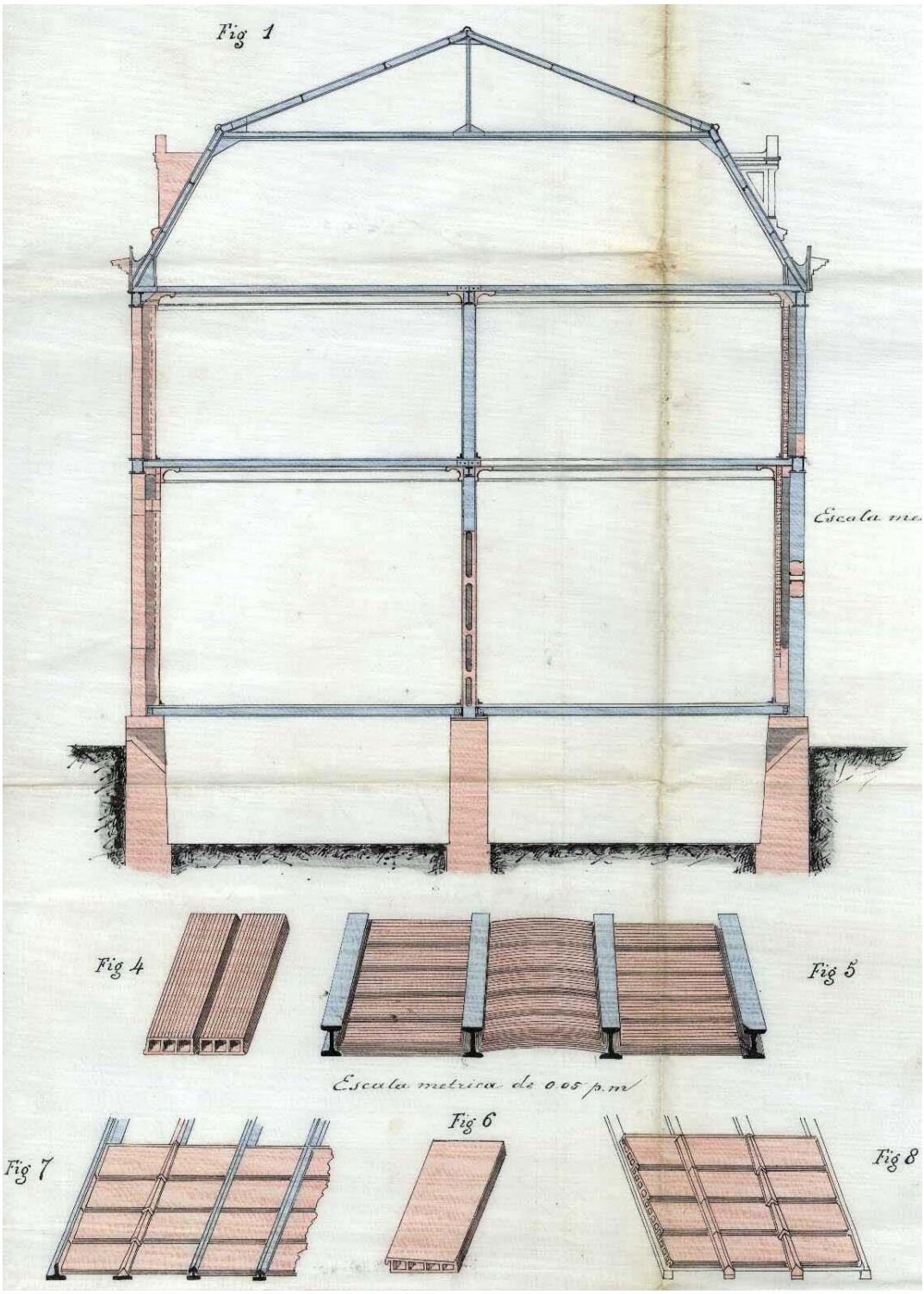


Figura 12. Sistema de construcción de hierro y mampostería con muros huecos, patentado por la Sociedad Anónima Internacional de Construcción de Brain-le-Comte en 1888. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

4. Los nuevos materiales en la arquitectura del cambio de siglo.

En los primeros años del siglo XX las corrientes que habían marcado la segunda mitad de la centuria anterior, historicismo y eclecticismo, continuaban dominando la creación arquitectónica.

No obstante, ya desde la penúltima década del XIX se fue generando un impulso renovador en la arquitectura, cuyas manifestaciones se recogen bajo la denominación genérica de *Art Nouveau* o, en España, Modernismo[22].

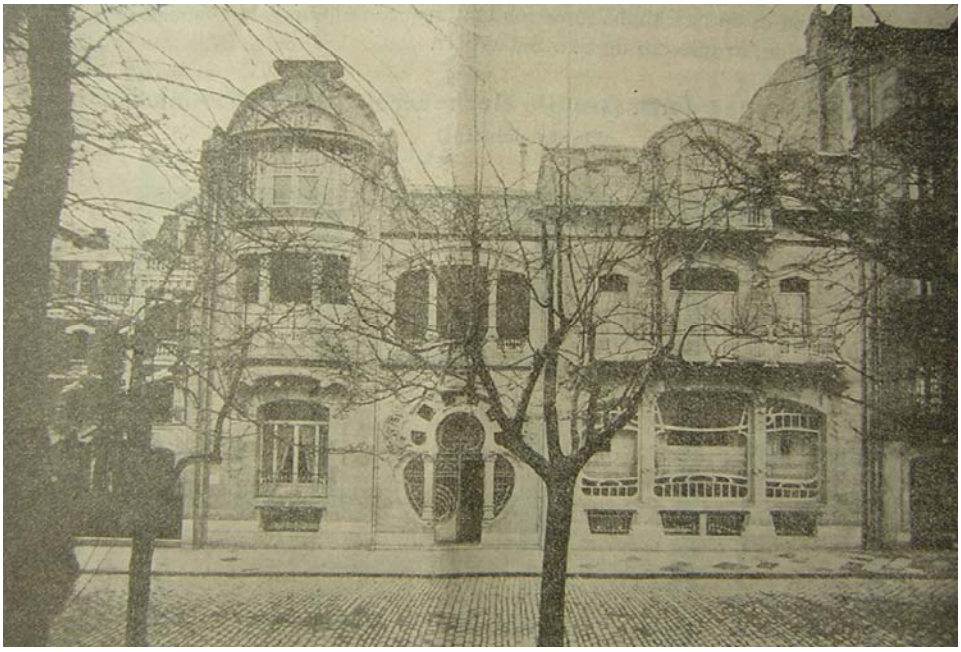


Figura 13. Casa de Braulio Echeverría en San Sebastián. Luís Elizalde, arquitecto. Fachada de piedra arenisca y terrazas de cemento armado. 1906. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.



Figura 14. Chalet de D. José Freixa en Tarrasa (Barcelona). Luís Moncunill y Parellada, arquitecto. 1908. En *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Las primeras décadas del siglo XX verían también la aparición de los estilos regionalistas, completando el panorama de la arquitectura nacional hasta la irrupción de las primeras muestras del Movimiento Moderno a finales de la década de 1920.

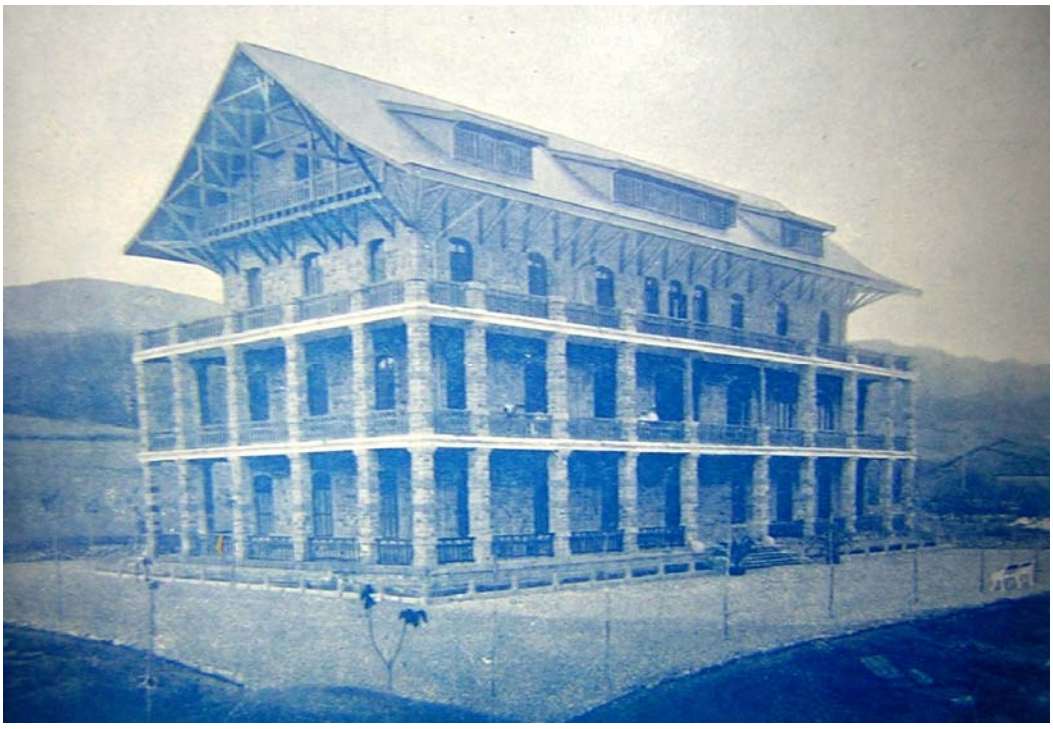


Figura 15. Casa de campo de D. Juan Garay en Oñate (Guipúzcoa). Francisco de Urcola, arquitecto. 1908. En *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Eso sí, poco a poco los arquitectos fueron adoptando los nuevos materiales de construcción, aunque sin aprovechar sus posibilidades para dar una nueva imagen a los edificios. La fuerza del progreso había hecho ineludible su incorporación, pero casi siempre para resolver aspectos funcionales (facilidad de ejecución, resistencia al fuego, etc.) o por razones de economía. En lo relativo a la estética, los planteamientos continuaban inmutables.

De este modo, muchos arquitectos de principios de siglo XX emplearon la piedra artificial en las fachadas de sus edificios de estilo historicista, modernista o ecléctico (los mismos arquitectos recurrían indistintamente a estos distintos lenguajes, según las preferencias de sus clientes).

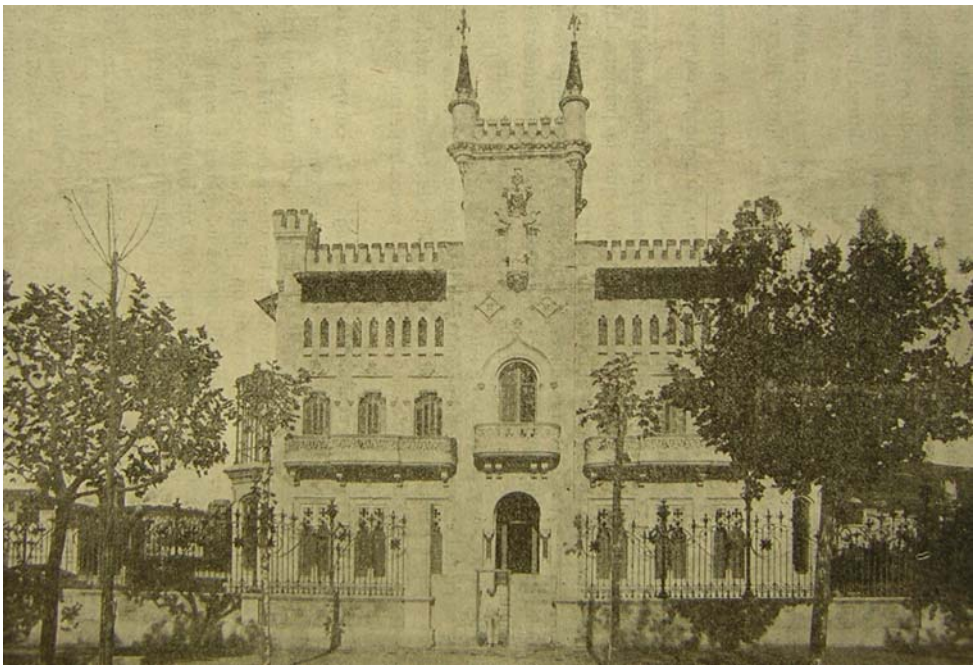


Figura 16. Casa de estilo historicista en Barcelona con fachada de piedra artificial de la casa Sucesor de B. Maurell. 1905. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Entre los nuevos materiales el papel más destacado correspondía al hierro. Como ya se ha comentado, la generalización de la estructura metálica, aunque no percibida exteriormente, en edificios importantes era un hecho en el cambio de siglo.

En España se empezó a incorporar el hierro en la arquitectura a partir de la década de 1860. Galerías y pórticos de hierro fundido aparecieron por primera vez en los patios de la Casa de la Moneda de Madrid (1861), obra de los arquitectos Mendivil y Jareño. Este ultmo volvió a utilizar elementos metálicos en su obra cumbre, el Palacio de Bibliotecas y Museos de la capital (hoy Biblioteca Nacional y Museo Arqueológico).

En Agustín de Villajos tuvo la arquitectura del hierro fundido uno de sus mejores representantes, con obras como el Circo Parish o los teatros de la Comedia y María Guerrero. También Eduardo Adaro realizó una importantísima aportación con las galerías interiores y patios del Banco de España[23].

Sin embargo, exceptuando dos tipos de edificios, las posibilidades de la estructura metálica no se aprovecharon para desarrollar una arquitectura original. Estas dos tipologías de edificios, completamente nuevas, fueron las estaciones de ferrocarril y los mercados.

En el caso de las estaciones, de las que no había precedentes, se tuvo que desarrollar una configuración completamente nueva, que respondiera a los complejos condicionamientos funcionales (cubiertas de grandes luces particularmente). La tecnología constructiva del hierro era la única que podía satisfacer estas exigencias.

Surgiría así la oportunidad de desarrollar una verdadera arquitectura del hierro pura, emancipada de la tradición edificatoria. Sin embargo, no se verificaría del todo porque al asumir

las estaciones el importante papel de representación de la ciudad, se recurrió a las formas establecidas para confeccionar una envoltura más acorde con las preferencias generales.

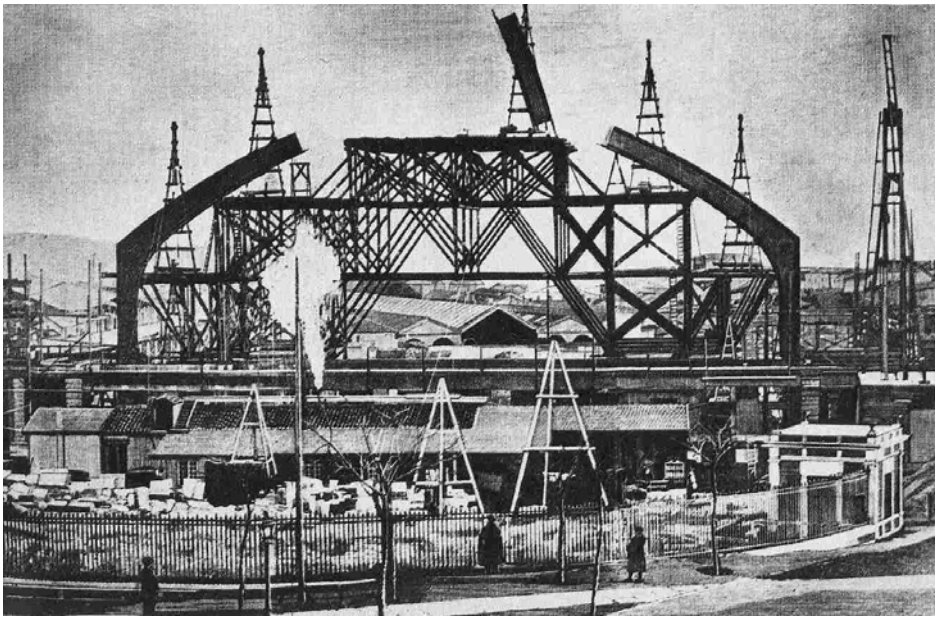


Figura 17. Construcción de la Estación de Atocha. Madrid, 1888-1892. Alberto de Palacio, arquitecto.

En cuanto a los mercados, para cuya definición pudieron servir de inspiración otros edificios (la nave longitudinal), la estructura de hierro, que permitía la organización de amplios espacios, buena iluminación cenital y, sobre todo, ventilación, se hizo insustituible[24].

Rara sería la ciudad importante que no promoviera la construcción de estos edificios de hierro, estaciones y mercados, símbolos del progreso vinculado a la Revolución Industrial. Entre los primeros en construirse, en la década de 1870, destacan el de la Cebada en Madrid y el de Atarazanas en Málaga.



Figura 18. Mercado de Atarazanas. Málaga, 1873. Joaquín Rucoba, arquitecto.

El auge de las estructuras de hierro, cuyos avances en las obras de ingeniería estaban deslumbrando al mundo de la construcción, daría lugar en el ámbito arquitectónico a ensayos tan curiosos como la Iglesia de Nuestra señora del Carmen en Manila (Filipinas). Proyectada por el ingeniero de caminos Genaro Palacios, no tenía *"aparte de los macizos de los cimientos, ningún material más que el hierro, el vidrio de los ventanales y la madera sólo en el piso".* Fue construida en Bélgica por la *Société Anonyme d'Entreprises des Travaux Publics*, montada y ajustada en sus talleres *"y después de marcadas las piezas convenientemente se desarmaba, embalaba y remitía a Manila, donde con los planos e instrucciones de D. Genero Palacios se procedía al montaje"*[25].

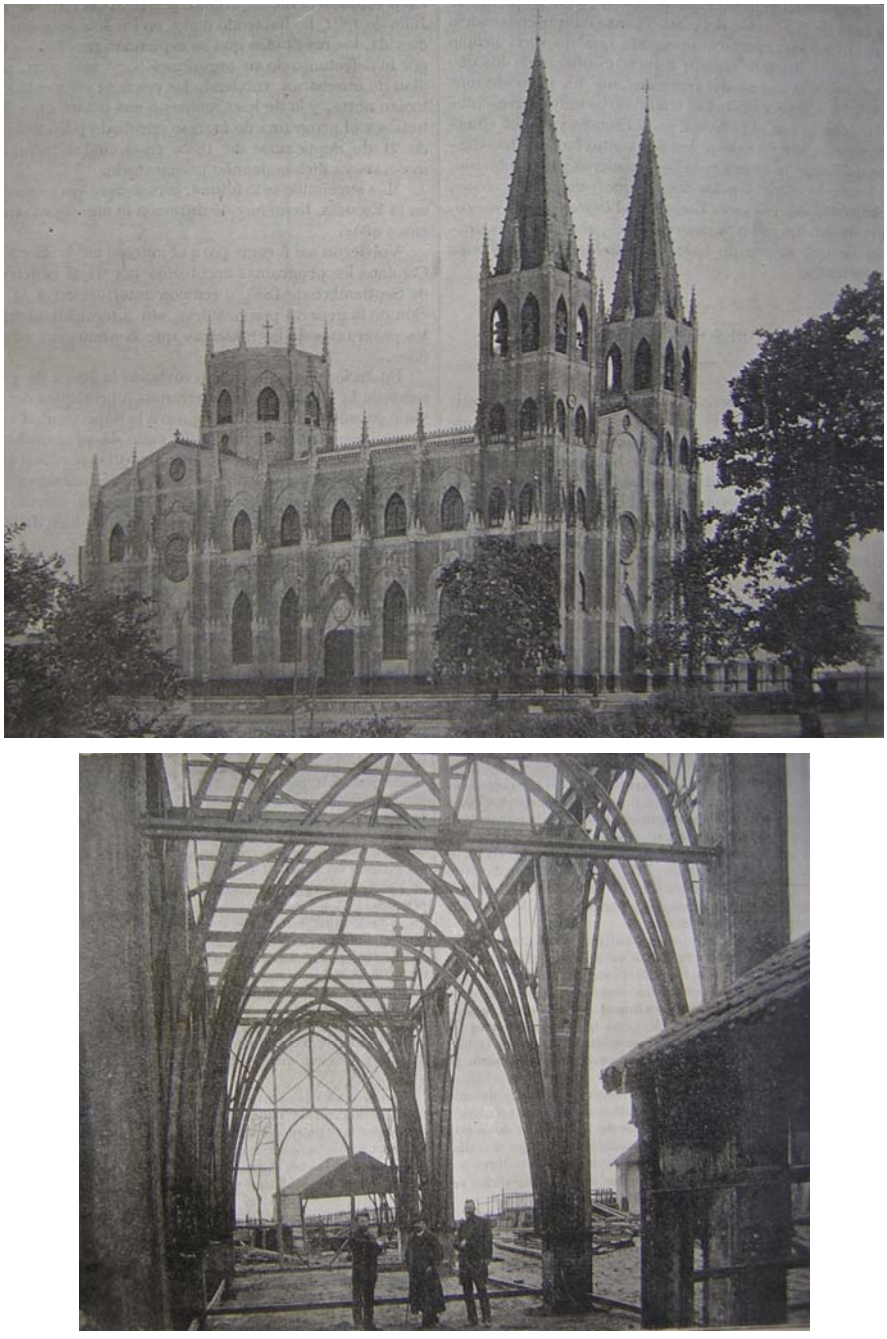


Figura 19. Iglesia de hierro de Nuestra Señora del Carmen en Manila, Filipinas (1897). Genaro Palacios, ingeniero de caminos. Arriba, vista de la iglesia terminada. Abajo, estructura montada en los talleres de la empresa constructora en Bélgica .En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Pero, con la excepción de las tipologías específicas comentadas, en arquitectura la generalización de la estructura metálica no acarrearía cambios en la apariencia de los edificios. Nada, no obstante, podría disputar al acero la primacía en las estructuras arquitectónicas en las décadas siguientes. Ni siquiera sería cuestionada con la escasez de hierro derivada de la Gran Guerra, aunque se estimulase el empleo de materiales alternativos, entre ellos el hormigón armado. Todavía en los años veinte la opinión más extendida era que *"en edificios urbanos, de planta generalmente irregular, con cargas que rara vez superan los 500 kilogramos por metro cuadrado, sujetos siempre a modificaciones den su construcción o en su ulterior destino, y donde tiene una capital importancia la diafanidad y la rapidez de ejecución, el entramado metálico resulta insustituible"*[26]. Muestra de esta pujanza podrían ser los representativos inmuebles de la nueva Gran Vía madrileña, aunque la estructura de algunos de ellos ya empezara a resolverse con hormigón armado.



Figura 20. Construcción de un edificio con entramados de pórticos metálicos. Gran Vía, Madrid. Hacia 1920.

5. Las instalaciones industriales y mineras.

La expansión del sector industrial que se vivió en estos años dio lugar a que por todo el país se levantaran modernas edificaciones para la industria. En su construcción se combinaban materiales tradicionales (fábricas, madera) con las modernas estructuras metálicas, que tenían todavía mayor protagonismo que en la arquitectura residencial.

Una de las grandes factorías levantadas a principios de siglo en Madrid, la de la Sociedad de Gasificación Industrial, puede tomarse como representativa de las características y configuración de estas construcciones. Se trataba de un gran complejo industrial, que incluía edificaciones destinadas a la fabricación propiamente dicha, oficinas, casas de obreros y otras dependencias. Así se describía en una revista de la época:

"La construcción material de todos los edificios está perfectamente en armonía con el destino a que se dedican. Los muros son todos de mampostería en los sótanos y de fábrica de ladrillo en la superestructura; habiéndose dejado en los de fachadas el ladrillo, en parte al descubierto y en parte revocado de mortero de cal, y poniéndose los vierteaguas de las ventanas, los salmeres y claves, y las cornisas de los de la fábrica con sillares de piedra artificial, construidos con hormigón de cemento y garbancillo. Las cornisas de los demás edificios son aleros de madera labrados al descubierto. Los pisos son de viguetas de acero y bovedillas de rasilla, menos en el salón de la Casa de Motores, que se han hecho con hormigón de cemento armado. Las cubiertas son de teja plana, sobre entarimado de madera, apoyado en parecillos también de madera, y estos sobre formas de armadura de acero, sistema inglés-, teniendo las casas de habitación las armaduras de madera. La decoración, aún sin terminar, será todo lo sencilla que exigen los edificios industriales"[27].

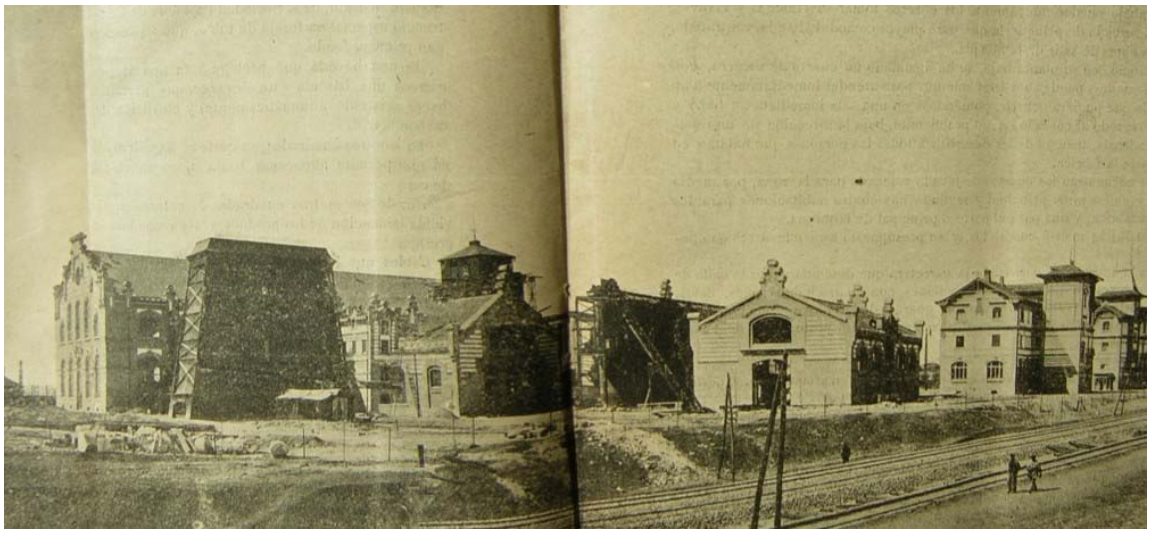


Figura 21. Factoría de la Sociedad de Gasificación Industrial en Madrid. 1905. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Otro complejo similar, el construido por la "Sociedad Catalana para el alumbrado por gas" en Barcelona en 1908, resulta todavía más espectacular. Con parecidas tipologías estructurales, su cuidada imagen exterior llega a resultar sorprendente en un edificio industrial.

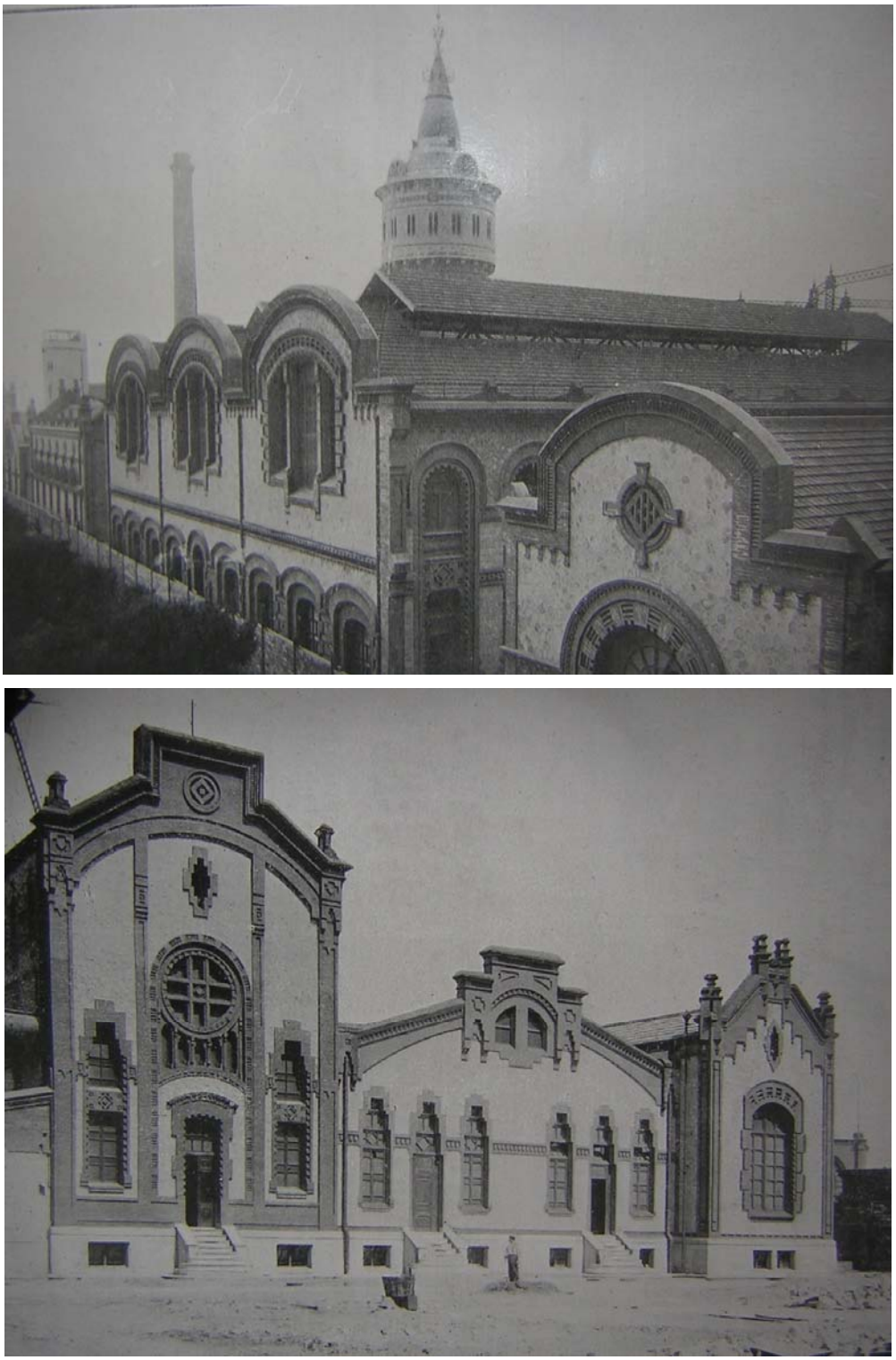


Figura 22. Complejo de instalaciones industriales de la Sociedad Catalana para el alumbrado por gas en Barcelona. 1908. José Domenech y Estapa, arquitecto. En *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Las industrias pequeñas, las más comunes, llevaban a cabo su actividad en edificaciones mucho más sencillas. En la mayoría de las ocasiones se trataba de naves de muros de ladrillo cubiertas con cerchas de madera. Gran parte del trabajo se hacía al aire libre.

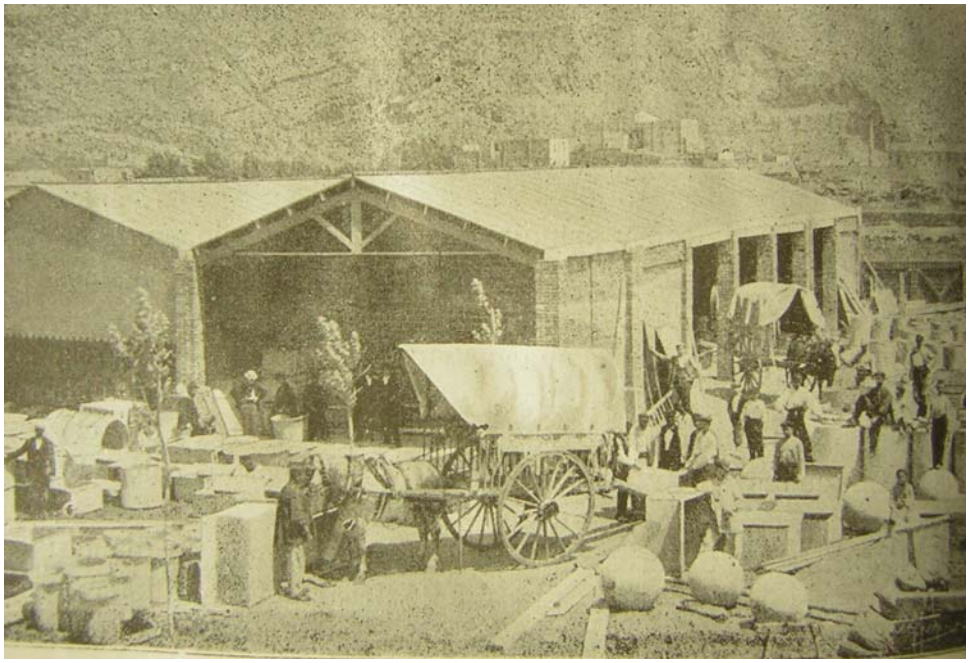


Figura 23. Fábrica de objetos prefabricados de hormigón de Claudio Durán en Barcelona. 1901. En *El Cemento Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

A pesar de los incendios desastrosos, todavía seguían haciéndose muchas de estas pequeñas fábricas con estructura de madera.

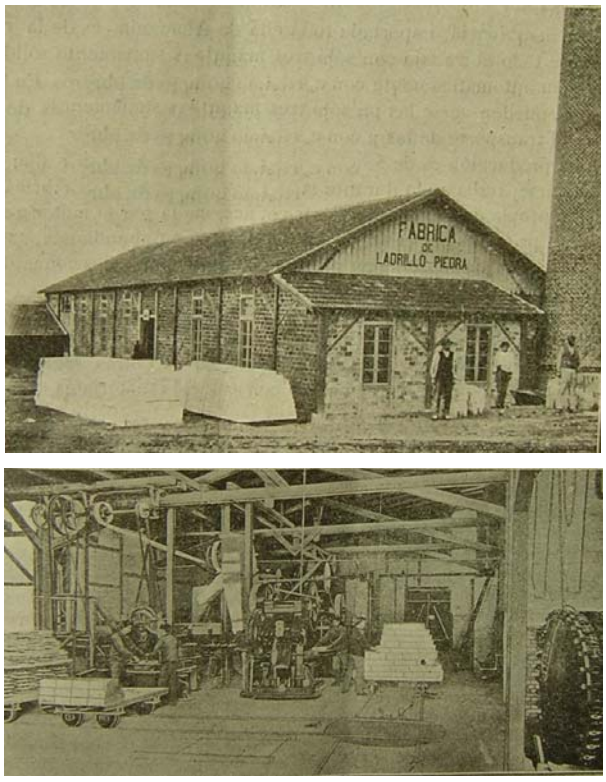


Figura 24. Fábrica *El Ladrillo-piedra*. La Coruña, 1905. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Sin embargo, la tecnología del hierro permitiría la construcción de amplias naves industriales, con sus cubiertas de grandes vanos resueltas con cerchas metálicas.

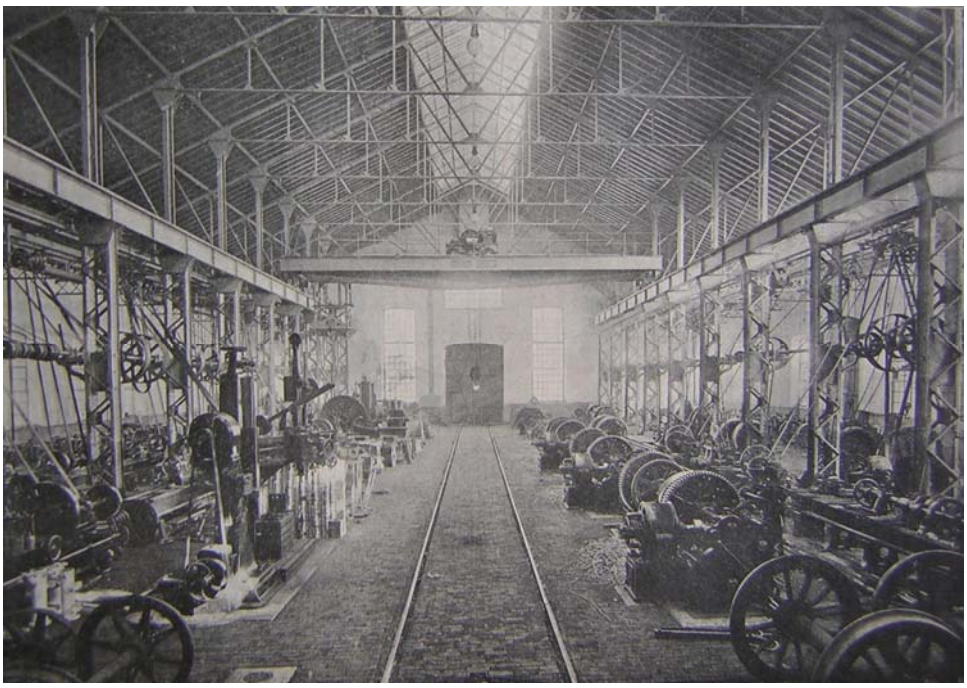


Figura 25. Nave taller de la compañía MZA en la Estación de Madrid. 1905 .En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Otra solución para grandes cubiertas, muy usada particularmente en Cataluña, sería la de la bóveda tabicada. La maestría alcanzada por los técnicos y constructores catalanes en este tipo de elementos estructurales permitiría la construcción de ejemplos tan espectaculares como la fábrica de los señores Aymerich, Amat y Jover en Tarrasa (Barcelona). La estructura de esta nave tipo "shed" fue resuelta magistralmente por el arquitecto Luis Moncunil con una combinación de bóvedas "a la catalana" y pies derechos de fundición.



Figura 26. Fábrica de los señores Aymerich, Amat y Jover en Tarrasa (Barcelona). Vista de la cubierta tipo "Shed". 1908. Luís Moncunill y Parellada, arquitecto. En *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

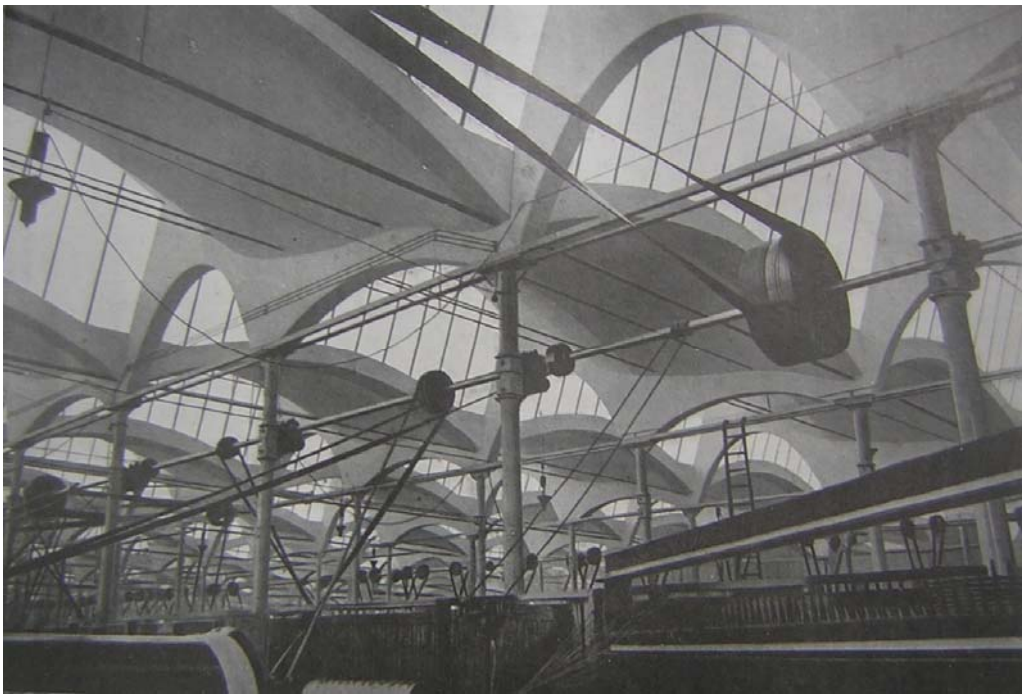


Figura 27. Fábrica de los señores Aymerich, Amat y Jover en Tarrasa (Barcelona). Estructura. 1908. Luís Moncunill y Parellada, arquitecto. En *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

La otra tipología de fábrica, la de pisos, respondía mejor a las necesidades de las industrias textiles y alimentarias. Entre ellas destacaron las harineras, establecimientos industriales ampliamente repartidos por toda la geografía nacional, y que por sus peculiaridades (vulnerabilidad a los incendios y grandes sobrecargas en forjados) se prestaron tempranamente a utilizar el hormigón armado. De hecho, los primeros edificios españoles realizados íntegramente con hormigón armado fueron fábricas de harina: la de *viuda de Ayala* en Badajoz, la *Ceres* en Bilbao o la *Giralda* en Écija.



Figura 28. Fábrica de harinas Ugalde y Cia en Rentería (Guipuzcoa).1903. Estructura de hormigón armado sistema Hennebique. Institut Français d'Architecture. Direction des Archives de France. Centre d'Archives d'Architecture du XXe siècle.

En ocasiones se conjugaban ambas configuraciones: fábricas de pisos con naves tipo “shed”. Era frecuente en las nuevas fábricas de luz.

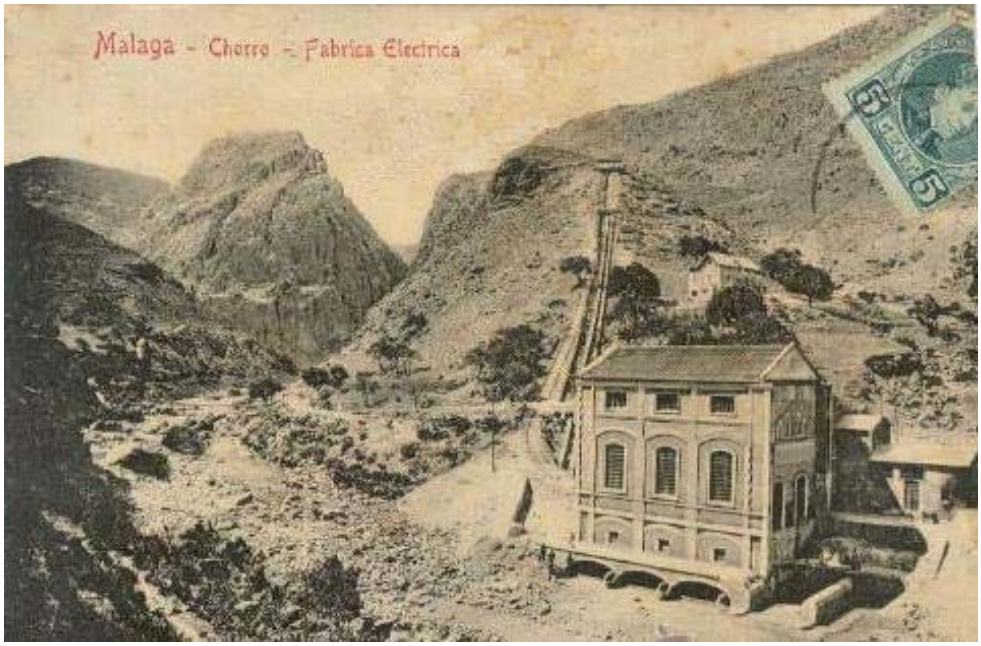


Figura 29. Central hidroeléctrica del Chorro. Conducción forzada. Ardales (Málaga). 1905.

Además de los edificios, las fábricas propiamente dichas, los establecimientos industriales incorporaban instalaciones de diversa naturaleza: depósitos, conducciones, cimentaciones especiales para maquinaria, etc. Muchos de ellos constituirían las primeras aplicaciones del hormigón armado

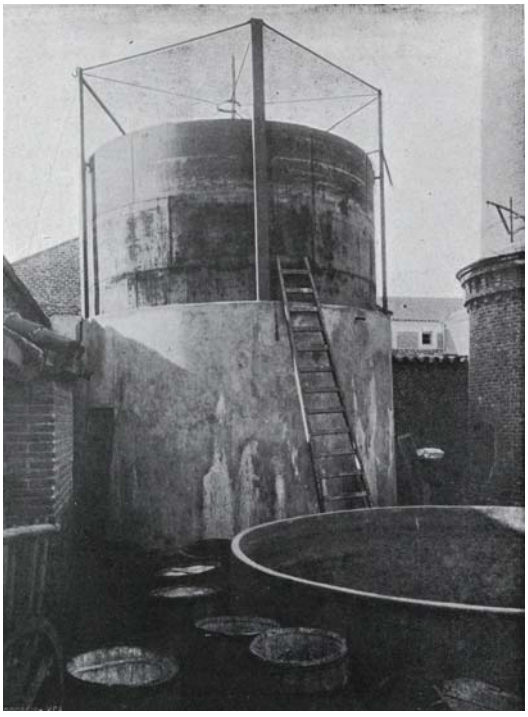


Figura 30. Depósito de gasómetro, hecho con palastro sobre basamento de cemento armado, de la Fábrica de Electricidad del Mediodía. Madrid, 1902. En Palacios, Alberto: *Le Ciment armé système Unciti*. Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Elemento característico de muchas de estas fábricas eran sus chimeneas. Normalmente eran de sección circular y casi siempre incluían algún detalle ornamental. Su ejecución, siempre con ladrillo hasta bien entrado el siglo XX, era muy compleja. Después iría poco a poco introduciéndose el hormigón armado.

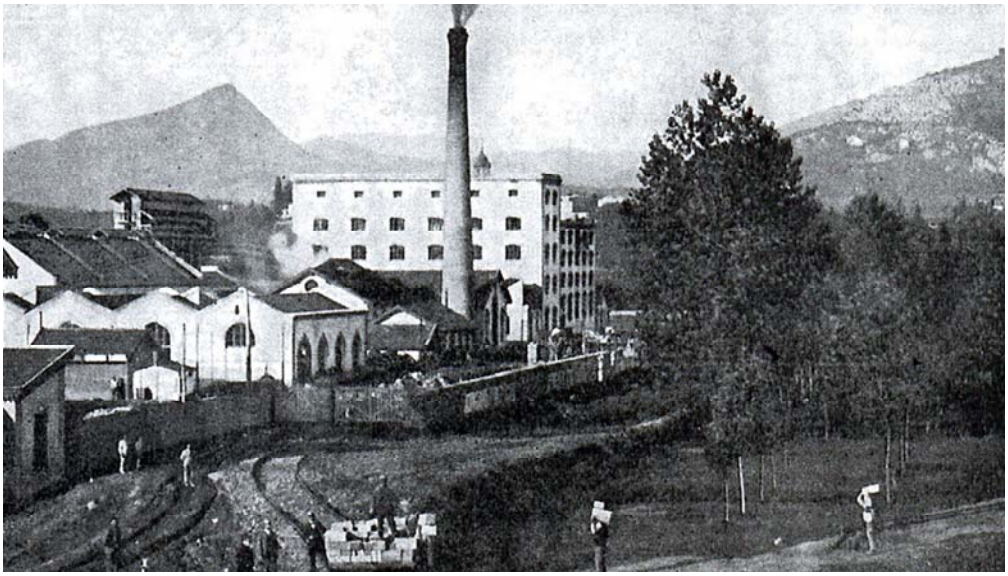


Figura 31. Fábrica de almidón Remy en Hernani (Guipuzcoa). 1902. Archivo Municipal de Hernani.

No menos complejas eran las instalaciones requeridas por la minería. Estando la mayoría de los yacimientos explotados por compañías extranjeras, la tecnología de sus construcciones fue casi siempre importada.

Aquí también el protagonismo lo tendrían las estructuras metálicas, con las que se harían los silos, cintas transportadoras, grúas, etc. No obstante, algunos elementos incorporaban también masivas estructuras de mampostería.



Figura 32. Cargadero de mineral y puente de ferrocarril de Serón (Almería).

6. Las obras públicas

A lo largo del siglo XIX la ingeniería conoció un desarrollo extraordinario. Aprovechando los grandes avances de la ciencia en general y los adelantos tecnológicos aportados por la Revolución Industrial, los ingenieros hicieron que la construcción civil evolucionara de forma asombrosa.

Con un espíritu positivo, adoptarían sin cortapisas los nuevos materiales, especialmente el hierro, para hacer las construcciones que la nueva sociedad industrial demandaba.

Terminando el siglo, a pesar de *"las tremendas pruebas a que la Providencia quiso someter a esta infortunada España […] y aún contando con la débil escala en que nuestros presupuestos y las azarosas etapas de nuestra historia"* habían permitido desarrollar las obras públicas, eran notorios los progresos realizados. La red principal de ferrocarriles *"estaba terminada, muy desarrollada la de carreteras y en vías de ejecución nuestros puertos más importantes"*[28].

La construcción de infraestructuras ferroviarias y de carretera, que había concentrado buena parte del impulso modernizador del país en la segunda mitad del siglo XIX, continuaría en las primeras décadas del XX, centrada, eso sí, en la realización de las redes secundarias.

El trazado de estas vías de comunicación implicaba la realización de muy variadas obras de ingeniería (movimientos de tierra, túneles, estaciones, etc). Entre ellas, las construcciones más destacadas eran los puentes, en los que los avances fueron espectaculares

Todavía se hacían muchos puentes, sobre todo si eran de luces reducidas, con fábrica, a la manera tradicional. En algunos incluso empezó a incorporarse el hormigón en masa. Pero de ningún modo podían competir con los magníficos puentes y viaductos metálicos, cuya construcción alcanzó por estos años su apogeo.

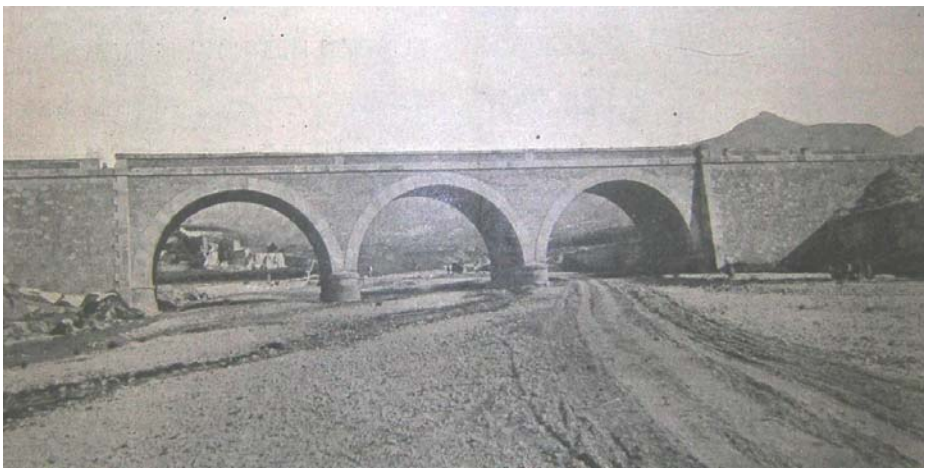


Figura 33. Puente sobre el río Chillar. Provincia de Málaga. Carretera a Almería. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



Figura 34. Puente de la línea de Ferrocarril Baza-Puerto Lumbreras en Purchena (Almería). Finales del siglo XIX.

A estas alturas los viaductos metálicos alcanzaban unas dimensiones excepcionales. Por ejemplo, en 1889 la constructora francesa Fives Lille se hizo cargo, por cuenta de la Compañía de Caminos de Hierro del Sur de España, de la construcción de la línea Linares-Almería. Inaugurada en 1899, su trazado incluía espectaculares viaductos como el del Salado.

Este puente recto formado por tres tramos de 105 metros de luz, apoyados sobre pilas de 110 metros de altura constituyó, *"por muchos conceptos, la obra metálica más importante construida en España hasta la fecha"*[29].

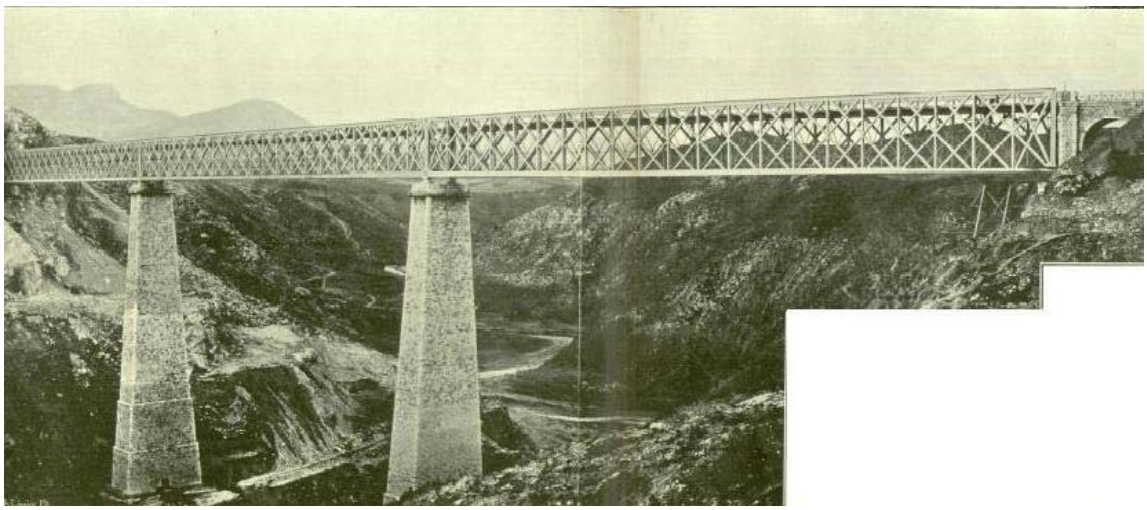


Figura 35. Viaducto del Salado. Cabra de Santo Cristo (Jaén). 1899. Fives Lille, empresa constructora. En *La Ilustración Española y Americana.*

Se contarían por centenares los puentes metálicos construidos en España en las primeras décadas del siglo XX, pudiendo encontrarlos de todas las tipologías posibles y tanto para carreteras como para ferrocarriles. Entre los genuinamente españoles el más

representativo tal vez sea el viaducto de Pino (Zamora), un arco de 120 metros de luz proyectado por José Eugenio Ribera en 1897 y terminado en 1913.



Figura 36. Construcción del Viaducto de Pino. 1913. José Eugenio Ribera, ingeniero de Caminos. En *Madrid Científico.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

El Estado hizo también un notable esfuerzo en estos años para modernizar algunos de los puertos más importantes. En los de Barcelona, Bilbao, Sevilla, Cartagena, Huelva, Alicante y Vigo se ejecutaron obras de consideración. Valga como ejemplo el nuevo dique rompeolas del puerto de Barcelona, construido con cajones flotantes de hormigón en 1905[30]

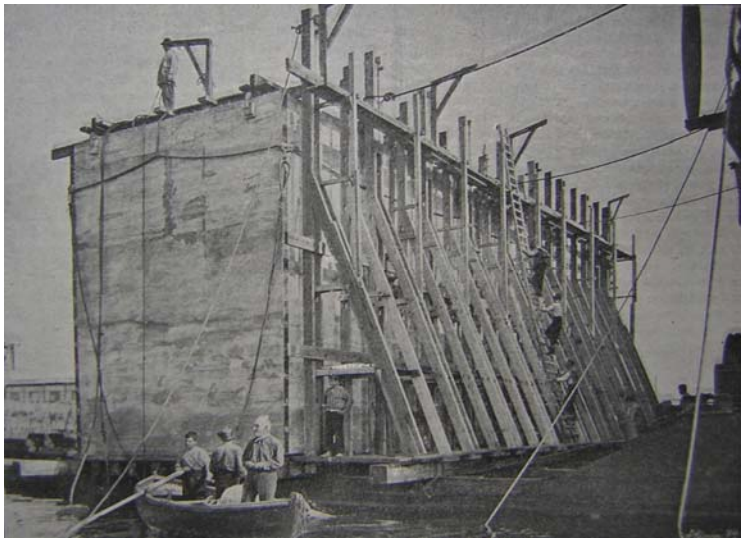


Figura 37. Cajón flotante de hormigón para el nuevo rompeolas del puerto de Barcelona. 1905. Carlos Angulo y Julio Valdés, ingenieros de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

El tercer campo de actuaciones preferentes lo constituirían las obras hidráulicas, pantanos y canales, cuyo objetivo no era otro que era poner en regadío *"las inmensas extensiones del territorio nacional que de de él son susceptibles, y en las que con desconsoladora frecuencia ve el agricultor comprometidas o perdidas las menguadas cosechas que puede rendir país como el nuestro, donde tan irregulares, por desgracia, son las lluvias"*[31].

En estos años se llevarían a la práctica proyectos tan ambiciosos como el Canal de Aragón y Cataluña (1905) o el pantano de La Peña (provincia de Huesca, 1913). Este último se formaba con una presa de gravedad de hormigón de 59 metros de altura[32].

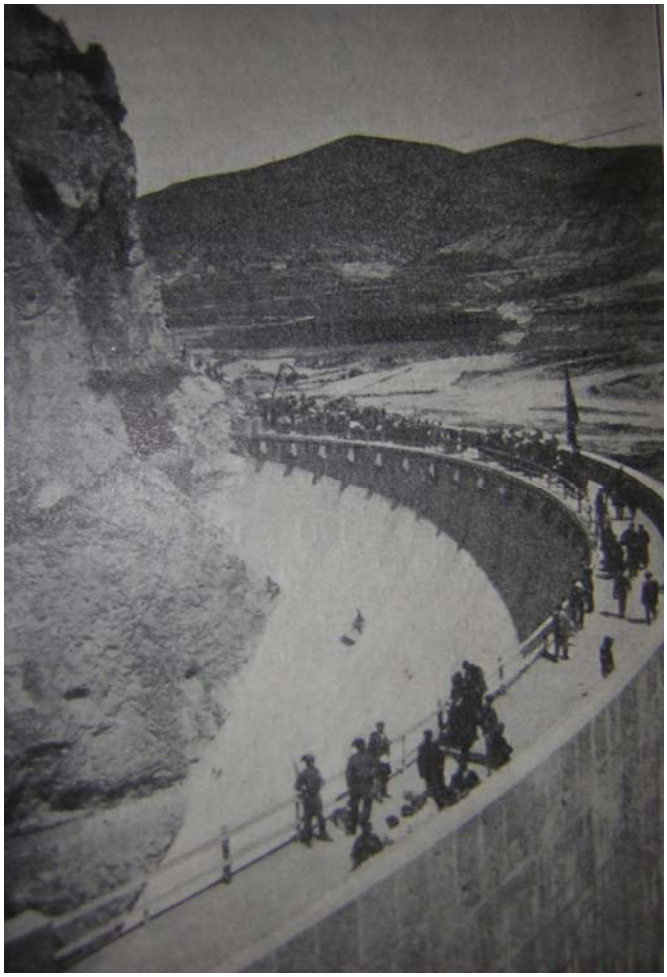


Figura 38. Presa del Pantano de la Peña (Huesca). 1910-1913. En *Madrid Científico.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Completaban las áreas preferentes de la ingeniería civil de principios de siglo los programas de ampliación y remodelación urbanística y de dotación de infraestructuras para las grandes ciudades.

El gran crecimiento urbano obligó a aumentar la capacidad de las redes de abastecimiento, teniendo que construirse nuevos depósitos. Por ejemplo, Gijón inauguró un nuevo depósito en 1903. Asimismo, muchas ciudades, como Sevilla en 1903 o Soria en 1905, se vieron obligadas a remodelar y ampliar su red de saneamiento.

La construcción de estaciones y las interferencias de las líneas de transporte con la trama urbana plantearon a menudo complejos problemas para los ingenieros. Muy representativa de este tipo de actuaciones fue la construcción del nuevo apeadero del paseo de Gracia en Barcelona (1903), que se resolvió situando la vía bajo la calle, cubierta en parte con embovedo y en parte dejándola en trinchera, ampliando las calles adyacentes con voladizos[33].

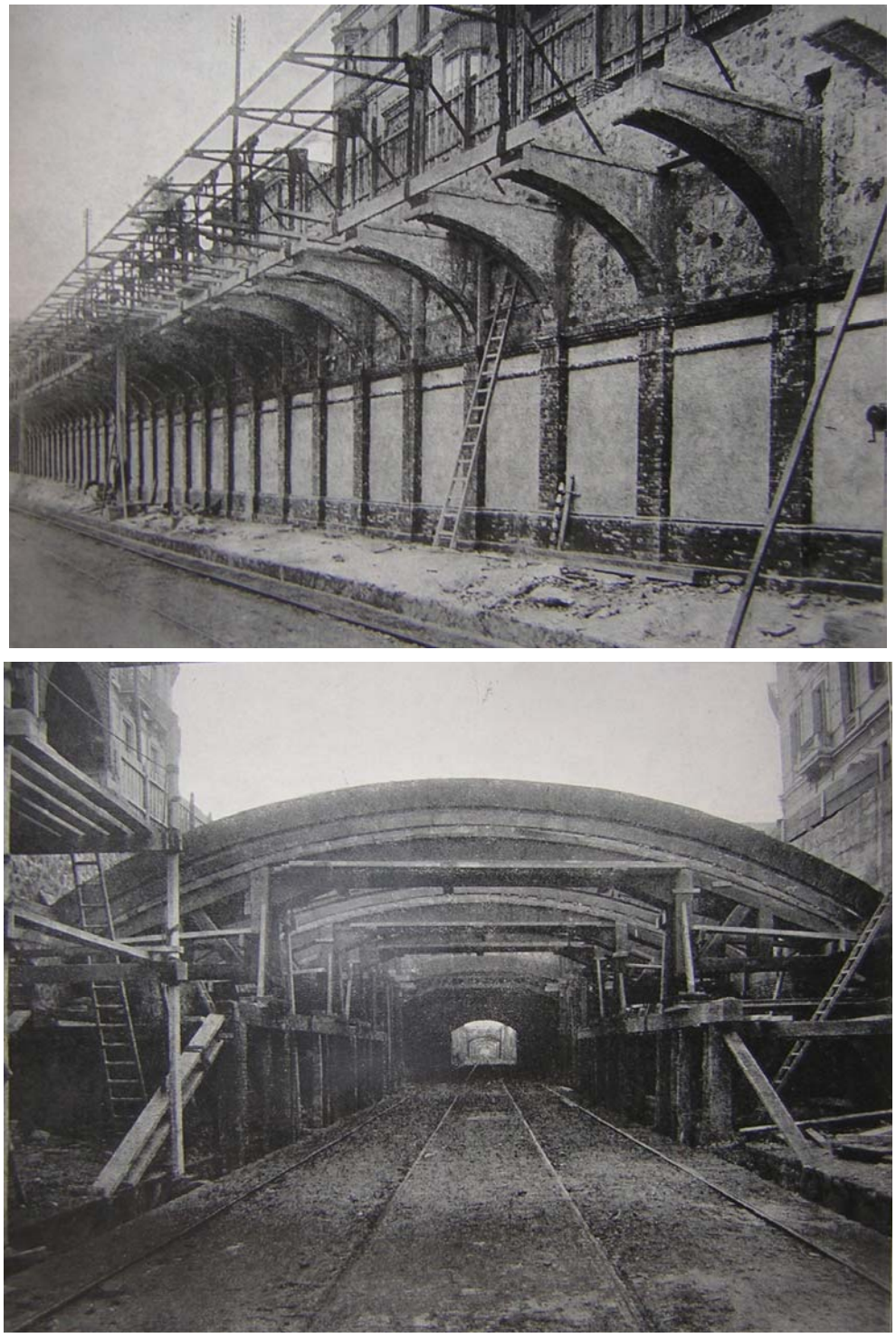


Figura 39.Construcción del nuevo apeadero del Paseo de Gracia en Barcelona. 1902. Rafael Coderch, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

7. Difusión técnica en el mundo de la construcción.

En los comienzos de la utilización del hormigón armado, los profesionales de la construcción no disponían de muchos medios para transmitirse sus conocimientos y experiencias, así como para dar a conocer las novedades y hacer publicidad de sus empresas. El más importante era la prensa especializada.

Aunque a principios del siglo XX el país presentaba unos alarmantes porcentajes de analfabetismo (en 1910 la mitad de los españoles mayores de diez años no sabían leer ni escribir) la prensa tendría en estos años un periodo de esplendor, que se prolongaría hasta bien avanzada la centuria.

Junto a una floreciente prensa de masas proliferaban las revistas especializadas en las más diversas temáticas. Relacionadas con el mundo de la construcción había muchas, ocupándose tanto de la divulgación científico-técnica como de la expresión de las inquietudes de un determinado colectivo.

Ambas finalidades se conjugaban en la *Revista de Obras Públicas,* órgano de expresión de los ingenieros de caminos. Apareció en 1853, continuando su publicación en la actualidad.



AÑO XLVI. Madrid 2 de Marzo de 1899. Número 1.223.

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Redactor-Presidente ..... Excmo. é Ilmo. Sr. D. Leonardo de Tejada, Inspector general del Cuerpo.
Redactores ..... Los Ilmos. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.
D. Luis Gutiérrez, Profesor de la Escuela de Caminos.
D. Manuel Maluquer, Ingeniero del mismo Cuerpo, Secretario.
Colaboradores ..... Todos los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

SE PUBLICA LOS JUEVES — Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9, pral.

La Industria y las Obras públicas.

DINAMOS LABOUR

Société L'Eclairage electrique.

Se construyen por la Sociedad *L'Eclairage electrique*, bipolares ó multipolares. En la bipolar los inductores son del tipo Manchester; comprenden dos carretes establecidos sobre un armazón metálico que sostiene los aisladores y piezas de conexión. Para disminuir la reacción del inducido está dividido éste por planos paralelos á las espiras. Esto permite fijar las escobillas en una posición invariable, no dependiendo del gasto de la máquina. El inducido es de anillo ó de tambor. Su núcleo ó alma está formado de palastros de poco espesor aislados y provisto de ranuras que alojan unos tirantes de bronce para sujetar á dichos palastros. Los conductores son de cable, para disminuir las corrientes Foucault. Los inductores son desmontables, lo que facilita la inspección del inducido. Este tipo de dinamo se construye hasta de 17,5 kilowatts. El voltaje normal es 110, pero puede llegar hasta 1.000.

Las dinamos multipolares (fig. 1.ª) se emplean cuando se trata de potencias mayores de 20 kilowatts. Estas máquinas se hacen de 4, 6, 8 ó 10 polos. Los núcleos ó almas de los electroimanes, de sección radial, están dispuestos, según los radios, de una corona, de corona; y para disminuir la reacción del inducido están también divididos. La corona exterior es desmontable y reune las condiciones descritas para la dinamo bipolar. El modelo

Figura 40. Una portada de la *Revista de Obras Públicas* en 1899. Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos.

Las mismas funciones representaba para los ingenieros militares el *Memorial de Ingenieros del Ejército.*



Figura 41. Cabecera del *Memorial de Ingenieros* en 1902. Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Con parecida temática, aunque sin pretender asumir la representación de un grupo de técnicos concreto, la publicación *Ingeniería* se presentaba como *"revista industrial, de minas, electricidad, obras públicas, cultivos, arquitectura, economía, ciencias y arte".* Estuvo a la venta entre 1905 y 1933.

Aunque con vocación expresa de divulgación de la ciencia, *Madrid Científico* también se ocupaba ampliamente de los asuntos de la construcción.



Figura 42. Cabecera de la revista *Madrid Científico* en 1913. Biblioteca Nacional de España.

Los arquitectos también contaron con sus propias revistas. *Arquitectura y Construcción* ponía mayor énfasis en los aspectos artísticos de la creación arquitectónica (aunque también incluía una crónica industrial), mientras que otras publicaciones, como el *Anuario de la*

Sociedad de Arquitectos de Cataluña se ocupaban principalmente de temas corporativos. La revista del colegio nacional de arquitectos conocería distintas cabeceras hasta que en los años 1920 se reorganizara con el nombre de *Arquitectura.*



Figura 43. Cabecera de la revista *Arquitectura y Construcción* en 1902. Hemeroteca Municipal de Madrid.

Durante el primer tercio de siglo La revista quincenal *La Construcción Moderna* consiguió integrar con éxito contenidos de arquitectura e ingeniería. Su impulsor, el ingeniero militar Eduardo Gallego Ramos, llevó a cabo una importantísima labor de difusión de las nuevas técnicas de construcción.



Figura 44. Cabecera de la revista *La Construcción Moderna* en 1909. Hemeroteca Municipal de Madrid.

La mayoría de estas revistas estaban dirigidas a los técnicos más cualificados. Junto a ellas se publicaron algunos manuales o tratados dirigidos a profesionales con menor instrucción.

Desde mediados del siglo XIX algunos técnicos hicieron notables esfuerzos por compendiar en tratados los principales conocimientos del mundo de la construcción. El pionero de estas publicaciones generalistas sería el ingeniero militar Nicolás Valdés, que en 1870

publicaría su extenso *Manual del Ingeniero y del Arquitecto*, presentado por el propio autor como un *"resumen de la mayor parte de los conocimientos elementales y de aplicación en las profesiones de ingeniero y arquitecto".*

José Antonio Rebolledo, ingeniero de caminos, fue otro notable divulgador de la materia. Su tratado *Construcción General*, publicado en 1875, tal vez sea el de mayor calidad técnica.

De contenido amplio, aunque sin por ello adolecer de rigor, estaba *El Constructor Moderno,* escrito por el ingeniero militar Mariano Rubio y Bellvé hacia 1880. Orientado más bien acia profesionales de menor cualificación, se presentaba como *"el más completo y metódico manual que se ha publicado en España y el extranjero; utilísimo a los arquitectos, maestros de obras, contratistas, constructores y principalmente a los albañiles y propietarios de casas".* Pretendía abarcar *"la enseñanza más vasta del difícil arte de edificar, desde la operación más sencilla hasta la más complicada y monumental construcción, el estudio de los materiales de obras, sus cualidades y defectos, la manera de mejorarlos; los precios, gastos, jornales y salarios; las ordenanzas municipales que rigen sobre la edificación y todos aquellos datos y nociones que puedan resolver las dificultades que se presenten antes, después o en el tiempo de erigir los edificios"*[34].

En 1898 vería la luz el *Tratado de Construcción Civil* de Florencio Ger y López, Maestro de Obras y Ayudante de Obras Públicas. Se trataba de una obra eminentemente práctica, que acumulaba *"una infinidad de reglas empíricas de mucha utilidad para los constructores, y sobre todo un caudal abundantísimo de detalles que generalmente se omiten en otras obras de esta clase"*[35].

Junto con los manuales y la prensa especializada, el tercer canal de divulgación de que disponían los profesionales de la construcción eran las exposiciones.

Mediante Real Decreto de 30 de marzo de 1826, se dispuso la celebración en Madrid, el día de San Fernando del año siguiente, de una "*exposición pública de los productos de la industria española*". Su objeto no era otro que *"acelerar los progresos de las artes y fábricas por medio de una noble emulación, facilitando al mismo tiempo sus adelantos, a fin de que sean más conocidos y apreciados del público"*[36].

Los resultados debieron satisfacer a los organizadores, decretándose su realización cada tres años (R.D. de 5 de septiembre de 1827). La segunda se celebraría en 1828 y la tercera se convocaría para 1831[37].

Sin embargo, ahí quedarían interrumpidas, no reanudándose su celebración hasta 1841. La convocatoria se repetiría en 1845 y 1850. Esta última nacería con grandes aspiraciones, incluyéndose expresamente en sus bases el fomento de la investigación para aprovechar los recursos del país y crear productos a bajo precio para satisfacer las necesidades de las clases menos acomodadas[38].

Sin embargo, los buenos augurios que acompañaban a la exposición de 1850 quedarían únicamente en deseos. La convocatoria no se repetiría hasta veintiún años después, y con mucha menor trascendencia[39].

Mientras tanto, las principales ciudades industriales fueron organizando por su cuenta muestras de la industria propia. Así, en 1848 tendría lugar una de las primeras en Málaga, donde destacaron los productos de su por entonces floreciente industria del hierro[40].

A partir de 1871, con la celebración de la "Exposición General Catalana" sería la ciudad de Barcelona la que convocara los certámenes con mayor significación.

Más adelante, la capital catalana organizaría la más importante de las muestras celebradas en España, la Exposición Universal de 1888. Sin alcanzar la repercusión de las organizadas en Londres (1851 y 1862) o París (1867 y 1878), la de Barcelona lograría cierta resonancia, logrando reunir, al menos, una amplia representación de la industria nacional.

A ella concurrieron por primera vez industrias del cemento y sus derivados, principalmente empresas especializadas en mosaicos hidráulicos: Rafael Mumbrú, Orsola Sola y Escofet Fortuny, todas ellas de Barcelona.

Cuatro años más tarde, los avances de esta nueva industria de los derivados del cemento se mostrarían en la Exposición de Industrias Artísticas, celebrada asimismo en Barcelona[41].

La trascendencia que la Gran Exposición de París de 1900 tendría para el hormigón armado, movió a muchos de sus pioneros a participar en las diversas muestras organizadas por toda la geografía nacional. Así lo haría Ricardo Martínez Unciti en la Internacional y Universal de Madrid de 1903. Convocada con tan altas expectativas, no lograría ni convocar a demasiados participantes ni animar al público. La instalación de Martínez Unciti, donde mostró tanto su sistema de construcción como sus objetos prefabricados de hormigón armado, sería *"la única nota saliente en ella"*[42].



Figura 45. Pabellón del cemento armado sistema Unciti en la Exposición Internacional de Madrid de 1903. Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

No sería la primera vez que el hormigón armado apareciera en una exposición española. Cuatro años antes, José Eugenio Ribera había mostrado sus primeros trabajos con gran lujo de detalles en la Exposición Regional de Gijón. Sería precisamente uno de sus primeros puentes *"una de las novedades que más curiosidad despertó en la Exposición".* Todavía ligado a la casa Hennebique, Ribera estuvo presente en este certamen con un puesto de *"libros, proyectos y modelos de obras [..] y una numerosa colección de fotografías"*, que fue distinguido con una medalla de oro[43] .

También conseguiría una extraordinaria repercusión la empresa Asland, uno de los más importantes fabricantes nacionales de cemento, con su presencia en la Exposición Hispano-Francesa de Zaragoza de 1908. Su instalación sería una de las más admiradas de la muestra, atrayendo la atención de sus muchos visitantes. Entre ellos el monarca, que, cuando visitó la Exposición, se detuvo ante ella *"enalteciendo el poderoso esfuerzo hecho por esta importante empresa hasta conseguir que su portland «Asland» batiera el record de los cementos nacionales y extranjeros"*. Alfonso XIII hizo *"varias preguntas al delegado representante general de la compañía, Sr. Serrate, quien con gran inteligencia aprovechó la ocasión para llamar la atención del Monarca acerca de varios puntos que interesan a la industria nacional de cementos, prometiendo el Monarca tenerlos en cuenta"*[44].



Figura 46. Pabellón del cemento Asland en la Exposición Hispano Francesa de Zaragoza. 1908. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

También constituiría un buen escaparate para el hormigón armado la Exposición Regional Valenciana de 1909. En varias de sus construcciones más destacadas se utilizó el nuevo material, entre ellas un puente de tramos rectos[45], realizado por la empresa catalana Construcciones y Pavimentos.



Figura 47. Vista general de la Exposición Regional Valenciana de 1909. En *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.



Figura 47. Puente de la Exposición Regional Valenciana de 1909. Construcciones y Pavimentos, proyecto y construcción. En el *Anuario de la Asociación de arquitectos de Cataluña.* Biblioteca Nacional de España.

NOTAS AL CAPÍTULO SEGUNDO

[1] Sánchez Marroyo, Fernando: *La España del siglo XX. Economía, demografía y sociedad*. Madrid, Ediciones Istmo, 2003. p. 31.

[2] Alcaide, J. y otros: España, *Economía: ante el siglo XXI.* Madrid, Espasa, 1999. p. 466.

[3] Sobrino Simal, Julián: *Arquitectura industrial en España.* Madrid, Cátedra, 1996.p.188

[4] Fernández Ordoñez, José Antonio: "J.Eugenio Ribera y el origen del hormigón armado en España". En *Revista de construcción,* nº145. Madrid, 1982.

[5] Bonet Correa, Antonio; Lorenzo Fornies, Soledad; y Miranda Regojo, Fátima: *La polémica ingenieros-arquitectos en España, siglo XIX.* Madrid, Ediciones Turner, 1985. p.31.

[6] Bravo Nieto, Antonio: *La construcción de una ciudad europea en el contexto norteafricano: arquitectos e ingenieros en la Melilla contemporánea*. Melilla, Servicio de publicaciones de la Ciudad Autónoma de Melilla, 1996. p.175

[7] Real Orden de 28 de septiembre de 1845.

[8] Sáenz Ridruejo, Fernando: *Ingenieros de caminos del siglo XIX.* Madrid, Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1990. p.1.

[9] Bonet Correa, Antonio; Lorenzo Fornies, Soledad; y Miranda Regojo, Fátima: *La polémica ingenieros-arquitectos en España, siglo XIX.* Obra citada, p.27.

[10] Alonso Viguera, José María: *La Ingeniería Industrial Española en el siglo XIX.* Madrid, Sección de publicaciones de la ETS de ingenieros industriales de Madrid, 1961. p. p. 15-19.

[11] Real Orden de 20 de noviembre de1867

[12] Nacente, Francisco; y Rubio y Bellvé, Mariano: *El constructor moderno.* Barcelona, Jaime Solá-Sagalés Editor, 1886. p.p. 35-39.

[13] Urrutia, Ángel: *Arquitectura Española, siglo XX.* Madrid, Cátedra, 1997.p.26.

[14] Nacente, Francisco; y Rubio y Bellvé, Mariano: *El constructor moderno.* Obra citada. p.p.. 151-152.

[15] Valdés, Nicolás: *Manual del ingeniero y arquitecto.* Madrid, Establecimiento Tipográfico de Gabriel Alhambra, 1870. p.787.

[16] Valdés, Nicolás: *Manual del ingeniero y arquitecto.* Obra citada. p.788.

[17] Nacente, Francisco; y Rubio y Bellvé, Mariano: *El constructor moderno.* Obra citada. p.p.. 163-165.

[18] Ger y López, Florencio: *Tratado de construcción civil*. Badajoz, Establecimiento tipográfico "La Minerva Extremeña", 1898. p.p. 319-333.

[19] Ger y López, Florencio: *Tratado de construcción civil*. Obra citada, p.160.

[20] Rebolledo, José Antonio: *Manual del Constructor.* Madrid, Sáenz de Jubera, Hermanos, Editores, 1893. p.101

[21] Sociedad Anónima Internacional de construcciones y de contratas de obras públicas de Brain-le-Comte (Bélgica):"Sistema de construcción de hierro y mampostería con muros huecos", patente española de 10 de marzo de 1888. archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

[22] Urrutia, Ángel: *Arquitectura Española, siglo XX.* Obra citada, p.40.

[23] Chueca Goitia, Fernando: *Historia de la arquitectura occidental. Tomo V. El siglo XX, de la Revolución Industrial al Racionalismo.* Madrid, Editorial Dossat, 1981. p.p. 39-41.

[24] Hernando, Javier: *Arquitectura en España, 1770-1900.* Madrid, Cátedra, 1989. p.p.324-347.

[25] "Iglesia de hierro de Nuestra Señora del Carmen (Manila)", en la *Revista de Obras Públicas.* Año XLIV, número 1115. Madrid, 4 de febrero de 1897.

[26] Máximo, Celso: "Los entramados metálicos y los de hormigón", en *Arquitectura.* Año IV, nº 44, diciembre de 1922.

[27] Sainz de los Terreros, Luís: "Edificios de la Sociedad de Gasificación Industrial en Madrid", en *La Construcción Moderna.* Año III, número 7. Madrid, 15 de abril de 1905.

[28] "Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Sus proyectos", en la *Revista de Obras Públicas.* Número extraordinario en conmemoración del centenario del cuerpo. Madrid, 12 de junio de 1899.

[29] "Gran Viaducto sobre el Salado, de la línea de Linares a Almería", en la *Revista de Obras Públicas.* Año XLVI, número 1215. Madrid, 5 de enero de 1899.

[30] Angulo, Carlos y Valdés, Julio: "Puerto de Barcelona. Construcción del nuevo rompeolas", en la *Revista de Obras Públicas.* Año LIII, número 1563. Madrid, 7 de septiembre de 1905.

[31] "Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Sus proyectos", en la *Revista de Obras Públicas.* Número extraordinario en conmemoración del centenario del cuerpo. Madrid, 12 de junio de 1899.

[32] "El Pantano de la Peña", en *Madrid Científico*. Año XX, nº 782. Madrid, 25 de julio de 1913.

[33] Coderch, Rafael: "Estación-Apeadero del Paseo de Gracia en Barcelona", en la *Revista de Obras Públicas.* Año L, número 1390. Madrid, 15 de mayo de 1902.

[34] Nacente, Francisco; y Rubio y Bellvé, Mariano: *El constructor moderno.* Obra citada. portada.

[35] "Bibliografía", en la *Revista de Obras Públicas.* Año XLV, número 1179. Madrid, 28 de abril de 1898.

[36] "Real Decreto mandando que se haga una exposición pública de los productos de la industria española en el día de S. Fernando del año próximo de 1827". *Gazeta de Madrid*. Número 41, martes 4 de abril de 1826.

[37] "Decreto aprobando S.M. la instrucción que sigue sobre la exposición de los productos de la industria española". *Gazeta de Madrid*. Número 74, sábado 19 de junio de 1830.

[38] Circular del Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas. *Gazeta de Madrid*. Número 5753, miércoles 1 de mayo de 1850.

[39] Pitarch, Antonio José y de Dalmases Balañá, Nuria: *Arte e Industria en España, 1774-1907.* Barcelona, Editorial Blume, 1982. p. 168.

[40] Circular del Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas. *Gazeta de Madrid*. Número 5370, domingo 27 de mayo de 1849.

[41] Pitarch, Antonio José y de Dalmases Balañá, Nuria: *Arte e Industria en España, 1774-1907.* Obra citada p.p. 175-181.

[42] "Exposición Internacional y Universal de 1903 en Madrid", en *El Cemento Armado.* Año III, número 4. Madrid, abril de 1903.

[43] "Un puente de hormigón armado", en la *Revista de Obras Públicas.* Año XLVI, número 1262. Madrid, 30 de noviembre de 1899.

[44] "Exposición Hispano-Francesa de Zaragoza", en la *Revista de Obras Públicas.* Año LVI, número 1711. Madrid, 9 de julio de 1908.

[45] "Exposición Regional Valenciana", en *Arquitectura y Construcción.* Año XII, 1909.

CAPÍTULO TERCERO:

LOS INICIOS DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

Y SUS DERIVADOS EN ESPAÑA

1. El cemento natural en España.

De ser ciertas algunas crónicas históricas, las construcciones de tierra aglomerada se remontan en nuestro país al periodo prerromano. Según los antiguos historiadores, al llegar a Hispania, los romanos quedaron sorprendidos del uso que los naturales hacían de la tierra en sus fortificaciones y edificios.

Ya se ha comentado la gran profusión con que los constructores romanos utilizaron el hormigón, lo cual sólo sería posible con la explotación generalizada de la de cal

Durante la Edad Media la técnica del tapial era de uso común, especialmente en los dominios de la España Musulmana. El empleo en la construcción de materiales térreos aglomerados con diferentes cales se mantuvo durante toda la Edad Moderna. Al comenzar el siglo XIX la utilización del adobe y del tapial estaba muy extendida por toda la Península, haciendo una competencia nada desdeñable a la piedra y, sobre todo, al ladrillo, el material de construcción más usado. De esta forma, España era uno de los países con más tradición en la explotación y utilización de cal.

Los hornos de cal eran una de las industrias más populares, siendo poco frecuentes, sobre todo en las zonas donde escaseaba la piedra de calidad, las poblaciones que no contaran con su propia calera.



Figura 1. Antiguo horno de cal y cementos naturales en Purchena (Almería).

La cal se obtenía *"exponiendo las piedras calizas a un fuerte calor"*, operación que se llevaba a cabo en rudimentarios hornos, utilizados indistintamente también para fabricar ladrillos. Comúnmente se formaban con *"cuatro paredes que se cortan en ángulo recto [..], hechas con ladrillos secos y sin cocer, unidos por un mortero de arcilla, por ser materiales que resisten bien a la acción del fuego".*

La calcinación exigía una cuidadosa disposición de las piedras calizas dentro del horno, que comenzaba "eligiendo las de mayor tamaño para voltear con ellas los arcos en claraboya que cubren el hogar, y colocando sobre estos arcos las demás piedras puestas de canto, para que los huecos que dejan proporcionen buen tiro a la llama, teniendo cuidado de situar las mayores cerca del hogar y en la parte central del horno, donde es más intenso el calor" [1]. Tras enfriarla se procedía a la molienda, para la cual se utilizaban a menudo molinos hidráulicos.

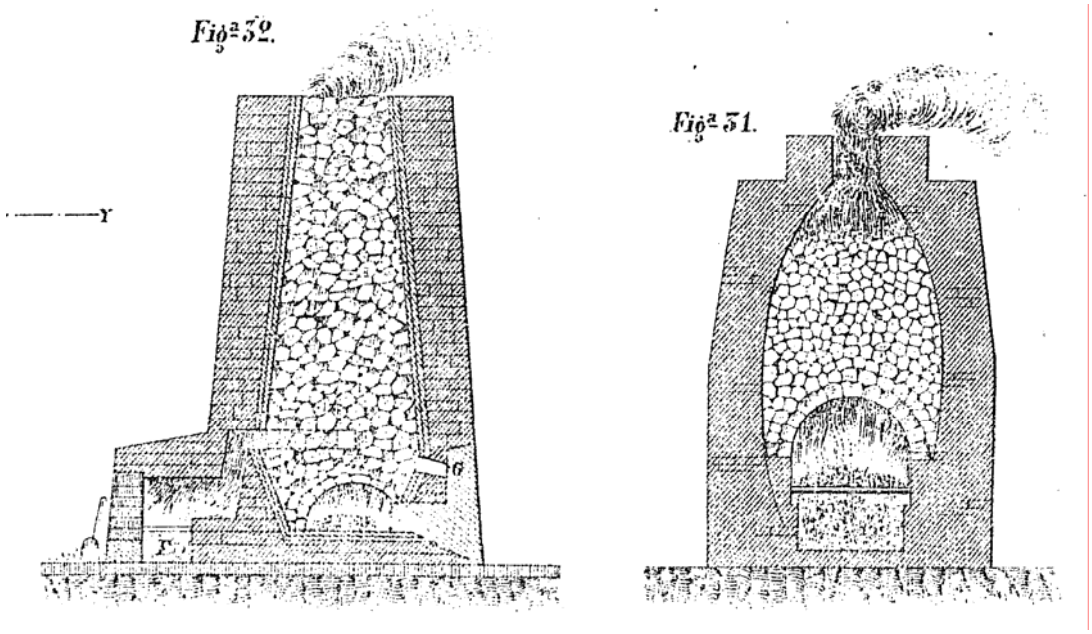


Figura 2. Hornos de cal según el tratado *Materiales de Construcción* de Manuel Pardo. 1891. Biblioteca de la Universidad de Granada.

Mezclando cal común, arena y piedras de distinto tamaño se formaban morteros, tapiales y rudimentarios hormigones, con usos muy variados en la construcción. Sin embargo, con cal común no se podía conseguir que estos materiales fraguasen bajo el agua.

No obstante, había lugares donde se producían unas cales especiales, que sí tenían esta propiedad en mayor o menor grado. Eran las cales hidráulicas, que debían esta cualidad a que la roca caliza incorporaba de forma natural cierta proporción de arcilla.

Había bastante tradición en el empleo de estas cales hidráulicas, estando localizados algunos yacimientos en los que se extraían desde muy antiguo. Sin embargo, los problemas de transporte y comunicaciones hacían que rara vez su empleo traspasara los límites de la comarca donde se localizaba la explotación.

El estudio técnico de las cales hidráulicas y cementos naturales no comenzaría hasta los años 1830-40, pero de forma totalmente empírica se conocían las cualidades de estos materiales, a los que genéricamente se denominaba cales y "tierras" especiales.

Así sucedía, por ejemplo, con *"ciertas piedras y tierras volcanizadas que se hallan en la villa de Olot y en sus alrededores",* estudiadas por Antonio Celles y Azcona. Manifestaba este ilustre arquitecto, director de una primitiva escuela de arquitectura en Barcelona, en un escrito publicado en 1820 que aunque los vecinos de Olot se servían de ellas para la construcción de sus edificios, no se había *"generalizado su uso para ciertas obras y singularmente para todas las hidráulicas por no haber hecho análisis ni comparaciones entre sí ni con otros materiales; siendo aún más sensible el no haber generalizado el uso de dichas tierras volcanizadas que a poco coste pueden transportarse a todos los países inmediatos a la costa de mar donde se hacen obras hidráulicas"*[2] .

De los años que pasó en Roma como pensionado conocía bien Don Antonio las construcciones de hormigón romanas y el empleo de puzolanas como aglomerante. Habiéndose desplazado en comisión a la villa de Olot, observó que sus naturales mezclaban con cal cierta tierra, a la que llamaban *"greda"*, formando un mortero de gran dureza y que *"llegaba a petrificarse en las obras hidráulicas".* Así mismo, construían bóvedas y tabiques con una especie de hormigón constituido por piedras volcánicas porosas aglomeradas con una mezcla de *"greda" y yeso.* Finalmente concluía que estos materiales tenían "*las mismas propiedades que las puzolanas que nos transportan del extranjero para la construcción de nuestras obras hidráulicas";* proponiendo en consecuencia su explotación a gran escala para abastecer a las obras de nuestro país.

Sin embargo, a pesar de sus bien encaminadas intenciones, ningún empresario se interesaría por explotar estos materiales, quedando limitada su utilización a la villa de Olot y sus alrededores.

A mediados de siglo, con la difusión de los trabajos de Vicat empezó a hablarse de "cementos naturales", que no eran otra cosa que las cales hidráulicas de mayor calidad.

La explotación industrial del cemento natural en España comenzaría a mediados del siglo XIX, localizándose principalmente en la provincia de Guipúzcoa. De ella saldrían algunas de las cales hidráulicas o cementos naturales con mayor aceptación, como la de Zumaya.

La fabricación de cemento en esta villa costera guipuzcoana comenzó en el año 1838, en plena primera guerra carlista, *"empleándose como materiales piedra de Ibañaberrieta y lignito del monte Erchina".*

La calcinación se efectuaba en pequeños hornos construidos al pie de las canteras, triturándose el producto en antiguas ferrerías movidas por ingenios hidráulicos. La producción que se podía conseguir de esta forma era muy limitada, pero a pesar de ello la excelente

calidad del cemento hizo que su uso fuera extendiéndose no sólo en España, sino también en muchos puntos del extranjero.

La primera fábrica con instalaciones modernas fue la fundada en 1852 por Eusebio Gurruchaga. Años más tarde, el ingeniero de caminos Manuel Pardo, autor de un importante tratado de materiales de construcción, la destacaría como la de mayor calidad. Al parecer, sus productos llegaron a ser analizados por Vicat[3]. No tardarían en seguir su ejemplo otros industriales como José María Corta.

Entre las primeras cementeras de Zumaya también se contaba la de Olaizola y Compañía, que se instaló en el valle de Oiquina *"tan pronto como se inició el movimiento industrial de la fabricación del cemento natural de fraguado rápido, hacia los años de 1850 a 1855"*. Llegaría a ser una de las más importantes, consiguiendo la acreditación como *"Proveedora de los Gobiernos Español y Francés, de los Ferrocarriles, de los Ingenieros, de la Marina y de las grandes Administraciones"*[4].

Efectivamente, los cementos guipuzcoanos eran bien conocidos en el país vecino. Así, en las experiencias que, por encargo de Napoleón III, realizó François Coignet en 1859 en el puerto de San Juan de Luz, se utilizó, entre otros, *"el cemento de España, que se suministra habitualmente en las obras de San Juan de Luz y Bayona"*[5].

Entre 1868 y 1901 se sumarían otras seis compañías: Olave, Echeverría, Aranguren Uriarte-Zubimendi, y Gracian Alberdi, alcanzando entre todas ellas en 1901 una producción de 86.000 toneladas[6].

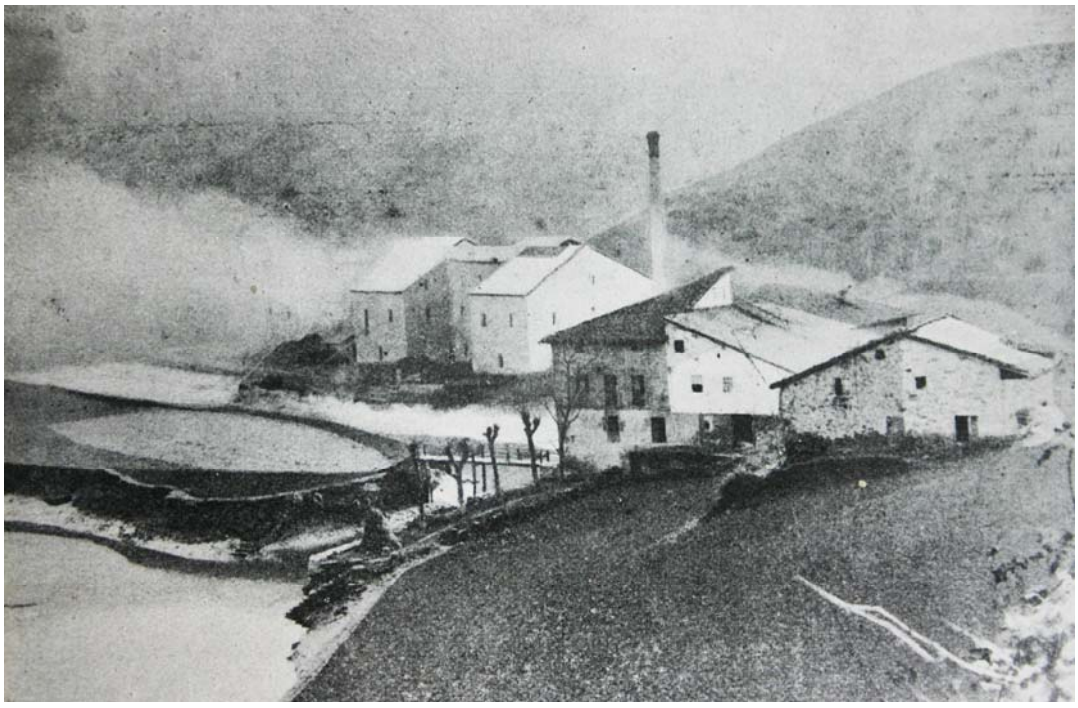


Figura 3. Fábrica de cemento natural Uriarte, Zubimendi y Cia en Bedua (Zumaya) a principios del siglo XX. En Geografía General del País Vasco –Navarro, de Serapio Múgica. Instituto Geográfico Vasco "Andrés de Urbaneta". www.ingeba.org

DEPÓSITO DE CEMENTO NATURAL DE ZUMAYA

· DIPLOMA DE VIENA 1873 ·

MEDALLA DE ORO EN LA ESPOSICION DE MATANZAS ISLA DE CUBA

PARIS 1878



MEDALLA DE ORO EN LA ESPOSICION DE MATANZAS ISLA DE CUBA

ZARAGOZA 1868

DE LA FÁBRICA DE

E. GURRUCHAGA

· SAN SEBASTIAN ·

Sr J. C. Osinalde p.r el Molinao. Debe

30 de Junio de 1884

			Precio.	Reales	Cs
Junio	26	Por 20 sacos Cemento Natural			
"	28	" 25 " " "			
		45 sacos Id Id á 11 rs saco, envase á devolver		495	"

Recibí
P.r J.e Soriano
J Muñiz

Factura de la fábrica de cementos E.Gurruchaga en Zumaya (Guipúzcoa). Hacia 1880.

Nicolás Valdés se refería a ella en su *Manual del Ingeniero y del Arquitecto*, publicado en 1870: *"Se usa esta excelente cal-cimento debajo del agua y a la intemperie en toda clase de revocados y construcciones, formándose también con ella pilastras y cornisamentos, tanques, mesas, toda clase de molduras, bóvedas, etc; y siendo la primera en su clase para la confección de hormigones de fundación, en seco y bajo el agua dulce o salada, sin temor de que se agriete ni sufra detrimento alguno"*[7].

Todavía en la década de los años 1920 las fábricas de cemento y las canteras próximas donde se extraía el material funcionaban a plena actividad. En tiempos normales entraban en el puerto *"600 buques anuales para exportar 80.000 toneladas de cemento"*[8].

De la misma forma que sucedería con el cemento Portland, la denominación "de Zumaya" llegaría a veces a englobar todo el cemento natural producido en la provincia de Guipúzcoa, convirtiéndose en sinónimo de gran calidad (Así figura expresamente en numerosos pliegos de condiciones de obras llevadas a cabo hasta bien entrado el siglo XX). No obstante, se fabricaba también en otras poblaciones de la comarca del Bajo Urola como Iraeta.

De hecho, según algunas fuentes el cemento guipuzcoano empezó a producirse en una de las ferrerías de esta localidad, donde *"los obreros ingleses que trabajaban en la confección de frascos de azogue enseñaron a los naturales de aquella región la manera de utilizar este producto".* La primera empresa que se dedicó industrialmente a ello fue la formada por "*los señores Corta, Linazasoro y Zubimendi, bajo la razón social Jose Zubimendi y Cia"*[9].

Un poco más tarde aparecerían los primeros establecimientos del otro polo cementero guipuzcoano, localizado en torno a la capital de la provincia. En 1861, aunque ya llevaba cuatro años fabricando cemento en un antiguo molino hidráulico reconvertido, el industrial José María Rezola Gaztañaga establecería su fábrica "La Esperanza", en el hoy barrio donostiarra de Añorga. Sería el embrión de una gran empresa cementera que modernizarían y desarrollarían en el último tercio del siglo su viuda y sus hijos, incorporando molinos de bolas movidos por máquinas de vapor y hornos continuos[10].



LA ESPERANZA

Fabrica de cemento portland artificial y cemento rápido

HIJOS DE J. M. REZOLA Y C.ª, S. EN C.

SAN SEBASTIAN

Telegramas: Rezola, San Sebastián.

Representante en Madrid: D. José Garayzábal, Barbieri, 1 duplicado.

AÑORGA AUNDI

Cemento Portland Artificial.

Resistencias del mortero de una parte del cemento por tres de arena normal.

A la tracción.—A los 7 días: 22 kilogs. por centímetro cuadrado.—A los 28 días: 26 kilogs. por centímetro cuadrado.

A la compresión.—A los 7 días, 200 kilogs. por centímetro cuadrado.—A los 28 días: 270 kilogramos por centímetro cuadrado.

Fábrica inaugurada el 6 Septiembre de 1901.

Género admitido para los sistema» Hennebique, Ribera, Uncití, etc., etc., y que actualmente se está empleando en Bilbao, Madrid, Hernani, Pasajes, Fuenterrabía, etc., etc.

AÑORGA CHIKI

Cemento de Fraguado rápido

Ó ROMANO

Género superior, como lo demuestran certificados de Ingenieros españoles y extranjeros.

Admitido para obras del Gobierno de Francia.

Fábrica fundada el año 1858.

Este cemento cubre con exceso las condiciones de resistencia que imponen los pliegos para obras del Estado, así de España como de Francia.

Figura 4. Anuncio de cementos Rezola publicado en *El Cemento Armado.* 1903. Hemeroteca Municipal de Madrid.

Al mismo tiempo, desde 1858 funcionaba la fábrica "La Fé", fundada por el empresario Gregorio Manterola. Esta, *"empleando para la calcinación, trituración y tamizado los hornos, máquinas y procedimientos más perfeccionados que se usan en el extranjero",* podía producir más de mil quintales diarios de un cemento natural que podía competir con *"el mejor de Iraeta y Zumaya"*[11].

La "*cal-cimento de San Sebastián"* sería muy ponderada por Ventura Ferrada en su tratado de materiales de construcción publicado en 1868, destacando que endurecía *"con rapidez y su solidificación es tal que hay que trabajarla en porciones como el yeso y es preciso mezclar un poco de cal crasa para que sea más tardo el endurecimiento"*[12].

En esta época los cementos guipuzcoanos tenían prácticamente copado el mercado nacional. Así que, cuando, en 1876, el ingeniero Eduardo Pelayo y Gómiz, se dispuso a estudiar diferentes cementos para elegir el más conveniente en una obra que tenía que realizar en el Puerto de Cádiz, únicamente pudo contar de forma efectiva sólo con ellos y con algunos portland británicos.

La obra en cuestión era un el nuevo dique de carena de Matagorda, encargado por la Empresa de Vapores Correos Trasatlánticos A. López y Compañía. Antes de comenzar los trabajos de construcción Eduardo Pelayo decidió estar dos años ensayando los materiales que iba a utilizar, estimando necesario conocer, *"más que ningún otro, el aglomerante hidráulico que debía emplearse, siendo tanto más interesante su estudio cuanto que ni existe una teoría satisfactoria sobre la hidraulicidad, ni sobre los materiales que como hidráulicos se emplean"*. A pesar de los estudios de Vicat, los alemanes Becker o Micaelis y los ingleses Pasley, Austin,

Gillmore o Reid, que conocía, consideraba que todavía no había datos suficientes para que la cuestión estuviera resuelta[13].

Los cementos de que pudo disponer efectivamente serían: 280 toneladas de la fábrica de D. Eusebio Gurruchaga, de Zumaya; 240 toneladas de la fábrica de José María Corta y Cia, de Iraeta; y cantidades significativas de las fábricas "La Esperanza" y "La Fé", todas ellas preparadas industrialmente en barricas y sacos.

Pero la muestra de cementos ensayados por Eduardo Pelayo para la construcción del dique incluía otros cementos naturales españoles, cuyos fabricantes no tenían la potencia empresarial de los guipuzcoanos. De este modo, pudo contar con una tonelada, recibida en 201 sacos, de cemento de Novelda (Alicante). Por su parte, el industrial Jacinto Mombrú cedió gratuitamente una tonelada de su cemento fabricado en Alcaudete (Jaén).

La comarca del sudoeste de Jaén sería otro de los importantes centros productores de cemento natural. El de mejor calidad en la zona era el de Martos, que por ello sería elegido en 1874 para la construcción de las obras de la carretera de Alcaudete a Granada (Esta incluía numerosas obras de fábrica en el tramo comprendido entre Alcaudete y Alcalá la Real, entre ellas un puente de sillería de tres arcos de 15 m de luz sobre el río Guadalcotón[14]).

Sin embargo, dificultades en el suministro movieron a los ingenieros encargados de la ejecución a procurarse su propio aglomerante. Cercano a las obras se encontraba un yacimiento de piedra caliza con propiedades hidráulicas, a partir de la cual levantaron una fábrica de cemento natural aprovechando, una vez más, un antiguo molino harinero hidráulico para la molienda.

Obtuvieron así un cemento de buena resistencia, que *"comparado con el de Novelda, resulta muy superior, y lo mismo respecto al de Martos, aún cuando este pudiera ser tan bueno como aquel, si se fabricara con tan buena inteligencia y mejores medios".* También salía beneficiado de la comparación con el de Vassy, e incluso resultaba tener propiedades similares al de Zumaya *"considerado uno de los de mejor calidad"*[15]*.*

Seguramente, tan prometedoras experiencias animaron al industrial Jacinto Mombrú a instalar una fábrica en Alcaudete, una de cuyas primeras iniciativas sería el envío de la tonelada de prueba para las obras del dique de Matagorda.

Este competidor no perjudicaría excesivamente a las explotaciones de Martos, donde la fabricación del cemento natural continuaría a buen ritmo hasta la segunda mitad del siglo XX. Con primitivas instalaciones industriales, en las que se usaron hasta el final procedimientos tradicionales, se alcanzaría una producción nada desdeñable, aunque su mercado se limitara a las provincias limítrofes.



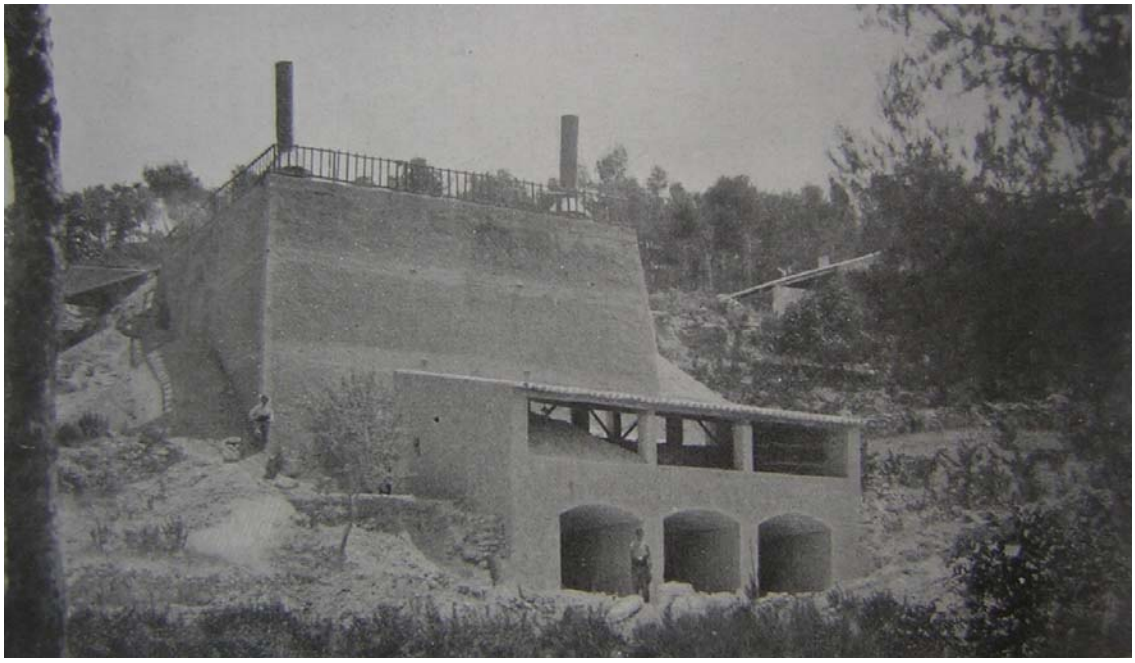
Figura 5. Antigua fábrica de cemento natural en Martos (Jaén). Ruinas del horno en la actualidad.

De la región de Aragón destacarían explotaciones en Tardienta (Huesca) y en Morata de Jalón, donde al menos desde la década de los 1870 funcionaba la fábrica de cal hidráulica y cemento romano de los Hermanos Burbano.

A principios del siglo XX en Cataluña hubo cierta proliferación de explotaciones de cementos naturales, aunque no tendrían demasiada repercusión a nivel nacional. Más bien se centrarían en proveer a las florecientes industrias de mosaico y piedra artificial. Así por ejemplo, la fábrica de Miguel Pérez, en Sarriá de Gerona, producía diversas variedades de cementos naturales, que podían *"competir con los artificiales para muchas aplicaciones"*[16].

Hacia 1905 funcionaba cerca de Villafranca del Penedés, provincia de Barcelona, la fábrica de Juan Miret, Sociedad en Comandita. Construida ex profeso *"en el propio terreno de las canteras […] y haciendo uso de la mejor maquinaria que en la actualidad se aplica a este ramo de la industria"* producía una amplia gama de cementos naturales, destinados principalmente a la fabricación de mosaicos, baldosas hidráulicas y piedra artificial[17].





Figuras 6. Fábrica de cemento natural de Juan Miret en Santa Margarita y Monjós (Barcelona). 1905. En *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Por la misma época, los fabricantes de cemento natural de Ripoll y San Juan de las Abadesas decidieron asociarse en una misma razón comercial. Su producción era ciertamente notable a nivel regional, alcanzando entre ambos las trescientas toneladas diarias.



Figura 7. Anuncio de la Unión de Fabricantes de cemento de San Juan de las Abadesas y Ripoll. Publicado en 1909 en *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

2. Piedra artificial y derivados del cemento.

Al principio, las aplicaciones de los cementos y cales hidráulicas se limitaban casi exclusivamente a la realización de obras que debían estar en contacto con la humedad o continuamente sumergidas en agua. Pero no tardarían, por sus buenas cualidades de resistencia y durabilidad, en desplazar a la cal común como aglomerante de los morteros y hormigones.

Del mismo modo, su empleo en la fabricación de productos industriales de construcción (piedra artificial, mármoles artificiales, pavimentos hidráulicos y objetos ornamentales) se consolidaría en la segunda mitad del siglo XIX.

Ya en la Exposición de la Industria celebrada en Madrid en1850 se presentó la empresa llamada "Apolytomena", dedicada a la fabricación de objetos ornamentales de mármol artificial, formado con cemento portland y trozos de mármol natural triturados[18].

En las últimas décadas del siglo se desarrolló ampliamente la industria del mosaico hidráulico, pavimentos económicos que se fabricaban *"por medio de potentes prensas, empleando cemento, arena y los colores en polvo".* Una de las empresas más destacadas sería la barcelonesa "Orsola, Solá y Compañía", que alcanzaría la suficiente entidad como para destacar en las Exposiciones Universales de 1888 y 1889, en las que obtuvo sendas medallas de oro. Además de mosaicos hidráulicos, también producía *"objetos de mármol comprimido, como escaleras, balaustres, bañeras, masas, columnas, pavimentos y chimeneas".*


MOSAICOS HIDRÁULICOS

ORSOLA, SOLÁ Y COMPAÑÍA.—BARCELONA

PROVEEDORES DE LA REAL CASA

MEDALLA DE ORO EN LA EXPOSICIÓN DE BARCELONA DE 1888

En la Exposición Universal de París de 1889, la ÚNICA MEDALLA DE ORO acordada á la fabricación de MOSAICOS HIDRÁULICOS, fué concedida á nuestros productos, en competencia con los de las demás naciones del mundo.

GRAN DIPLOMA DE HONOR EN BRUSELAS 1892

Fábrica la más importante de cuantas hay establecidas tanto en España como en el extranjero, la que cuenta con mayor número de dibujos y existencias, y la que ha logrado una fabricación más perfeccionada.—Pavimento el más durable y consistente que se conoce, lo garantizan 16 años de constante éxito.—Fabricación de objetos de cemento y granito.

Vista de la fábrica.

Producción anual: 4.500.000 piezas

FÁBRICA EN BARCELONA: calles de Calabria, Rocafort y Consejo de Ciento.
CASA EN MADRID: Caballero de Gracia, 56.—DESPACHO CENTRAL: Plaza de la Universidad, 2, Barcelona.

Figura 8. Anuncio de la empresa Orsola, Solá y Compañía en La Ilustración Española y Americana, 1894. Hemeroteca Municipal de Madrid.

La casa "Escofet, Fortuny y Compañía", también de Barcelona, fabricaba los mismos objetos. Sin embargo, sus productos se caracterizaban por *"la perfección y originalidad de los diseños, para lo cual se ha valido de reputados artistas".*

Fuera de Cataluña trascendería la actividad de la empresa "La Progresiva" de Bilbao, que hacía mosaicos hidráulicos y objetos de mármol comprimido, como las chimeneas patentadas por Simón Paul[19].

En cuanto a otro de los derivados del cemento, la piedra artificial, uno de los primeros establecimientos industriales sería la fábrica de Jaime Comermá en Barcelona, cuya actividad arrancaría en los años 1880. En ella se hacían piezas *"de cimento comprimido"* para techos artesonados, baldosas y *"adornos delicados, que en resistencia superan notablemente a los fabricados con yeso, al mismo tiempo que resisten el agua y el fuego".* En 1886 sacó al mercado un nuevo producto, bloques de piedra artificial para muros, con el que se construyó el Pabellón de la Prensa de la Exposición que tendría lugar un año después en la capital catalana[20].

Sin embargo, la industria más importante en la fabricación de piedra artificial fue la casa "Butsems y Cia". En sus comienzos, hacia 1856, se dedicaba al pavimento hidráulico; pero a partir de 1873 se pasó al campo de la piedra artificial, en el que consiguió un éxito notable, *"pudiéndose afirmar que la mayor parte de las fachadas de Barcelona, las reconstrucciones de los grandes conjuntos medievales y muchos edificios de Madrid salieron de las fábricas instaladas en la calle Rovira Rubent de Barcelona"*[21].



Figura 9. Anuncio de la fábrica Butsems y Cia publicado en *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

En las primeras décadas del siglo XX la piedra artificial constituyó una buena alternativa para muchos arquitectos. Los edificios de la época, cualquiera que fuera su estilo, se caracterizaban por la gran riqueza de detalles ornamentales, imposibles de llevar a cabo con piedra natural por el elevado precio de la mano de obra de cantería.

La piedra artificial se presentaba a los arquitectos como *"un medio de no restringir los vuelos de su imaginación a la cuestión económica, empleando un material que la práctica nos ha enseñado reúne condiciones inmejorables de belleza, solidez y rapidez en la ejecución"*. Los adelantos en la fabricación del cemento Portland permitieron presentar una piedra artificial *"con todo el aspecto y dureza de la piedra con que se desee semejanza"*

Además, el arquitecto intervenía directamente en el diseño de las piezas de piedra artificial, que partía de un primer modelo en yeso o barro que podía corregir a su gusto, para conformar el molde definitivo en escayola. Las piedras se fabricaban con cemento Portland y otros materiales (arena, detritos de cantera), pudiendo incluso introducirse armaduras para piezas especiales[22].



Figura 10. Chalet de D. Juan Llusà en la Avenida del Tibidabo, Barcelona. José Pujol y Brull, arquitecto. Decoración con piedra artificial de la casa Butsems y Cia. 1917. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Junto a Butsems y Cia, la empresa española con mayor implantación en el campo de la piedra artificial, destacaron también otras compañías, como la casa "Sucesores de B. Maurell", que desarrolló también una importante actividad en Barcelona.



Figura 11. Casa con fachada de piedra artificial construida en Barcelona por la casa Sucesores de B. Maurell. 1906. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

El auge de la piedra artificial incitó a otras empresas relacionadas con la construcción a introducirse en su nuevo y animado mercado. Así ocurrió, por ejemplo, con la Compañía Anónima del Hormigón Armado de Sestao, que a partir de 1905 extendió su actividad a la fabricación de piedra artificial. Una de sus primeras aplicaciones sería la fachada de piedra artificial de las nuevas Escuelas Municipales de Bilbao, obra del arquitecto Ricardo Bastida[23].

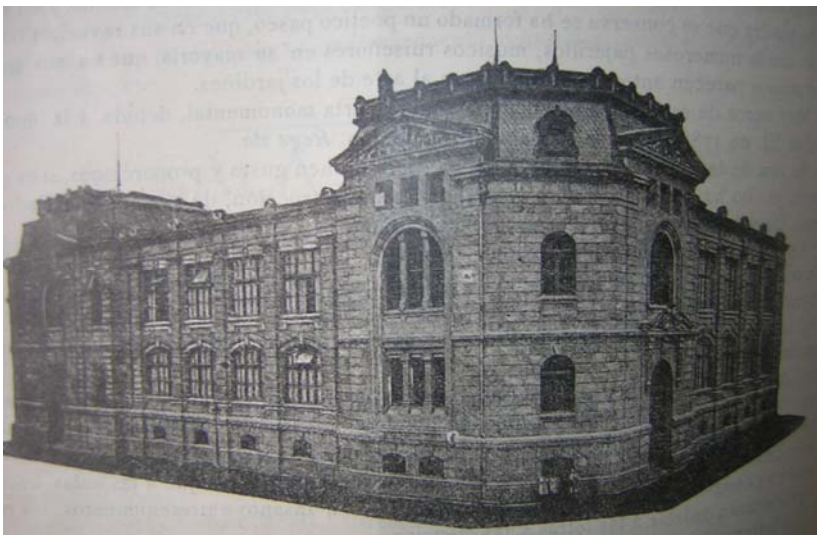


Figura 12. Nuevas Escuelas Municipales de Bilbao. Fachada de piedra artificial. Ricardo Bastida, arquitecto. Compañía Anónima del Hormigón Armado de Sestao, empresa constructora. 1905. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

En 1907 se haría cargo de otro edificio destacado, el Monasterio de Viaceli en Cóbreces (Cantabria). Sus fachadas eran todas *"de mampostería ordinaria de piedra caliza, con un zócalo de sillería del mismo material y todas las jambas, dinteles, ángulos y cornisas de piedra artificial"*[24]



Figura 13. Patio del Monasterio de Viaceli en Cóbreces (Cantabria) durante la construcción. Elementos decorativos de piedra artificial. 1907. Compañía Anónima del Hormigón Armado de Sestao. *El Hormigón Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

En 1909 el industrial Mariano Fernández Robledo sería de los últimos en incorporarse a este mercado, patentando una piedra artificial de su invención a la que llamó "Deznanfer"[25].

3. Introducción del cemento Portland y principios de su fabricación en España.

La abundancia y calidad de los cementos naturales y cales hidráulicas nacionales no sería obstáculo para la introducción paulatina del cemento portland (artificial) en España, aunque sí que retrasaría su implantación definitiva y su producción industrial.

En la relación de materiales de construcción más utilizados en las provincias españolas que el ingeniero militar Nicolás Valdés hizo en 1870 se puede observar que la cal hidráulica de Zumaya se vendía en Cádiz, Valladolid y San Sebastián. En Cataluña tenía más aceptación el *"cimento romano"* que se vendía en Barcelona 2,20 escudos el hectolitro, y en Tarragona, la Seo de Urgel y Tortosa a 3'84, 7'00 y 3'20 escudos, respectivamente, el quintal métrico. En Madrid, Badajoz, Málaga estaba disponible algún tipo de *"cimento"*. La cal hidráulica de San Sebastián se vendía también en Cádiz, La Coruña, Vigo, Ceuta y Melilla. En las ciudades españolas del norte de África se importaba así mismo cal hidráulica de Marsella, mientras que en Zamora tenía más predicamento la de Reinosa. Según este estudio, Sevilla era la única ciudad de España donde se comercializaba el cemento Portland, a 8,60 escudos el quintal métrico[26].

Seis años más tarde ya estaría disponible el portland en Cádiz, como queda reflejado en las anteriormente comentadas experiencias de Antonio Pelayo y Gómiz en la construcción del dique de Matagorda. Los fabricantes de Londres *J.B. White & Brothers, Knight Bevan & Sturge, London Portland Company, Robins;* y *W.C. Wouldhan* hicieron llegar al ingeniero diversas muestras de sus cementos, estando, pues, en condiciones de exportarlo con garantías al menos a las ciudades costeras de la Península. También recibió cantidades importantes de otros fabricantes de Glasgow: Hilton, Anderson & Company; Brooks, Shoobrigge & Company; W. Leventt & Company, W.K.P.C. & Company[27].

A medida que se ampliaba la comercialización del Portland, el cemento natural iría siendo relegado a los trabajos de menor exigencia. Las diferentes experiencias realizadas, como la de Antonio Pelayo en Cádiz, pondrían de manifiesto una clara superioridad del cemento artificial.

En la misma línea avanzaron los estudios del ingeniero de caminos Fernando García Arenal. En 1880, ante la inexistencia de datos fiables *"sobre la calidad y condiciones del cemento natural de Zumaya, de fraguado rápido, que generalmente se emplea en las obras hidráulicas de todo el Norte de España"* propuso a la Dirección General de Obras Públicas la realización de *"un estudio comparativo del cemento de fraguado lento, llamado de Portland, con el natural de Zumaya".* Aprobada su realización en el Puerto de Gijón, un ingeniero de minas se encargaría de estudiar la composición química y la fabricación, mientras que él mismo se haría cargo de los ensayos de resistencia, fraguado, condiciones de empleo en obra, etc.

Después de siete años y *"millares de pruebas preparadas con cementos alemanes, franceses, ingleses y de Zumaya"*, reunió la información necesaria para preparar un pliego de condiciones de los cementos suficientemente detallado, con el que técnicos y contratistas supieran a qué atenerse en las obras en que se necesitara este material. Remarcaba además, la necesidad de que *"en cada capital de provincia y en algunos servicios especiales, como el Canal de Isabel II, hubiese algunos aparatos, muy pocos y no caros, para estar en disposición de exigir en todas las obras públicas de España las condiciones que deben reunir los cementos*"[28].

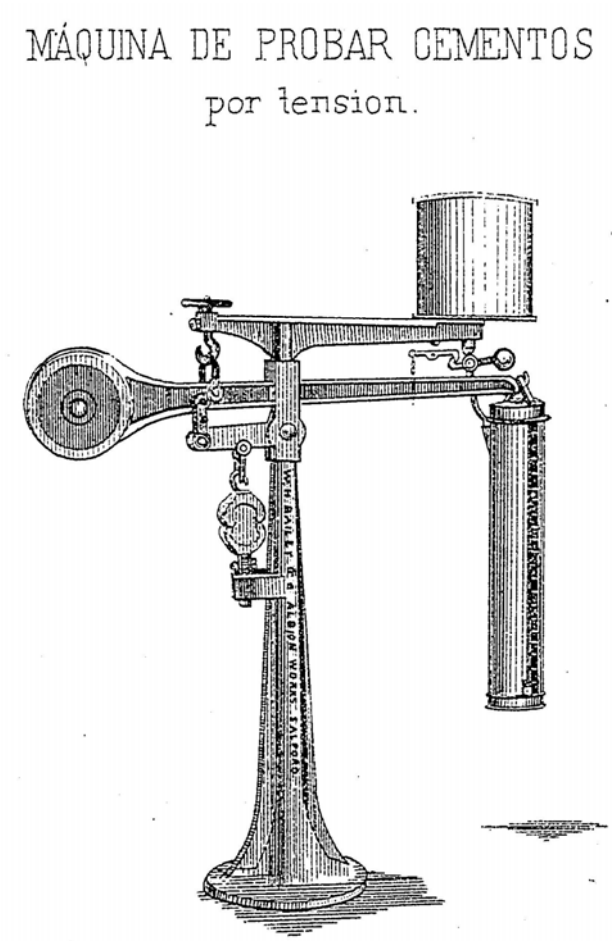


Figura 14. Aparato Bailey de doble palanca, para probar la resistencia de hormigones a tensión, utilizado por Fernando García Arenal en sus experiencias del Puerto de Gijón. 1880-1887. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

En 1895 el ingeniero de caminos J. de Churruca se decantaría ya claramente por el Portland para la fabricación de los bloques de hormigón a emplear en las obras del puerto de Bilbao. Pese a la proximidad de las explotaciones guipuzcoanas de cemento natural, prefirió usar el portland francés de las compañías *"Société des ciments francais Boulogne-sur-mer"* y *"Compagnie Nouvelle des ciments Portland du Boulonnais"*, con fraguado más rápido y mayores resistencias[29].

Por los mismos años, otro ingeniero de caminos, José Nicolau, emplearía el cemento artificial de doble cocción, marca Vicat y Compañía de Marsella, en otra obra portuaria similar,

los nuevos diques del puerto de Valencia. Esta firma tenía un representante general para España, Francisco de Federico; y depósitos en Madrid (*Gadea y González, aparatos y materiales de construcción*) y Pontevedra (Eulogio Fonseca y García)[30].

Sin embargo, todavía en los años del cambio de siglo, el conocimiento de las cualidades de los distintos cementos seguía siendo escaso y su utilización, bastante anárquica. El ingeniero de caminos José Eugenio Ribera lo puso de manifiesto en el congreso que la Asociación Internacional para el Ensayo de Materiales de Construcción celebró en Estocolmo en 1897: *"los cementos de Zumaya, de Portand Boulonnais, de Portland grappiers, de escorias o laitiers, las puzolanas naturales, las cales hidráulicas de todas clases, se disputan la preferencia de los ingenieros, invocando experiencias al parecer concluyentes de laboratorios oficiales y la sanción del tiempo en obras de indiscutible resistencia; y ante tal profusión de cementos y tal plétora de cualidades, siéntese indeciso el constructor, y limítase a exigir condiciones de resistencia generales que nada demuestran"*[31].

La fabricación del cemento Portland en España surgiría vinculada a la introducción del hormigón armado. No por casualidad la primera fábrica española, la de Tudela-Veguín, en Asturias, sería una de las construcciones pioneras del nuevo material de construcción.

El 28 de junio de 1898 quedó constituida en Oviedo la Sociedad Anónima Tudela Veguín, dedicada expresamente a la *"fabricación de y venta de cales y cementos de todas clases en la provincia de Oviedo y fuera de ella".* La fábrica propiamente dicha se instaló en la localidad de Tudela Veguín, situada muy cerca de importantes yacimientos de caliza, arcilla y minas de carbón y que además ofrecía una buena comunicación por ferrocarril[32].

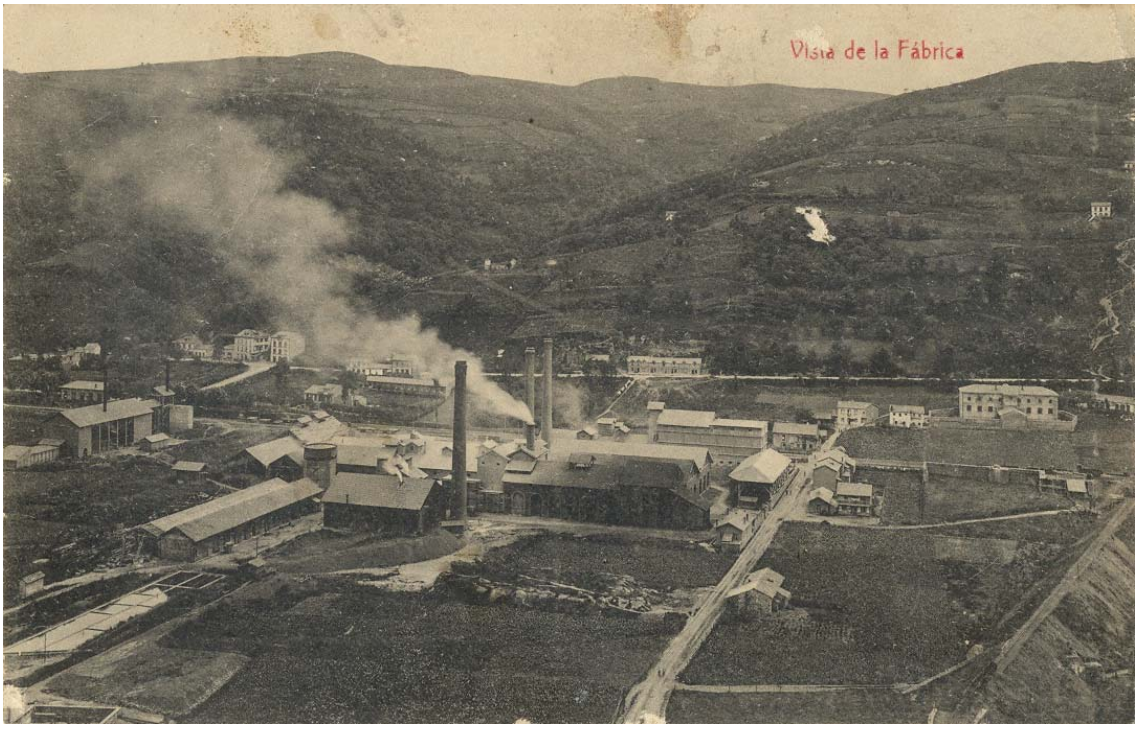


Figura 15. Fábrica de cementos de Tudela Veguín (Asturias) hacia 1915. Archivo de la Asociación "Amigos de Veguín".



Figura 16. Emblema comercial del cemento Tudela-Veguín. En *El Cemento Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

La empresa comenzaría su actividad en unas instalaciones provisionales, siendo las definitivas construidas con hormigón armado por José Eugenio Ribera. Junto al edificio de la fábrica propiamente dicha, destacaban los grandes silos de cemento, de cinco mil toneladas de capacidad, construidos entre 1899 y 1900[33].

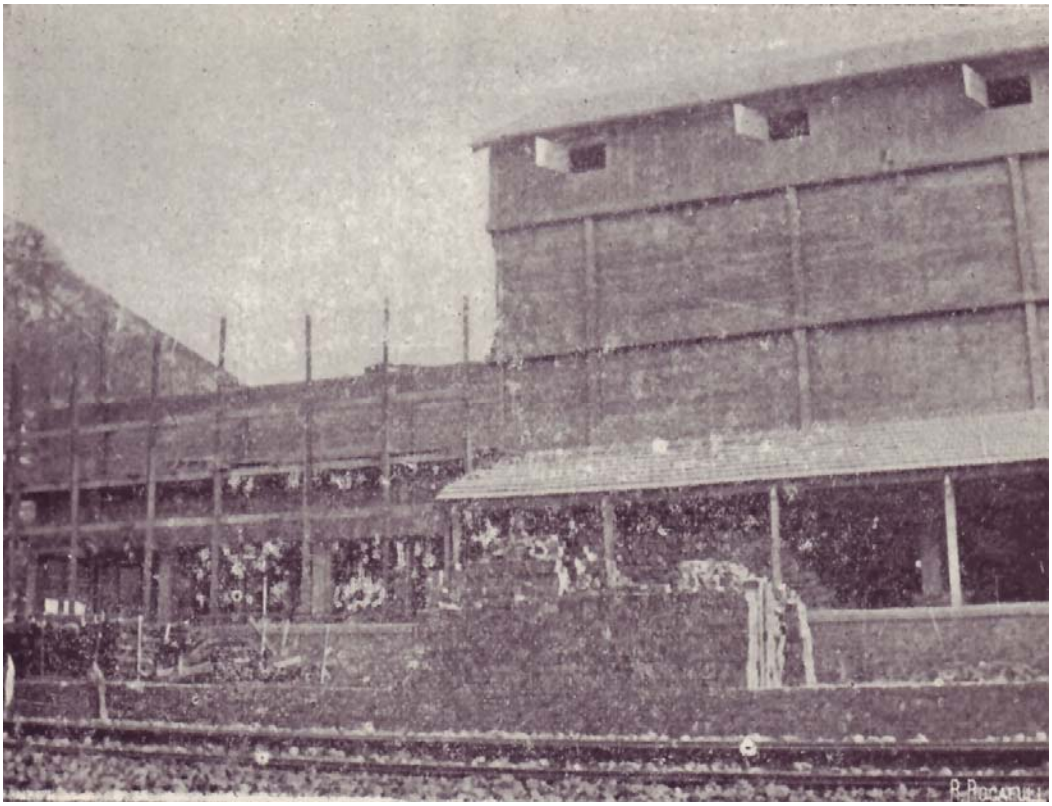


Figura 17. Silos de la fábrica de cemento de Tudela Veguín (Asturias). 1900. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En Ribera, *Hormigón y Cemento Armado.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

Casi simultáneamente comenzó a producirse cemento Portland en Sestao(Vizcaya), por cuenta de la compañía *Société Génerale_des Ciments Portland de Sestao Limited*, constituida en Inglaterra en septiembre de 1899. Anteriormente existía en Sestao una empresa dedicada a la fabricación de cemento de escorias (laitier)[34], que seguramente sería la base para la fundación de la nueva compañía.

Ya en 1900 su cemento marca “El Fénix” era empleado con éxito en varias obras de Bilbao, Santander, Gijón, Santoña, San Sebastián, Ceuta y Madrid.

En diciembre de 1901 la compañía pasaría por otra reorganización, siendo adquirida por empresarios franceses que mantuvieron el mismo nombre, pero llevaron la sede social a Bilbao y la administrativa a París[35].

En las primeras décadas del siglo XX la Sociéte Générale des Ciments Portland de Sestao- Bilbao se desenvolvería con éxito en el mercado nacional del cemento portland, que comercializaría primero bajo la denominación “El Fénix” y a partir de 1907 con la de “Hércules”. En el ejercicio de 1908, por ejemplo, con un capital social de dos millones de francos consiguió una facturación de 1.959.000 francos, cifra que se vería reducida un año después a algo más de 1.650.000, debido, según explicaciones del Consejo de Administración, a la Guerra de Melilla[36].



Figura 18. Anuncio de la Sociedad General de Cementos Portland de Sestao en *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Señal inequívoca de que el Portland acabaría imponiéndose a los cementos naturales es que los más destacados fabricantes de estos últimos empezaron a reformar y ampliar sus instalaciones para producir cemento artificial. Así sucedió, por ejemplo, con la empresa de los herederos de José María Rezola, que en 1900 refundaron la sociedad y emprendieron la construcción de una nueva fábrica de cemento portland (artificial) junto a las canteras de Añorga-Aundi. La nueva planta incorporaba la más moderna maquinaria, movida por energía eléctrica que fue suministrada a partir de 1910 por una central hidroeléctrica propia, localizada junto al nacimiento del Urumea[37].

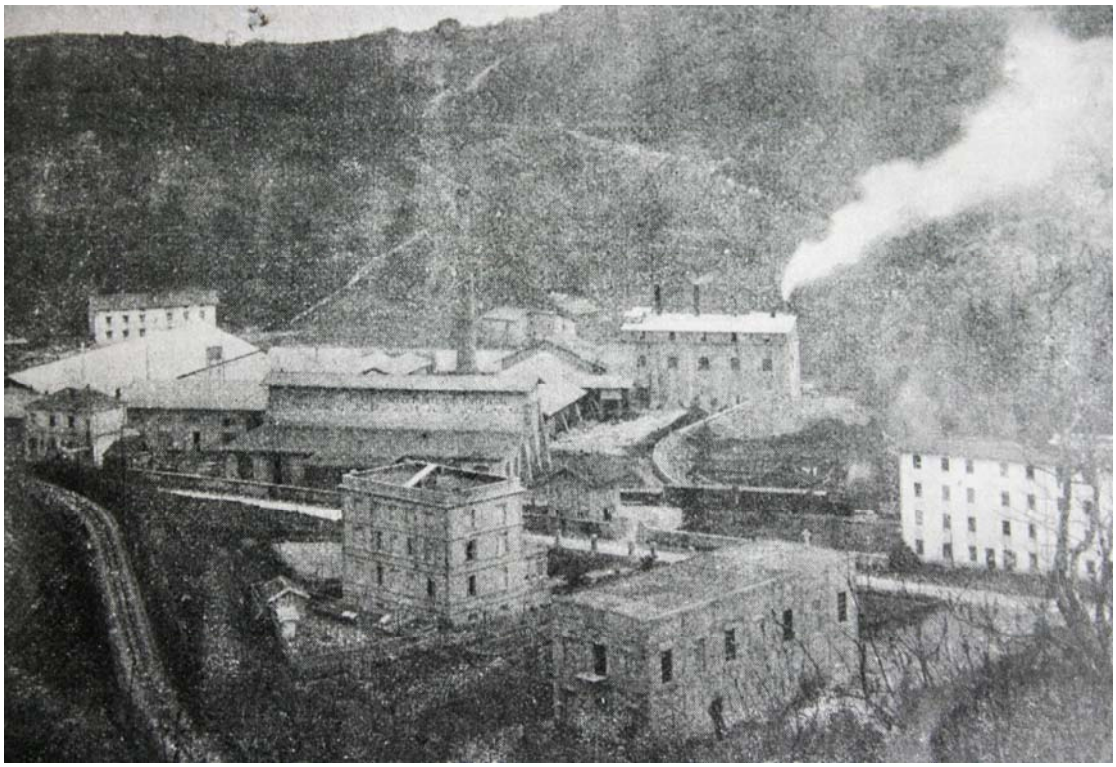


Figura 19. Fábrica de cemento Portland Hijos de Jose Mª Rezola en San Sebastián. Principios del siglo XX. En Geografía General del País Vasco –Navarro, de Serapio Múgica. Instituto Geográfico Vasco "Andrés de Urbaneta". www.ingeba.org

Siete años más tarde Rezola atendía cuantiosos pedidos de importantes entidades como el Sindicato Asturiano del Puerto de Musel o la Sociedad de Aguas de La Coruña; y empresas como Arrizabalaga, Zubinas y Compañía, El Porvenir de Burgos o D. Alberto Corral de Santander[38].

En el otro extremo del país, la fabrica "Lavalle", de Puerto Real (Cádiz), producía por vía húmeda un portland de buena calidad. En 1901 se hicieron cargo de esta fábrica nuevos accionistas, constituyendo la "Sociedad Anónima de cementos gaditanos". Decididos a impulsar la fabricación de cemento levantaron una nueva planta, marcándose como objetivo la producción de cincuenta toneladas diarias. Para ello la dotarían con maquinaria de la más avanzada tecnología, de patente alemana, para la fabricación de cemento por vía seca[39].

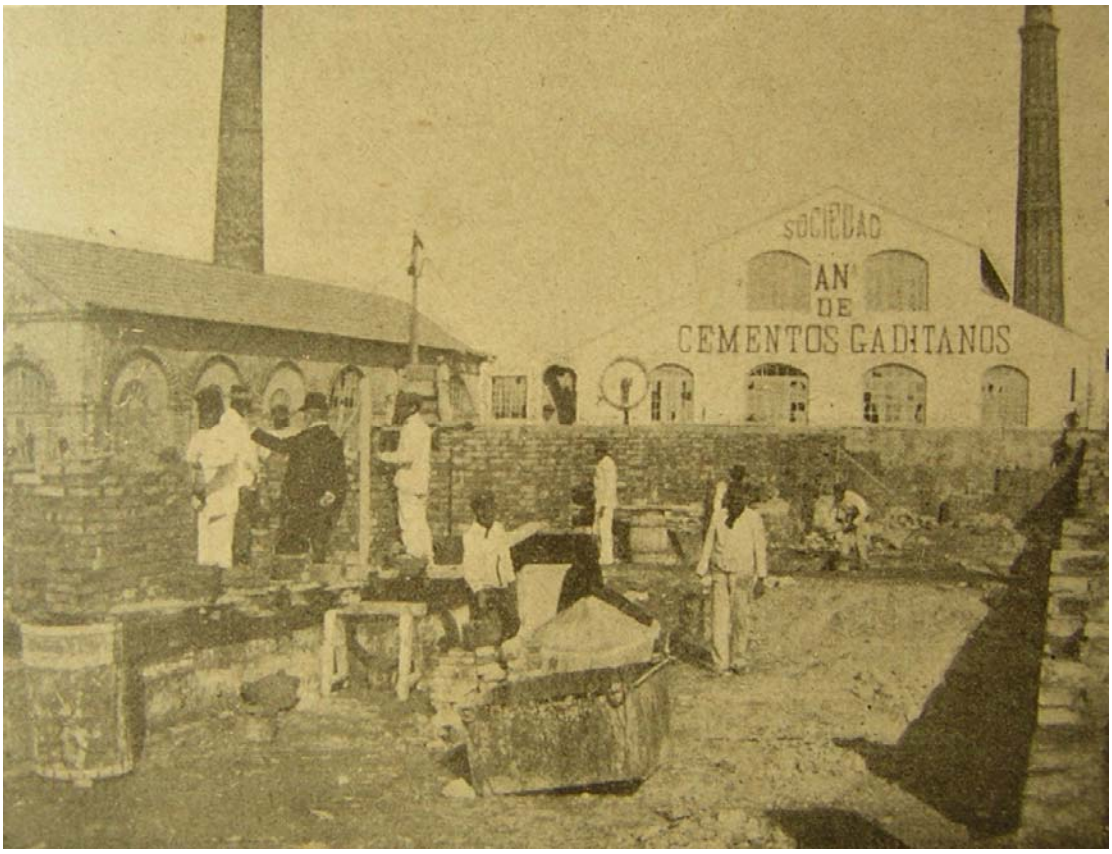


Figura 20. Construcción de la fábrica de la Compañía de Cementos Gaditanos en Puerto Real (Cádiz). 1903. *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

En su primer ejercicio (1902) la compañía tuvo unos beneficios de 88.106 pesetas por la venta de cementos, pudiendo repartir entre sus accionistas un dividendo del 4% libre de impuestos[40]. Sin embargo, no hay referencias posteriores a estos primeros años del siglo XX. La compañía debió desaparecer antes de 1910.

Poco después, en 1903, sería inaugurada en Garraf (Barcelona) la nueva fábrica de cemento Portland y cal hidráulica de M.C. Butsems y Fradera. Surgió como *"una ramificación de la importante y antigua fábrica de mosaicos y piedra artificial, fundada en Barcelona en el año 1875 por el malogrado Sr. Butsems, secundado después por sus hijos políticos Sres. Fradera Martí y Cabarrocas".* En terrenos situados junto al mar y atravesados por la línea férrea de Valls y Villanueva a Barcelona (en la que se construyó un apartadero industrial propio), la fábrica ocupaba un área de 4000 m^2, disponiendo *"de locales muy espaciosos para apagamiento y molienda y máquinas de sistemas perfeccionados".* Con sus hornos de cocción continua, estaba en condiciones de producir hasta cien toneladas diarias, que podía ir almacenando en sus silos de 3000 toneladas de capacidad[41].

Inicialmente su cemento portland se comercializaría como "Butsems & Fradera", pero más adelante lo haría con la marca "Landfort".

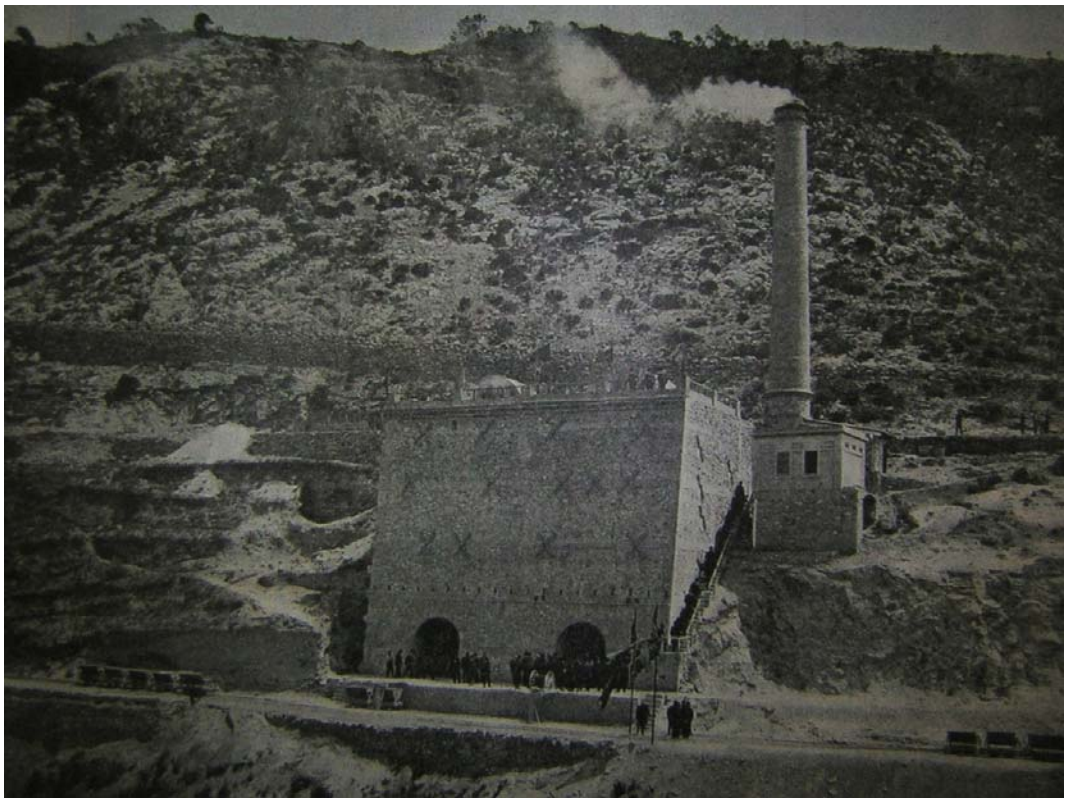


Figura 21. Fábrica de cementos Butsems y Fradera en Garraf (Barcelona) 1903. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



Figura 22. Anuncio del cemento Butsems y Fradera en *El Cemento Armado.* 1903. Hemeroteca Municipal de Madrid.

Otra de las marcas pioneras de cemento portland nacional fue "El Cangrejo". Lo fabricaba desde 1905 la Sociedad Anónima de Cementos Portland de Pamplona, cuyo director gerente era el ingeniero de caminos Serapio Huici[42]. Su planta de fabricación, situada en la localidad navarra de Olazagutia, contaba con *"magnificas instalaciones de molinos para la pulverización y hornos giratorios para su calcinación*"[43].

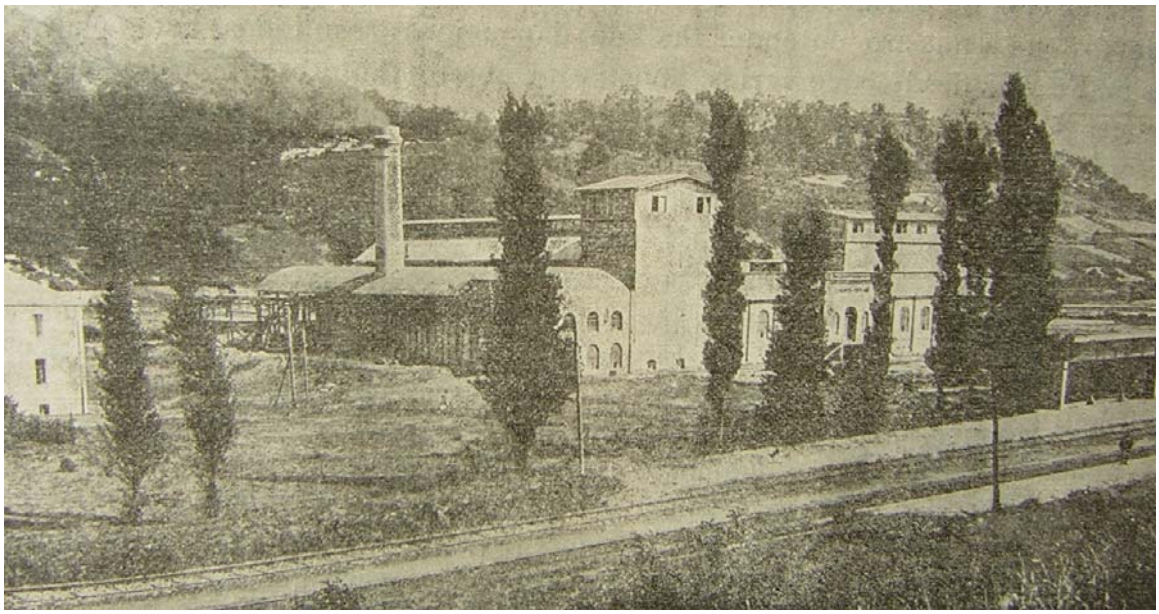


Figura 23. Fábrica de cemento "El Cangrejo" en Olazagutia (Navarra). 1906. *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

El ingeniero de caminos Juan Manuel de Zafra lo utilizaría en 1907 para la construcción del segundo embarcadero de las Minas de Cala, *"obteniendo un resultado excelente desde todos los puntos de vista y superior al habido en el primer embarcadero, obra completamente idéntica y hecha con cemento de las más acreditadas marcas extranjeras"*[44].

Dos años después la lista de obras singulares en las que se utilizó se amplió a los alcantarillados de Zaragoza y Valladolid, los almacenes de la Compañía de Ferrocarriles del Norte en Madrid, el Canal de Aragón y Cataluña, el depósito de aguas de Bilbao y los pantanos de Peña Horadada y Santa María de Belsué[45].

También en 1905 el industrial José Ayala López inauguró su fábrica de cemento Portland en la Cañada (Ciudad Real), en la confianza de que "*por la buena situación geográfica y los excelentes materiales que en ella se elaboran, ha de reportar beneficios en las construcciones, pues teniendo su radio de acción en el centro de España, facilitará a los contratistas una gran economía en los transportes*"[46]. La dirección de la fábrica se encomendó al químico Ernesto Papaceit, cuyas principales líneas de actuación serían una cuidada selección de materias primas y la utilización de diferentes procedimientos y maquinaria en función del producto final a obtener[47].

La Exposición de Minería y Trabajos Hidráulicos de Cataluña y las Islas Baleares, celebrada en 1905 en Barcelona supuso la puesta de largo para la que quizás fuera la cementera española más importante: la Compañía general de Asfalto y Portland, más conocida por “Asland”.

Fundada por el industrial catalán Eusebio Güell en 1901, no empezaría sin embargo a funcionar con normalidad hasta cuatro años después. En ese periodo se levantó su fábrica situada entre las localidades de Castellar de N’Hug y La Pobla de Lillet, provincia de Barcelona

Allí, en las mismas faldas del Pirineo, las diversas instalaciones de la fábrica se disponían según la pendiente, existiendo entre el primer y el último cuerpo del edificio un desnivel de cincuenta metros, que se escalonaba en catorce pisos. Con esta organización de los talleres se abarataba notablemente el coste de producción, haciendo que las masas descendieran *“por su propio peso para ser sometidas a las distintas operaciones mecánicas que comprende la fabricación del cemento”.*



Figura 24. Fábrica de cemento “Asland” en Castellar de Nuch y La Pobla de Lillet (Barcelona). 1905. *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

La cantera de piedra arcillosa se encontraba a corta distancia y encima del taller más alto, a donde se conducía mediante carretillas; la de caliza distaba medio kilómetro de la fábrica, a donde descendía en vagonetas por un plano inclinado.

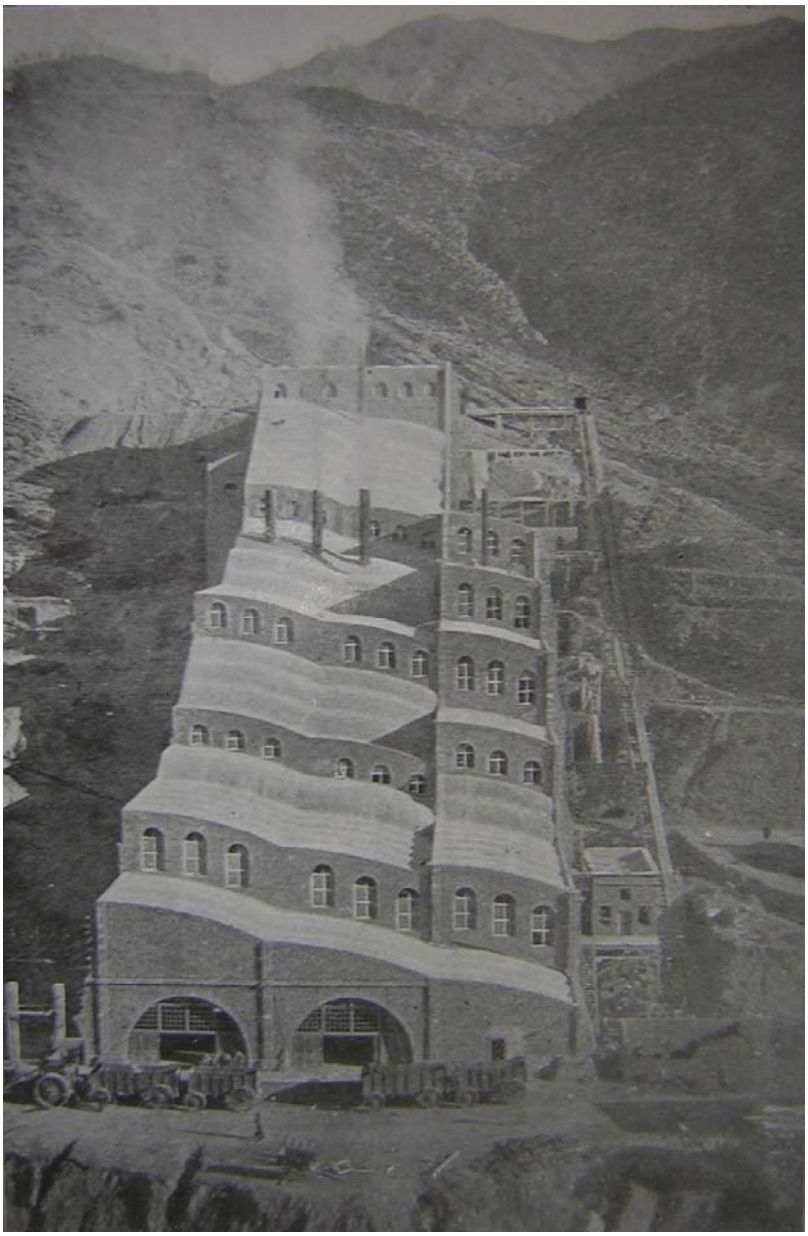


Figura 25. Fábrica de cemento "Asland" en Castellar de N'Hug y La Pobla de Lillet (Barcelona). Vista de los hornos. 1905. *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

El cemento se elaboraba por vía seca en varios hornos rotatorios y continuos, pasando después a los molinos para su trituración pulverización y finalmente a instalaciones de envasado automático.

Toda la maquinaria, incluyendo la de los dos saltos de agua que suministraban energía eléctrica a la planta, era de fabricación norteamericana, *"habiendo empleado en ella los procedimientos más modernos y perfeccionados"*[48].

En efecto, la fábrica fue pionera en la utilización de hornos rotatorios, desarrollados una década antes en los Estados Unidos por el ingeniero español Navarro. La elección de esta tecnología fue una apuesta personal de Eusebio Güell, que conocía gracias a sus contactos con el arquitecto Guastavino[49].

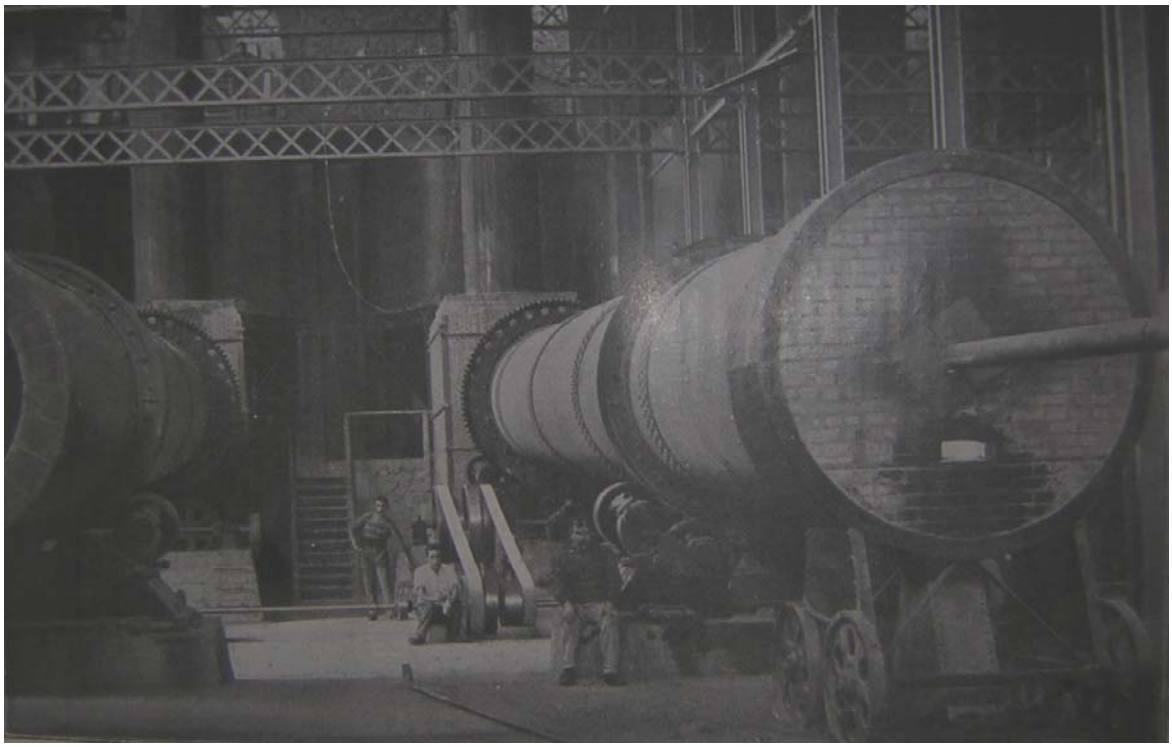


Figura 26. Horno rotatorio de la fábrica de cemento "Asland" en Castellar de N'Hug (Barcelona). 1905. *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

En estas instalaciones se producía sólo cemento portland de gran calidad, que contrastado con otros cementos nacionales y extranjeros en estudios comparativos ofrecía inmejorables prestaciones. Tras unos inicios desalentadores pronto sería justamente valorado y la compañía conocería una notable expansión en los primeros años del siglo XX, llegando a ser la más destacada en el ámbito nacional. A tan brillantes resultados contribuyeron *"en gran manera los ingenieros W. W. Ewin y W. H. Jennings, secundados por el personal técnico que a sus ordenes presta allí relevantes servicios"*[50].

Dos años más tarde, por ejemplo, le fue adjudicado el importantísimo concurso para el suministro de cemento de las obras del pantano de Guadalcacín, en Jerez de la Frontera. Era *"la sexta obra de esta naturaleza que se construye con el cemento Asland, sin contar otras varias particulares, y las importantes obras del Canal de Aragón y Cataluña, y obras contra las inundaciones del Levante. En estas dos últimas vienen empleándose desde hace años y los resultados son tan excelentes a larga fecha que superan en mucho a los obtenidos con las mejores marcas extranjeras"*[51].

Hacia 1910 los responsables de la sociedad pudieron manifestar con satisfacción que *"la excelente acogida que ha obtenido nuestro cemento portland artificial marca ‹‹Asland››, en el mercado nacional y en los de exportación"* había superado todas sus expectativas. Así que decidieron ampliar la producción, añadiendo un horno más a los tres de que ya disponían. Con sus 45 metros de longitud, el nuevo sería uno de los más grandes de Europa. Tras su instalación, que tuvo lugar en 1909, la fábrica estaba en disposición de producir 230 toneladas diarias[52].



Figura 27. Anuncio del cemento Asland publicado en 1910 en *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Tras sucesivas ampliaciones, en 1916 la capacidad de Asland alcanzaba las 100.000 toneladas anuales. Aprovechando la excepcional coyuntura que la Gran Guerra supuso para la industria española, los responsables de la empresa impulsaron entonces una notable ampliación con el objetivo de doblar su capacidad productiva.

Para ello sería necesario montar una nueva fábrica, que se financiaría con una emisión de obligaciones. Inmediatamente fueron suscritos 232.000 títulos de 500 pesetas, pudiéndose adquirir la maquinaria de forma inminente. La nueva planta fue finalmente construida en Montcada y Reixach, provincia de Barcelona.



Figura 28. Hornos de la segunda planta de Asland en Moncada i Reixach (Barcelona). 1918. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

En la segunda década del siglo se produciría la gran expansión de la industria nacional del cemento. Se caracterizaría por un espectacular aumento de la producción de las empresas ya instaladas y la creación de nuevas fábricas repartidas por toda la geografía nacional.

Una de las iniciativas más tempranas sería la de la sociedad "Nueva Montaña" de Santander, que en 1909 firmó un contrato con una compañía británica para establecer *"en la isla de Oleo una fábrica de cemento portland, aprovechando las escorias de alto horno allí establecidas"*[53].

Consta también que al menos desde 1910 funcionaba en Zaragoza la Sociedad Aragonesa de Portand Artificial. En ese año construyó un nuevo almacén de mil toneladas de capacidad, que se sumaba a otro, de 1200 toneladas, ya existente[54].

Con la ampliación de Asland, y las nuevas fábricas construidas entre 1910 y 1915, la industria nacional era ya capaz de atender el consumo nacional. Efectivamente, en esos cinco años se construyeron *"la fábrica de Matillas, marca León; la de Esquivias, marca Hispania; la de Castillejos, marca Iberia; la de Garraf, marca Landfort"*. En 1916 se montaría otra más en Málaga, sumando entre todas una producción de 500.000 toneladas anuales. De esta forma, la industria del cemento portland artificial alcanzó *"la tan suspirada independencia económica […] quedando sobradamente atendido el consumo de España"*[55].

Junto a las mencionadas, debía ya estar funcionando la fábrica constituida en Valencia por la sociedad titulada Emilio Albiol. En noviembre de 1912 se estaban terminando las obras, bajo la dirección *"del competente ingeniero en construcciones de cemento armado D. Emilio*

Albiol", habiéndose instalado maquinaria *"suministrada por la importante casa Fried Krupp",* con la que se esperaba alcanzar una producción diaria de portland de veinte toneladas[56].

De las nuevas fábricas mencionadas la que quizás irrumpiera con más ambición fue la Sociedad Anónima Portland Iberia. En 1916 ya tenía lista su gandiosa planta de fabricación, situada en la provincia de Toledo, dentro del término municipal de Castillejo.

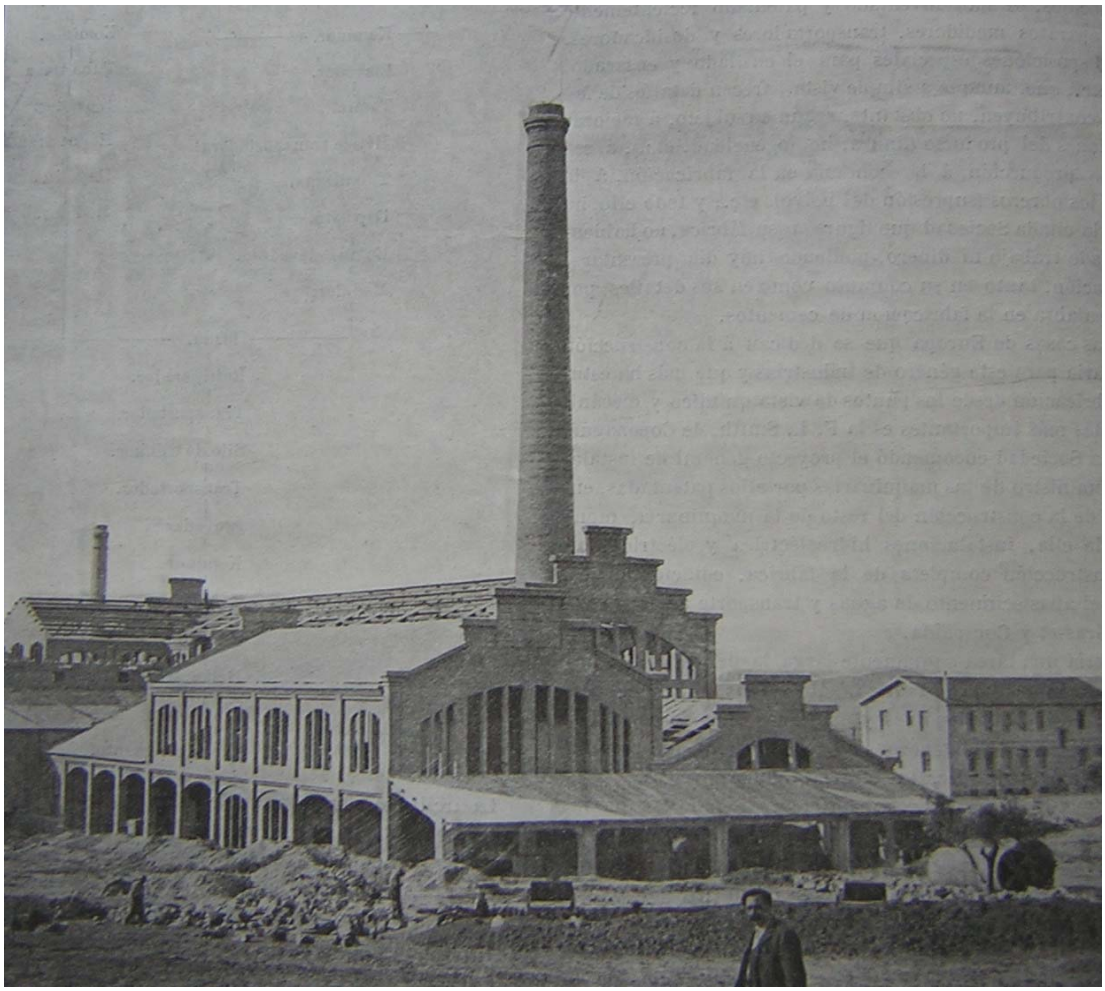


Figura 29. Fábrica de la Sociedad Portland Iberia en Castillejo (Toledo). 1916. En *La Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Decidida a formar su fábrica con arreglo a los últimos adelantos de la industria cementera, la compañía introdujo, además de grandes hornos giratorios, otras instalaciones como *"molinos, aparatos medidores, transportadores y dosificadores, así como disposiciones especiales para el ensilado y ensacado, etcétera, que, aunque a simple vista parecen detalles de fabricación, contribuyen no obstante, según su objeto, a mejorar las condiciones del producto (finura, homogeneidad, etc.), a regularizar la producción, a la economía en la fabricación, a la higiene de los obreros (supresión del polvo), etc., y todo ello ha procurado la citada sociedad que figure en su fábrica, no habiendo escatimado trabajo ni dinero".* En definitiva, la planta que la Sociedad Portland Iberia montó en Castillejo podía presentarse *"tanto en su conjunto como en sus detalles, como la última palabra en la fabricación de cementos"*[57].

Entre estas instalaciones destacaba un horno giratorio de cuarenta metros de longitud y dos metros de diámetro, sostenido por tres apoyos con cilindros de rodadura. La molienda del cemento tenía lugar en un molino de bolas especial, llamado Kominor, desde donde pasaba a almacenarse en seis grandes silos cilíndricos.



Figura 30. Horno giratorio de la fábrica de cemento Portland Iberia de Castillejo. 1916. En *La Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Simultáneamente empezaría a funcionar la planta de la Sociedad Financiera y Minera en Málaga. Entre 1913 y 1914 esta compañía fue adquiriendo unos terrenos situados a ocho kilómetros de la capital, junto a la carretera de Almería, con objeto de construir una fábrica de cemento[58]. Esta segunda tentativa de fabricación de cemento portland en Andalucía si fructificaría, comercializándose desde entonces y hasta la actualidad el cemento marca "Goliat".

El arquitecto Fernando Guerrero Strachan se hizo cargo, en 1914, del proyecto de la fábrica. Paradójicamente, si bien incorporaba la última tecnología para la fabricación del cemento (con un horno rotatorio de 43 metros de longitud), sería muy conservador en los aspectos arquitectónicos, sobre todo tratándose de una fábrica de hormigón. En ninguna de las edificaciones de la planta utilizaría el hormigón armado. Todas ellas las resolvería con *"entramados de pórticos metálicos formados por soportes, carreras, viguetas y armaduras que sostienen las cubiertas de chapa galvanizada"*[59].

En 1918 se anunciaba en Almería el inminente establecimiento de *"una gran fábrica de cementos,* que pretendía no sólo atender *"a las necesidades del consumo en aquella provincia",* sino que aspiraba *"también a ser exportadora".* Se constituyó una sociedad con un capital social de un millón y medio de pesetas, instalándose la planta en *"el sitio llamado Las Almadravillas, junto a la estación de Sierra Alhamilla, para recibir por esta vía las tierras procedentes de dicha Sierra"*[60]. Sin embargo, parece que no tendría mucha continuidad.

Ese mismo año Gallego Ramos enumeraba "*las marcas de cemento más acreditadas en España por sus buenísimas condiciones, probadas prácticamente, y por su antigüedad":* "Asland", "Cangrejo", "Tudela Veguín", "Rezola", "Hércules" "Fort" y "Butsems y Fradera (Landfort)". Además, estaban comenzando a incorporarse *"otras marcas muy modernas, pero cuyos certficados de laboratorio las permiten colocarse entre las ya mencionadas":* Iberia, Campeón (de la Constructora Bilbaína), Quinto (de la Compañía Aragonesa de Portland Artificial), Surreca (de San Juan de las Abadesas), Córdoba (Henares), Hispania (Toledo) y la Sociedad Angloespañola de Cementos Portland (Santander)[61].

Pocos años después, a mediados de los veinte, casi todas seguían en funcionamiento, habiéndose incorporado nuevos fabricantes: la Compañía Auxiliar de la Construcción, que producía el cemento "Sansón" en Sant Just Desvern (Barcelona); la Sociedad Anónima Ziurrena, que fabricaba el cemento del mismo nombre en Sestao (Vizcaya); la fábrica de Dolores Pozo en Atarfe(Granada), con su cemento artificial "Centauro"; la Compañía Valenciana de Cementos Portland, S.A. con fábrica en Buñol (Valencia), fabricante del cemento "Raff"; "Cementos Cosmos", de Villadecanes (León), con su cemento "Cosmos"; la Sociedad Andaluza de Cementos Portland, que en su planta de Morón de la Frontera fabricaba el cemento "El Caballo"; y la Compañía Mercantil Anónima "Portland Valderribas", que producía el cemento del mismo nombre[62].

Algunas continúan en activo en nuestros días.

NOTAS AL CAPÍTULO TERCERO

[1] Rebolledo, José Antonio: *Manual del constructor*. Madrid, Sáenz de Jubera Hermanos, Editores, 1893. p.p. 48-55.

[2] Celles Azcona, Antonio: *Noticia de la aplicación de los materiales volcanizados de la villa de Olot a ciertas especies de construcciones y mayormente a las de Hidráulica.* Barcelona, Oficina de Antonio Brusi, impresor de Cámara, 1820.

[3] Pardo, Manuel: *Materiales de Construcción.* Madrid, Imprenta y Fundición de Manuel Tello, 1891.

[4] "Industria nacional. Gran fábrica de cemento natural de fraguado rápido de los sres. Olaizola y Compañía (Oiquina). Zumaya", en *La Construcción Moderna.* Año II, nº 4. Madrid, 29 de febrero de 1904

[5] Coignet, François: "Rapport fait à sa majesté l'Empereur Napoleon III sur l'état actuel des blocs de béton aggloméres à base de chaux exécutés à Saint Jeant de Luz par François Coignet, ingénieur civil et manufacturier", en *Bétons agglomérés apliqués à l'art de construire.* Paris, E. Lacroix, 1861. p.p. 322-324.

[6] "La industria del cemento en Zumaya", en *Ingeniería.* Año IV, número 126. Madrid, 30 de septiembre de 1908.

[7] Valdés, Nicolás: *Manual del ingeniero y arquitecto.* Madrid, Establecimiento Tipográfico de Gabriel Alhambra, 1870. p.668.

[8] Múgica, Serapio: *Geografía General del País Vasco-Navarro. Provincia de Guipúzcoa.* Barcelona, Establecimiento Editorial de Alberto Martín, 1918. p. 892.

[9] Múgica, Serapio: *Geografía General del País Vasco-Navarro. Provincia de Guipúzcoa*. Obra citada, p.p. 126-128.

[10] Ibáñez Gómez, Maite; Torrecilla Gorbea, Mª José; y Zabala Llanos, Marta: *Cementos Rezola, 150 años de historia.* San Sebastián, Italcementi Group, 1999. p. p. 27-35.

[11] "Cemento Hidráulico", en la *Revista de Obras Públicas.* Año VII, nº 22. Madrid, 15 de noviembre de 1859.

[12] Ferrada, Ventura: *Tratado elemental de las rocas y materiales más usados en construcciones.* Madrid, Imprenta de J. Limia y G. Urosa, 1868. p. 79.

[13] Pelayo y Gómiz, Eduardo: *Experimentos sobre la resistencia y comparación económica de los cementos españoles y extranjeros empleados en el dique de carena construido en la Bahía de Cádiz por la empresa de vapores trasatlánticos A. López y Cia.* Barcelona, Imprenta Peninsular de Mariol y López, 1884. p.p. 3-4.

[14] "Puente sobre el Guadalcotón", en la *Revista de Obras Públicas.* Año XXII, nº 13. Madrid, 4 de julio de 1874

[15] "Notas sobre el cemento empleado en las obras de la carretera de Alcaudete a Granada, que se halla en construcción en los trozos comprendidos entre Alcaudete y Alcalá la Real", en la *Revista de Obras Públicas.* Año XXII, nº 4. Madrid, 15 de febrero de 1874.

[16] "Preguntas y Respuestas", en *El Cemento Armado.* Año I, nº 11. Madrid, noviembre de 1901.

[17] "Crónica Industrial. Fábrica de cemento Portland natural, de D. Juan Miret, S. en C., Barcelona", en *Arquitectura y Construcción.* Año IX, nº 151. Madrid y Barcelona, febrero de 1905.

[18] Pitarch, Antonio y de Dalmases Balañá, Nuria: *Arte e industria en España.* Barcelona, Editorial Blume, 1982. p.254.

[19] Alzola y Minondo, Pablo: *El arte industrial en España.* Bilbao, Imprenta de la Casa de Misericordia Iturride, 1892. Reeditada por el Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en 2000. p.p. 298-299.

[20] "Productos hidráulicos de la fábrica de Comermá", en *Gaceta del Constructor.* año XIV, nº 41. Madrid, 10 de octubre de 1886.

[21] Pitarch, Antonio y de Dalmases Balañá, Nuria: *Arte e industria en España.* Obra citada. p.p. 254-255.

[22] Rodriguez Carril, José: "Piedra artificial", en *La Construcción Moderna.* Año III, nº 3. Madrid, 15 de mayo de 1905.

[23] "Las nuevas escuelas municipales de Bilbao", en *La Construcción Moderna.* Año III, nº 18. Madrid, 30 de septiembre de 1905.

[24] "El Monasterio de Viaceli en Cóbreces (Santander)", en *El Hormigón Armado*, año VI, nº 35. Sestao, segundo trimestre de 1907.

[25] "Piedras artificiales y naturales-artificiales sistemas "Deznanfer", en *El Eco de la Construcción*. Año II, nº 32. Madrid, 15 de agosto de 1909.

[26] Valdés, Nicolás: *Manual del ingeniero y arquitecto.* Obra citada, p.p. 660-673.

[27] Pelayo y Gómiz, Eduardo: *Experimentos sobre la resistencia y comparación económica de los cementos españoles y extranjeros empleados en el dique de carena construido en la Bahía de Cádiz por la empresa de vapores trasatlánticos A. López y Cia.* Obra citada p.p. 30-35.

[28] García Arenal, Fernando: "Condiciones que deben exigirse para la recepción de los cementos", en la *Revista de Obras Públicas.* Año XXXV, nº 18. Madrid, 30 de septiembre de 1887.

[29] De Churruca, J.: "Apuntes relativos a los ensayos de recepción que se efectúan con el cemento Portland de Boulogne empleado en las obras del puerto de Bilbao", en la *Revista de Obras Públicas.* Año XLIII, nº 16. Madrid, 20 de abril de 1896.

[30] J. Vicat y Compañía: *Cemento Vicat artificial de doble cocción*. Madrid, Establecimiento tipográfico de G. Juste, 1896. p. 15.

[31] Ribera, José Eugenio: "La Asociación Internacional para el ensayo de los materiales de construcción", en la *Revista de Obras Públicas.* Año XLVI, nº 1239 Madrid, 22 de junio de 1899

[32] Martín García, José; Palicio Suárez, José; y Piquero Menéndez, José: *El libro de Box-Tudela Veguín.* Mieres (Asturias), Imprenta Firma, 1998. p.p. 132-133.

[33] Ribera, José Eugenio: *Hormigón y cemento armado, mi sistema y mis obras.* Madrid, Imprenta de Ricardo Rojas, 1902. p.p. 28-34.

[34] Ribera, José Eugenio: "La Asociación Internacional para el ensayo de los materiales de construcción. Comparación entre los cementos de Portland y los de escoria", en la *Revista de Obras Públicas.* Año XLVI, nº 12 Madrid, 6 de julio de 1899.

[35] Cárcamo, Joaquín y Rossel, Jaume: *La fábrica Ceres de Bilbao. Los orígenes del hormigón armado y su introducción en Bizkaia.* Bilbao, Colegio Oficial de aparejadores y arquitectos técnicos de Bizkaia,, 1994. p.p. 73-76.

[36] "Crónica e información. Société génerale de cementos Portland de Sestao", en *La Construcción Moderna.* Año VIII, nº 16. Madrid, 30 de agosto de 1910.

[37] Ibáñez Gómez, Maite; Torrecilla Gorbea, Mª José; y Zabala Llanos, Marta: *Cementos Rezola, 150 años de historia.* Obra citada p. p. 37-39.

[38] "Crónica e Información. Cementos nacionales", en *La Construcción Moderna.* Año V, nº 23. Madrid, 15 de diciembre de 1907.

[39] García Benítez, José: "La industria nacional. La Compañía de cementos gaditanos", en *La Construcción Moderna.* Año I, nº 21. Madrid, 15 de noviembre de 1903.

[40] "Compañía de Cementos Gaditanos S.A. (antes marca Lavalle)", en *El Cemento Armado.* Año III, nº 1. Madrid, enero de 1903.

[41] "Información. Nueva fábrica de cemento Portland y cal hidráulica de M.C. Butsems y Fradera, en las costas de Garraf (Sitjes)", en *El Cemento Armado.* Año III, nº 7. Madrid, julio de 1903.

[42] "Crónica e Información. Una nueva fábrica de portland artificial en España", en *La Construcción Moderna.* Año III, nº 18. Madrid, 30 de septiembre de 1905.

[43] Sainz de los Terreros, Luís: "Los cementos Portland en España", en *La Construcción Moderna.* Año IV, nº 18. Madrid, 30 de septiembre de 1906.

[44] "Crónica e Información. Cementos Nacionales", en *La Construcción Moderna.* Año V, nº 14. Madrid, 30 de julio de 1907.

[45] "Crónica e Información. Cementos nacionales", en *La Construcción Moderna.* Año V, nº 23. Madrid, 15 de diciembre de 1907.

[46] "Crónica e Información. Una nueva fábrica de portland y cementos", en *La Construcción Moderna.* Año III, nº 22. Madrid, 30 de noviembre de 1905.

[47] Papaceit, Ernesto: "Cemento artificial Ayala", en *La Construcción Moderna.* Año VI, nº 10. Madrid, 30 de mayo de 1908.

[48] "Compañía general de asfalto y portland «Asland»", en *La Construcción Moderna.* Año III, nº 11. Madrid, 15 de junio de 1905.

[49] Palomar Llovet, Patricio: *La historia más que centenaria de un importante sector: la industria del cemento.* Barcelona, VCA editors, 2003. p.p.41-42.

[50] "La Industria nacional". Compañía general de asfalto y portland «Asland»", en *Arquitectura y Construcción.* Año IX, nº 159. Madrid y Barcelona, octubre de 1905.

[51] "Crónica en Información. La industria nacional de los cementos Portand", en *La Construcción Moderna.* Año V, nº 18. Madrid, 30 de septiembre de 1907.

[52] "Crónica e información. Compañía General de Asfaltos y Portland «Asland»", en *La Construcción Moderna.* Año VIII, nº 2. Madrid, 30 de enero de 1910.

[53] "Crónica e información. Proyecto de fábrica de cemento en Santander", en *La Construcción Moderna.* Año VII, nº 7. Madrid, 15 de abril de 1909.

[54] "Crónica e información. Sociedad aragonesa de Portland artificial", en *La Construcción Moderna.* Año VIII, nº 13. Madrid, 15 de julio de 1910.

[55] "La industria nacional del portland artificial", en la *Revista de Obras Públicas*, año LXIV, nº 2125. Madrid, 15 de junio de 1916.

[56] "Información industrial. Industria y navegación. Nueva fábrica de portland artificial", en *Ingeniería,* año VIII, nº 275. Madrid 20 de noviembre de 1912.

[57] López Franco, Antonio: "Una nueva fábrica de cemento portland", en la *Revista de Obras Públicas*, año LXIV, nº 2107. Madrid, 10 de febrero de 1916.

[58] Almansa Martínez, Ana y Méndiz Noguero, Alfonso: *Financiera y Minera en Andalucía, Cien años de historia industrial.* Málaga, Sociedad Financiera y Minera, 2000. p.p. 20-21.

[59] "Proyecto de Construcción de una fábrica de cemento en el sitio denominado «Torre de las Palomas»". 1914. Fernando Guerrero Strachan, arquitecto. Archivo Municipal de Málaga, legajo 1386, carpeta 57.

[60] "Crónica e Información. Nueva fábrica de cementos", en *La Construcción Moderna.* Año XVI, nº 22. Madrid, 30 de noviembre de 1918.

[61] Gallego Ramos, Eduardo: *Estudios y tanteos. Cemento armado.* Madrid, Establecimiento tipográfico de Antonio Marzo, 1918. p. p. 58-59.

[62] González, Félix: *Ensayos de cementos*. Madrid, Imprenta militar del centro electrotécnico, 1926. p. p. 164-174.

SEGUNDA PARTE

CAPÍTULO CUARTO:

ORÍGENES DEL HORMIGÓN ARMADO EN ESPAÑA

1) Los precursores.

Como había sucedido antes en otros países, la construcción con hormigón armado arrancó en España a partir de una serie de experiencias con hormigón en masa que se fueron sucediendo a lo largo del siglo XIX.

La abundancia de yacimientos de cemento natural había impulsado cierta tradición en el uso de hormigón, favorecida asimismo por la gran extensión de la práctica del adobe. Aunque el uso de estos cementos era habitual, no fue hasta los años cuarenta del siglo, con la difusión de los trabajos de Vicat, cuando los ingenieros empezaron a admitirlo como un material de construcción válido.

Al principio tendría aplicaciones menores, principalmente como revestimiento para obras en contacto con el agua. De este modo, en 1846, con ocasión de la construcción de un puente de madera sobre palizadas de pilotes en las inmediaciones de San Sebastián, *"se ideó rodear de cemento la parte inferior de los pilotes con el objeto de probar si de esta manera podían preservarse de los ataques de los gusanos marinos".* Observados los pilotes seis años después se comprobó la eficacia de esta solución, poniéndose también de relieve *"la bondad del cemento de Guipúzcoa para su inmersión en agua de mar"* [1].

A mediados del siglo XIX era habitual entre los ingenieros de las provincias vascas el empleo de morteros hidráulicos y hormigones en trabajos marítimos. Así, muy temprana utilización debieron tener en el Puerto de Bilbao, pues en 1848 ya fue preciso arreglar las obras de hormigón de sus muelles. El encargado de la reparación fue el ingeniero Félix Uhagón, quien tras estudiar las investigaciones de Vicat sobre problemas similares que habían aparecido en los puertos de Toulon, Fort Boyard y La Rochelle, dio con la composición más adecuada de los hormigones para evitar su descomposición por el agua de mar. De esta forma llevó a cabo las obras de reparación, que seis años después se encontraban en perfecto estado[2].

En 1863 el coronel de ingenieros Nicolás Valdés afirmaba que *"la cal hidráulica de San Sebastián, el cimento romano, el de Parker, el de Portland (natural y artificial) y otros varios de semejantes principios de composición han dado satisfactorios resultados, aplicados como elementos de hormigón en tan multiplicadas construcciones bajo el agua y al aire libre"*[3]. Como ejemplo citaba las nuevas casamatas de las fortificaciones de la Punta de San Felipe, en Cádiz, construidas poco antes con hormigón de cemento de San Sebastián. Considerando que eran *"tales las ventajas que, a más de su resistencia, ofrecen dichas obras por la economía, facilidad, prontitud y belleza con que se ejecutan y quedan luego terminadas"* se decidió a emplearlo regularmente en la multitud de obras de fortificación que habían de hacerse en la comandancia de la Isla de Cuba, donde estaba destinado. Para hacerlo con la mayor eficiencia posible organizó una serie de experiencias, con objeto de determinar la resistencia de los

hormigones y fijar las proporciones más adecuadas de sus materiales constituyentes. De este modo, construyó varias bóvedas de ensayo, que incluso probó con cargas dinámicas para determinar su resistencia a la caída de las bombas.

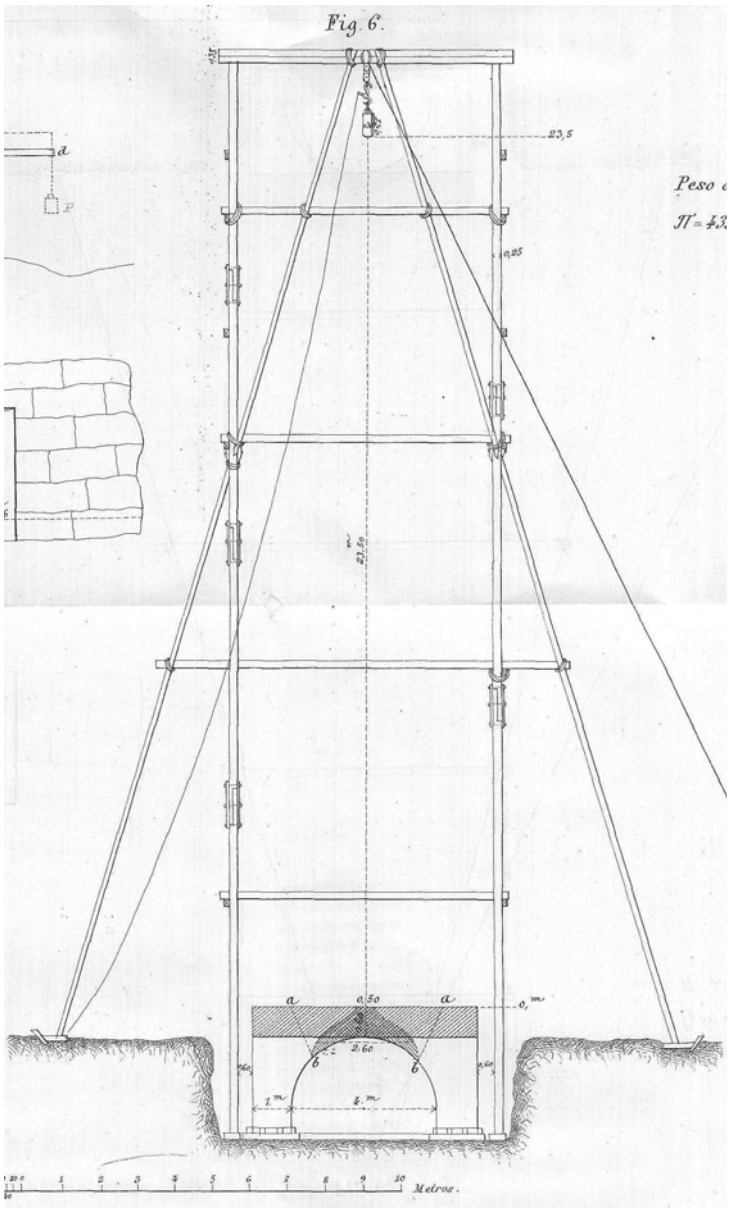


Figura 1. Martinete para reproducir el impacto de una bomba sobre una bóveda de hormigón. Nicolás Valdés, coronel de ingenieros. Cuba, 1863. En el Memorial de Ingenieros del Ejército. Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Por esos años François Coignet venía haciendo importantes progresos en Francia con su hormigón, que no pasarían desapercibidos en nuestro país. Hacia 1858 se constituyó una sociedad hispano francesa, la *Internacional,* para fabricar este nuevo material de construcción en nuestro país. Su dirección se encomendaría a Constantino Sáez y Moya, profesor del Instituto Industrial, quien, tras visitar la fábrica matriz en París, estudiaría su posible implantación en España, y más concretamente en Madrid. Le auguraba Don Constantino un espléndido futuro, considerando que por su economía y por su facilidad de construcción "*estaba llamado a transformar nuestros áridos alrededores en preciosas posesiones, en donde*

saldrán construcciones tan elegantes y caprichosas como la imaginación que estén destinadas a recrear". Ponderaba así mismo su versatilidad, destacando dos aplicaciones principales: *"la construcción de los edificios bajo todas las formas y condiciones, a los pisos, techos, etc., y por su propiedad hidráulica, a los revestimientos y construcciones completamente hidráulicas"*[4].

En lo que se refiere a la arquitectura, las previsiones de Don Constantino tardarían casi tres cuartos de siglo en verse cumplidas. Como sucedía en el país de procedencia de la *piedra Coignet*, los arquitectos rechazaban el empleo del hormigón por considerarlo un material inadecuado para realizar formas artísticas.

No obstante, algunos técnicos con más sentido práctico propugnarían su utilización para resolver el angustioso problema de la vivienda obrera, que por esos años, en pleno apogeo de la Revolución Industrial, empezaba a manifestarse con toda su virulencia.

Recogiendo las experiencias realizadas hasta entonces en otros países, el ingeniero de caminos José María Rebolledo concibió su proyecto de *Casas para obreros o económicas*, que daría a conocer en 1871. Buscando que el sistema de edificación adoptado proporcionase *"la mayor economía sin menoscabo de la conveniente solidez"* eligió para sus casas una estructura de muros resistentes de hormigón similar a la utilizada en 1867 por los británicos Shepard y Newton en sus casas de la Avenida Daumesnil de París[5].

Presentó tres modelos de vivienda, estando formado el más sencillo por casas pareadas de piso bajo y dos plantas superiores. Zapatas corridas y muros de carga de hormigón moldeado constituían la parte fundamental de la estructura, resolviéndose los forjados con viguería de madera.

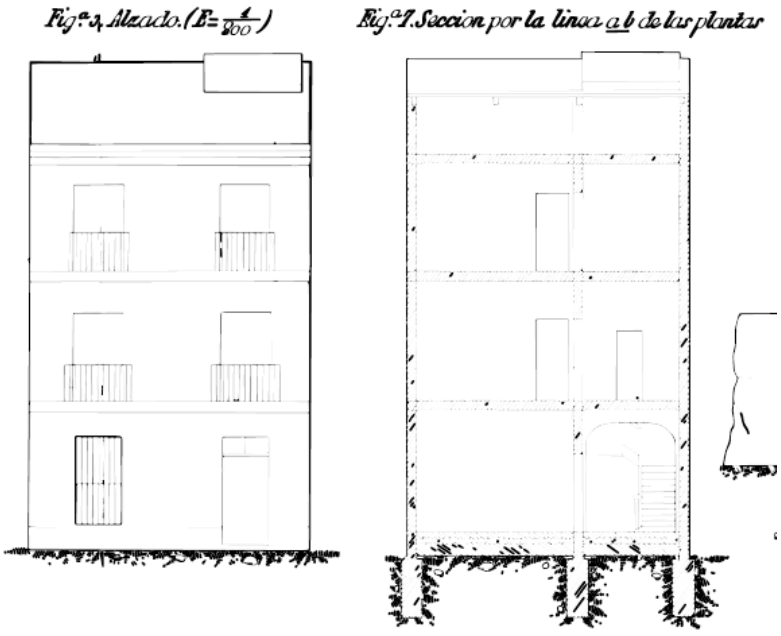


Figura 2. Proyecto de casas para obreros. Primer tipo. 1872. José Antonio Rebolledo, ingeniero de caminos. En Rebolledo, *Casas para obreros o económicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Diez años más tarde, el arquitecto Mariano Belmás tomaría el testigo de las casas baratas para obreros con sus *Construcciones económicas*, un proyecto de viviendas adosadas de bajo coste construidas con muros de hormigón.

Razonaba Don Mariano que la arena era el material más abundante en Madrid y que por ello tenía que servir de base para la construcción económica. Así que, inspirado quizás en experiencias foráneas, desarrolló un tipo de hormigón con ella como componente fundamental: *combinada la arena con otros materiales en proporciones diversas, y manipulada la combinación por un procedimiento especial, he levantado sencilla y económicamente muros que no son más que verdadera piedra, pero con la doble ventaja de que se constituye desde los cimientos hasta la parte superior un monolito. Para la manipulación no he necesitado ni se precisan obreros especiales. El aspecto de las fachadas no se altera por efecto del tiempo. Y la solidez de estas edificaciones aumenta cada día más*[6].

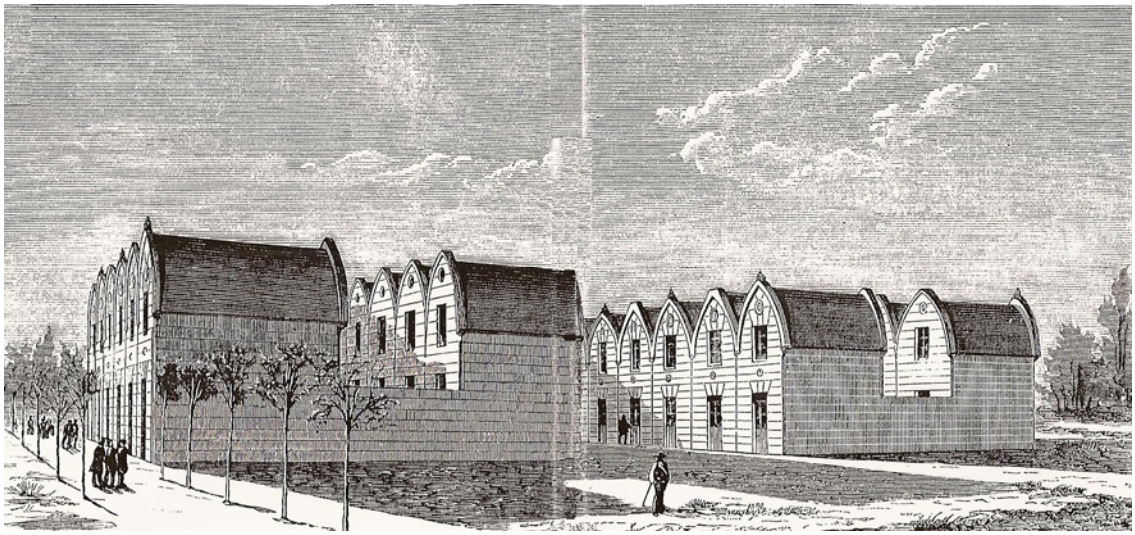


Figura 3. Proyecto de viviendas económicas. 1881. Mariano Belmás, arquitecto. En Belmás, *Las construcciones económicas del sistema Belmás bajo los puntos de vista social, económico y constructivo.* Biblioteca Nacional de España

No se tiene noticia de que estas propuestas de edificación se llevaran a la práctica. En cambio, en la ingeniería sí que haría fortuna el hormigón, especialmente en las obras marítimas por su valiosa capacidad de fraguar debajo del agua.

En 1865 el ingeniero de caminos Salustio González Regueral, inspirado en los trabajos del francés Poirel en el puerto de Argel, propuso la utilización de bloques de hormigón para la construcción del muelle de Santa Catalina en Gijón. También contemplaba su vertido sobre las escolleras sumergidas, mediante cajones y con la ayuda de buzos, consiguiendo de esta forma espaldones monolíticos. Para formar los hormigones utilizó cemento natural de Zumaya[7].

La misma solución de bloques de hormigón se volvería a utilizar algunos meses más tarde en las obras de revestimiento del muelle de Tarragona, cuya composición se determinó mediante ensayos[8]. En agosto de 1866, con ocasión de su utilización en el revestimiento de los muelles del para las del puerto de Barcelona, se consideraba que los bloques de hormigón eran

"uno de los más poderosos recursos en las obras hidráulicas, y especialmente en los puertos". Los de Barcelona se confeccionaron con cemento natural de Theil[9].

En el último cuarto de siglo este sistema se generalizó, empleándose en los puertos de Santa Cruz de Tenerife (1872)[10], Cádiz (1883)[11], Barcelona (1887)[12], Manila (1889)[13], Bilbao(1891)[14] y Cartagena(1896)[15].

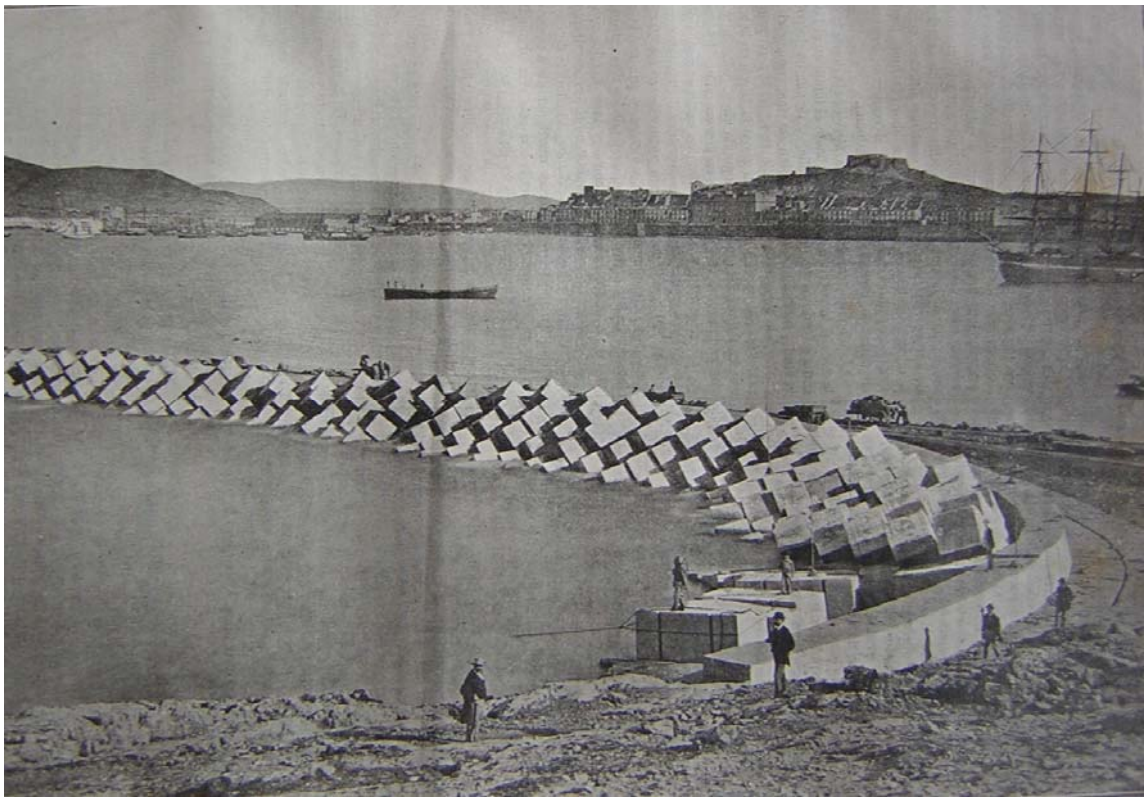


Figura 4. Puerto de Cartagena. Bloques de hormigón en el dique de Curra. 1896. En la *Revista de Obras Públicas.*

Inicialmente, pues, la principal aplicación del hormigón fueron las obras portuarias. No obstante, paulatinamente se iría extendiendo su uso a otros campos de la ingeniería civil, como los puentes. Entre 1862 y 1866 el ingeniero de caminos Ricardo Bellsolá construyó los primeros puentes de hormigón de nuestro país, en la carretera de primer orden de Soria a Logroño. En agosto de 1865 se descimbró el del río Lavalé, constituido por tres arcos de diez metros de luz, hechos de una sola pieza de hormigón hidráulico[16].

Bellsola hizo con hormigón todas las obras de fábrica en una sección de veinticinco kilómetros de la citada carretera. En el proyecto primitivo, obra del ingeniero Adolfo de Ibarreta se había contemplado hacerlas con fábrica de ladrillos. Sin embargo, las dificultades para encontrarlos a precio razonable en la zona y la circunstancia de que en los alrededores se producía un cemento de calidad aceptable movieron a Bellsolá, encargado de las obras, *"a construir todas las bóvedas con hormigón hidráulico"*. Con este procedimiento se hicieron, además del citado puente sobre el río Lavalé, siete tajeas, nueve alcantarillas de hasta tres metros de luz y tres pontones en arco de medio punto (de cuatro y seis metros de luz). A estas

obras habría que sumar el puente de Lumbreras sobre el río Iregua, formado por tres arcos carpaneles de diez metros de luz, con un espesor en la clave de noventa centímetros[17].



Figura 5. Puente de Lumbreras sobre el río Iregua (Soria). 1866. Ricardo Bellsolá, ingeniero de caminos.

Tendrían que pasar diez años hasta que otro ingeniero de caminos, Pascual Landa, se decidiera a utilizar el hormigón en un puente. Sería con ocasión de la reconstrucción del de Luchana, destruido por los carlistas en el sitio de Bilbao. Había que de levantar de nuevo el arco central y reparar ligeros desperfectos en los laterales. Como había sucedido con los puentes de Bellsolá, se recurrió al hormigón ante la imposibilidad de hacerlo con materiales tradicionales. En el proyecto redactado en diciembre de 1874 se contemplaba su reparación con fábricas tradicionales, *"pero como el estado del país en aquella época oponía dificultades para procurarse materiales en la estrecha zona que a uno y otro margen de la ría se hallaba libre de fuerzas enemigas, se pidió nueva autorización a la Superioridad para modificar el proyecto y emplear el hormigón Coignet, a fin de que esta obra sirviera de ensayo e hiciese ver la conveniencia de utilizar este sistema en obras que se hallasen en condiciones análogas"*[18].

Las obras consistieron básicamente en la reparación del arco central, de once metros de luz. Se tuvo que comprar un amasador en el extranjero, con el que además de fabricar el hormigón necesario para el puente, se hicieron algunas experiencias con materiales de la zona.

El puente se puso en servicio en diciembre de 1875. El ingeniero Landa, satisfecho de los resultados, admitía al final que "*para obras en que dicha clase de materiales* [tradicionales] *estén a gran distancia y los transportes sean difíciles, puede tener una aplicación útil el hormigón Coignet".*

Pero en la práctica no tendrían mucha repercusión estas primeras experiencias de puentes de hormigón. En luces importantes la construcción de puentes metálicos estaba en pleno apogeo y para luces reducidas era muy difícil vencer la inercia a utilizar la fábrica de piedra tradicional. No obstante, su uso era común en trabajos auxiliares, como el en que 1881 le dio el ingeniero Fermín Manso de Zúñiga en su proyecto de puente sobre el río Calamantio, para la carretera de tercer orden de Lerma a la Venta de la Estrella. Tenía una bóveda de sillería de 21 m de luz cuyo trasdós se cubría con una capa de hormigón hidráulico[19].

Hasta un cuarto de siglo después, cuando la técnica del hormigón armado empezara a dar sus primeros pasos, no se volvería a utilizar el hormigón como material estructural en nuestro país.

Otro campo donde empezó a tener aplicación el hormigón sería la ingeniería sanitaria. Es de suponer que a lo largo del último cuarto del siglo XIX fueron empleándose de forma creciente tuberías y elementos de saneamiento de hormigón. No obstante, su primera utilización a gran escala no llegaría hasta 1890, cuando el ingeniero Recaredo Uhagón lo adoptara para el plan de saneamiento de Valladolid. En la conducción de abastecimiento de agua empleó *"hormigón de mortero de puzzolana"* en todas las obras de fábrica (estribos de acueductos, puentes y pasos superiores, muros de sostenimiento, obra de desviación de cauce del río Esgueva,...) También lo aplicó como revestimiento del canal de la caja del canal, en un espesor de veinte centímetros sobre cajeros y solera.

En cuanto a los materiales de las tuberías de saneamiento, sostenía que debían *"ofrecer las mayores garantías de impermeabilidad y en su constitución química suficiente resistencia a la acción corrosiva de las aguas de alcantarilla y oponerse también al paso de los micro-organismos".* Para Don Recaredo estaba claro que *"el hormigón hidráulico cuidadosamente ejecutado es el que reúne, después de los compuestos artificiales llamados porcelana y gres, mejores condiciones para el caso. Entre los cementos, el de Portland de primera calidad es casi el único que resiste a la acción corrosiva de las aguas sucias y con él deberá ejecutarse las fábricas que hayan de estar en contacto con ellas."*

En consecuencia, en el proyecto prescribía tuberías de gres para diámetros inferiores a treinta centímetros, y *"para las tuberías de 0,35 a 0,90 de diámetro se emplearán tubos fabricados en la localidad con un hormigón especial comprimido que en Inglaterra se conoce con el nombre de rock-concrete"*, que se componía de piedra silícea y de ladrillos o tejas de deshecho machacados y cemento Portland[20].

Así pues, en las últimas décadas del XIX la construcción hormigonada estaba comúnmente aceptada. A partir de ahí empezaría a evolucionar con la secuencia normal que la llevaría hasta el hormigón armado. Como en otros países, empezaron a aparecer las primeras tentativas para reforzar construcciones de hormigón con piezas metálicas.

La más temprana de la que se tiene noticia corrió a cargo del general del cuerpo de ingenieros del ejército Ángel Rodríguez de Quijano y Arroquia. En su monografía "La fortificación en 1867" propugnaba la construcción de obras de defensa (casamatas, parapetos, etc) con hormigón reforzado con barras de hierro. Fijándose en la versatilidad de las tradicionales construcciones defensivas españolas de tapial, a las que se podía dar una forma convenida por ser moldeada, propuso hacerlas con hormigón y refuerzos de hierro:"*la mejor manera de construir para el cañón consiste en emplear masas monólitas* (sic) *de hormigón ordinario y mejor las del apisonado, incrustando en ellas trozos de alambre sin orden, o barretas de metal convenientemente colocadas".*

El General Arroquia empleaba el hierro únicamente como un mero refuerzo de la fábrica para aguantar impactos, sin plantearse que pudiera servir para absorber los esfuerzos que el hormigón como material estructural no era capaz de resistir. Sin embargo, su propuesta fue muy importante porque ya contemplaba algunas de las principales cuestiones que entraña la combinación de ambos materiales: la conservación del hierro dentro del hormigón y el comportamiento diferente de los dos componentes frente a las dilataciones. En cuanto a la primera, había constatado que los elementos de hierro se conservaban perfectamente embebidos en el hormigón. Habiendo dejado esto claro, afrontaba el problema de las dilataciones de este modo: *"Resultando casi inoxidable el hierro de esta manera empleado, la única dificultad que habría que vencer en este sistema, es la acción de las dilataciones; pero no creemos insoluble esta cuestión puesto que siendo de escasa sección las barretas , las expansiones transversales que serían las más temibles han de ser muy pequeñas, y las longitudinales que envuelven en mayor importancia quedarán prevenidas dejando libres y a la vista las cabezas sobre los paramentos"* [21]

La importancia de la contribución del general Arroquia al nacimiento del hormigón armado en España no queda empañada por el hecho de que no llevara a la práctica sus ideas en alguna construcción. Las primeras fortificaciones españolas con algo parecido al hormigón armado serían unas baterías de costa construidas en 1896 por el coronel de ingenieros José Marvá y Mayer, que resolvía sus cubiertas con *"una fila de carriles Vignole yuxtapuestos de modo que sus bases se tocan lateralmente […] dejando un hueco entre las almas o nervios verticales que se rellena con hormigón Portland rico en cemento, de piedra menuda, continuándose esta masa por la parte superior y siguiendo hasta tener un espesor de 1,40 m con hormigón de Portand al ¼"* [22]*.*

En la transición de las construcciones de hormigón reforzado con elementos de hierro al hormigón armado otra de las primeras tentativas en nuestro país corrió a cargo del ingeniero de

caminos José Nicolau Sabater, que según algunos testimonios en 1891 hizo traviesas de ferrocarril *anegando* carriles viejos con hormigón de cemento Portland[23]. Cuatro años más tarde, el coronel de ingenieros Carlos Reyes dispuso viguetas metálicas en el intradós de los dinteles de hormigón de un cuartel de Manila, con objeto de "*resistir los esfuerzos de extensión en dicha zona*"[24].

El empleo de piezas de hierro para reforzar obras de hormigón no era algo extraño al comenzar el siglo XX, especialmente en el ámbito de la ingeniería y las instalaciones industriales. De ello podían dar fe algunas construcciones de carácter utilitario, como el depósito para la aguada de los trenes en la estación de Ferrocarril de Martos (Jaén), terminada en 1902.

Se trataba de un depósito exento, hecho con un mortero de cemento natural y escorias de los trenes, reforzado con un rudimentario armado de barras horizontales y verticales,



Figura 6: Antiguo Depósito de agua de la Estación de Ferrocarril de Martos (Jaén). Hacia 1902.

2) Francesc Macià, Claudio Durán y el sistema Monier en España.

Realmente se puede empezar a hablar de hormigón armado en España a partir de los trabajos del ingeniero militar Francesc Macià i Llussà (famoso por su posterior protagonismo en la política española del primer tercio del siglo XX) en 1893.

Se desconoce cuando tuvo su primer contacto con las construcciones del sistema Monier. Lo cierto es que ese año, estando destinado en la comandancia militar de Lérida, se decidió a utilizarlo en varios encargos que tenía por la provincia.

Así, es muy probable que la primera aplicación fuera el revestimiento de un lagar de 3,75 x 2,30 x 2,45 metros para Antonio Codina en Borjas, localidad en la que también construiría un terrado para Antonio Bardía y cuatro lagares de 3,90 x 3,10 m para José Giné[25].

Estas pequeñas obras serían contemporáneas de la primera construcción española de hormigón armado, el depósito de Puigverd. Se trata de un depósito de aguas de mil metros cúbicos de capacidad, descubierto y de planta circular de 25,30 metros de diámetro, proyectado y construido por Macià. Llama la atención el pequeño espesor (seis centímetros) de sus paredes, reforzadas con la malla de alambres característica del sistema Monier[26].



Figura 7. Depósito descubierto de Puigverd (Lérida).1893. Francesc Macià, ingeniero. Cortesía de Josep Maria Albaigès.

El depósito fue terminado el veinte de diciembre de 1893. Cuatro días después, estando completamente lleno de agua, bajó excepcionalmente la temperatura formándose una capa de hielo de diez centímetros, sin que sufriera ninguna alteración[27]. Sería la primera de las vicisitudes por las que tendría que pasar durante los ciento trece años que lleva prestando servicio sin problemas.

Satisfecho con el resultado de estas obras, y viendo que podría ser una buena oportunidad de negocio se decidió a explotar el nuevo sistema de construcción. Seguramente andaría detrás de la patente del sistema de construcción *Macià*, que su hermano Antoni Macià y Llusá, vecino de Villanueva y Geltrú, registró en marzo en 1894[28].

Dicho sistema de construcción se basaba, según las propias palabras de su inventor, en *"asociar el hierro o acero con los materiales pétreos ordinarios a fin de unirlos perfectamente entre sí y hacer homogénea y por consiguiente más resistentes y sólidas todas las obras".* Esquivando mencionar directamente al hormigón, en toda la memoria se insistía en que se trataba de una *"combinación de armazones metálicos combinados* [sic] *con capas de ladrillo"*, de la cual el inventor *"no tenía noticia de que se hubiera utilizado en ningún país".*

No obstante, en este sistema los ladrillos no dejaban de ser un revestimiento para el cuerpo resistente de hormigón armado con el que se formaban bóvedas, depósitos, tuberías y otras aplicaciones diversas. La patente incluía varios planos, entre ellos uno de un depósito circular con una configuración casi idéntica a la del de Puigverd.

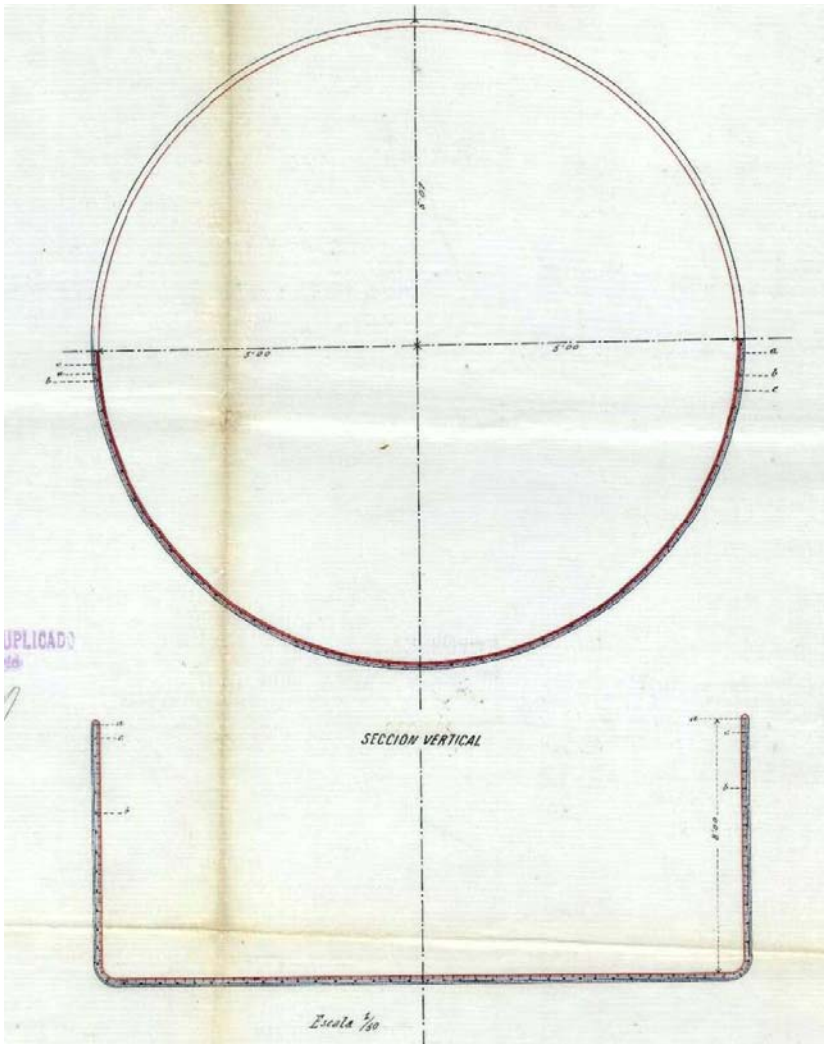


Figura 8. Sistema Macià de construcción combinada de hierro, ladrillo y hormigón. Depósito circular. Patente de 1894. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

Lo cierto es que en lo fundamental este sistema no se diferenciaba mucho de las construcciones de "*cemento y hierro sistema Monier*", que habían sido patentadas en España en 1884 por un tal Ibáñez, privilegio que fue ampliado dos años más tarde por otro representante apellidado García[29].

Probablemente por ello, Francesc Macià no utilizaría el sistema de su hermano en su andadura empresarial, que iniciaría con la sociedad Batlle, Macià y Cia. En su lugar, emplearía el sistema Monier, del cual tenía el privilegio exclusivo *"para España y sus colonias".*

En 1895*,* esta empresa ya tenía en su haber más de cuarenta obras de hormigón armado repartidas por toda Cataluña. La mayoría de ellas fueron pequeños depósitos industriales, como los de aceite y sosa cáustica para Torrella Hermanos en Tarrasa, el de la Industrial Harinera en Reus, los cinco de Pérez y Pik en San Martín de Provensals, el de alcoholes de José Contijoch en Montblanch(Tarragona), los seis de E. Planells en Barcelona o los diez rectangulares que encargó el Ayuntamiento de Reus para su matadero.

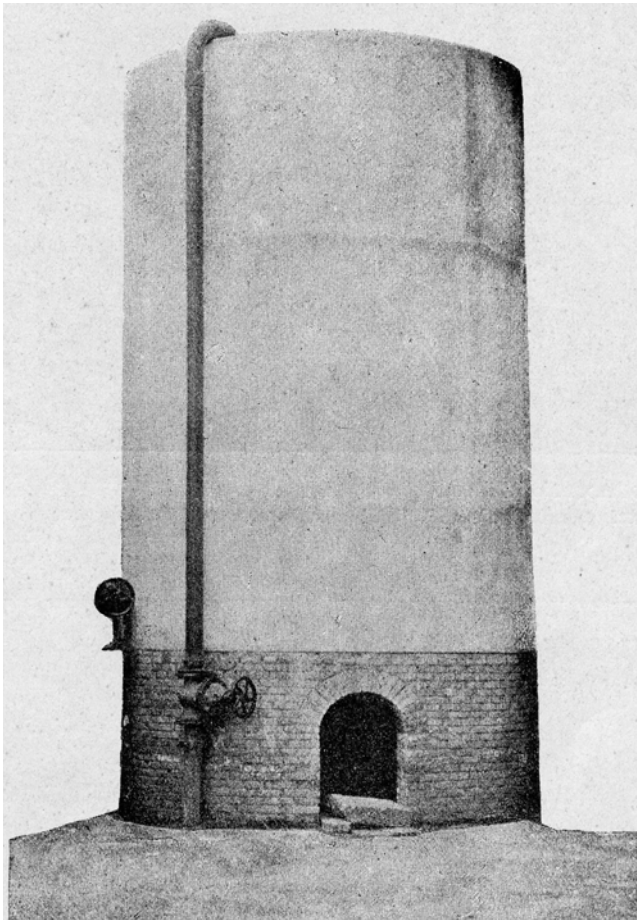


Figura 9. Depósito de 2,80 m de diámetro y 4,00 m de altura para la fábrica de los señores Pérez y Pik de San Martín de Provensals. 1895. Construido por Batlle, Macià y Cia. Col-legi d'Arquitectes de Barcelona.

Aparte de los depósitos se construyeron una fuente monumental en Bellvís por encargo de la comisión de aguas, cinco "pozos Mouras" en el castillo de San Fernando de Figueras,un albañal en Gracia para el Ayuntamiento de Barcelona y por encargo de Ribó y Tapies un establo, abrevadero, enfermería y depósitos en Santa Coloma de Gramanet.

Fuera de Cataluña, sus construcciones también tendrían buena aceptación: en Zaragoza se hicieron seis depósitos (uno para la comandancia de Ingenieros, dos para la Electra Peral Zaragozana, uno para Villarroya y Castellano, uno para Doña Josefa Domínguez y otro para Don Manuel Marraco); en Madrid se construyó un depósito romboidal de doscientos metros cúbicos para la fábrica de Ebets en Chamberí; y en Almería y Murcia la compañía de gas E. Lebón encargó los revestimientos de dos cubas de gasómetro y un depósito de 30 m^3 de capacidad, respectivamente[30].

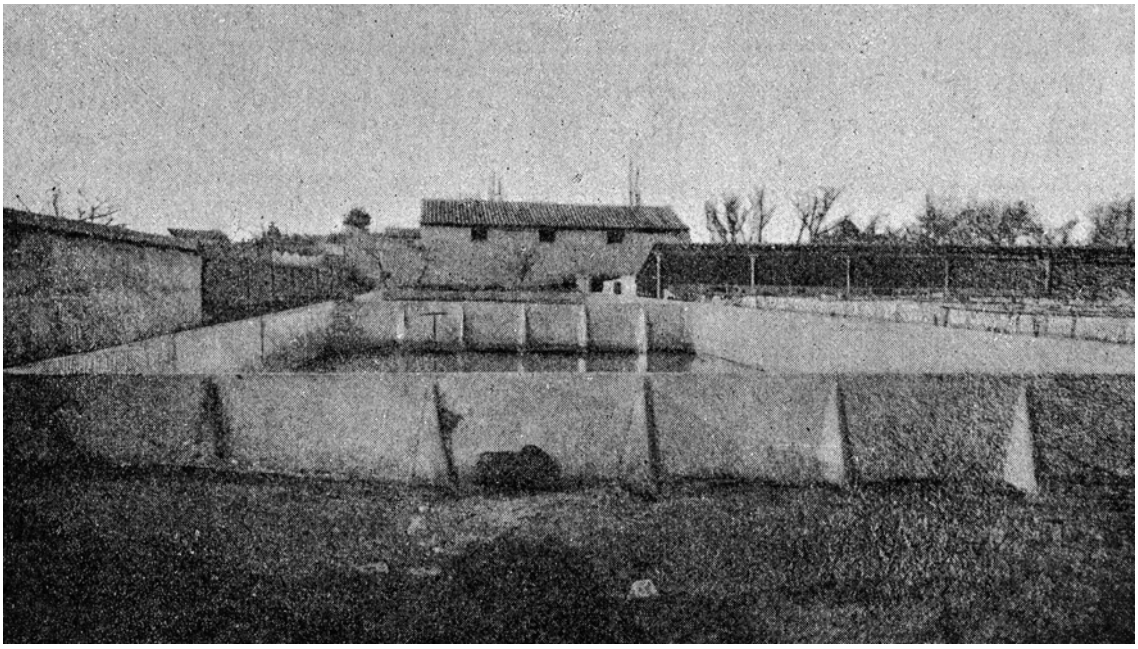


Figura 10. Depósito descubierto de 54 x 14 x 2,10 m^3 construido en Zaragoza para Doña Josefa Domínguez. 1895. Lecanda y Macià, constructores. En el *Catálogo de Construcciones Monier.* Col-legi d'Arquitectes de Barcelona.

Además de estas construcciones, también se dedicaban a la fabricación industrial de objetos de cemento armado. En su catalogo se ofrecían depósitos para agua, vino, alcohol y aceite de hasta mil litros de capacidad, depósitos esféricos refrescadores, lavaderos, pavimentos, cloacas y albañales, pilas para baños, fregaderos y objetos de jardín. Macià y su socio fueron pioneros en estos trabajos en España, lo que les obligó a realizar "*grandes desembolsos para dar a conocer el sistema y educar obreros especiales*"[31].

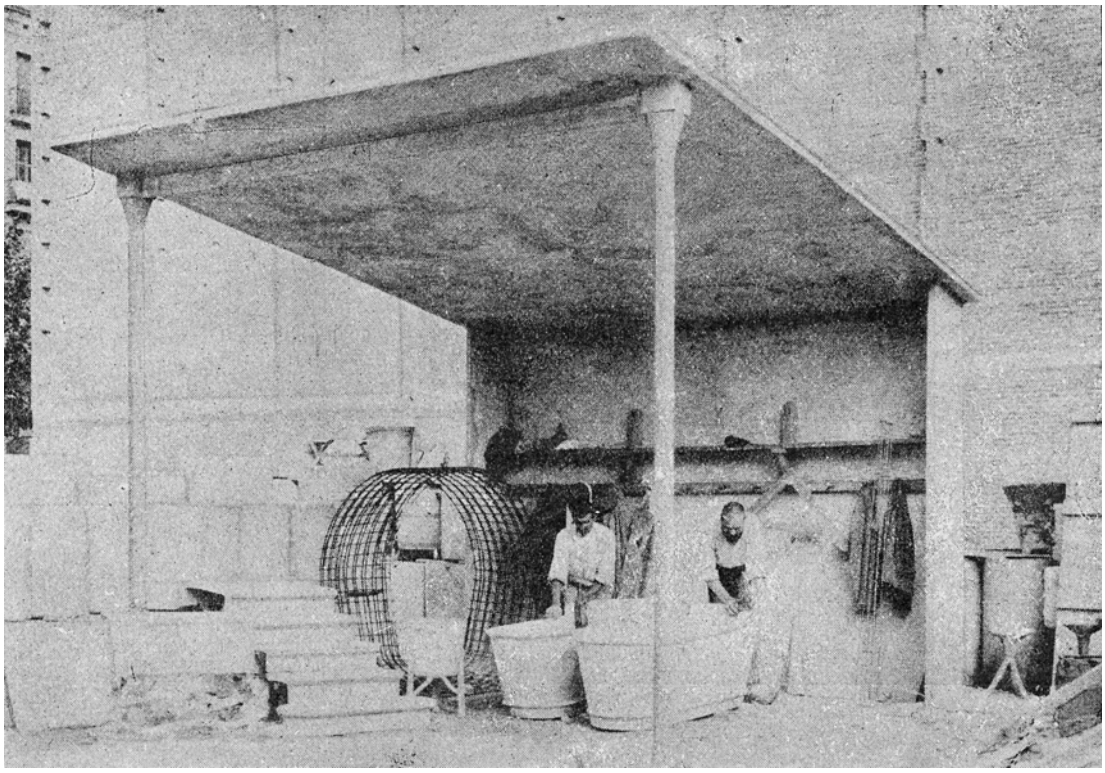


Figura 11. Taller de fabricación de objetos de cemento armado de Lecanda y Macià en Barcelona. 1895. En el *Catálogo de Construcciones Monier.* Col-legi d'Arquitectes de Barcelona.

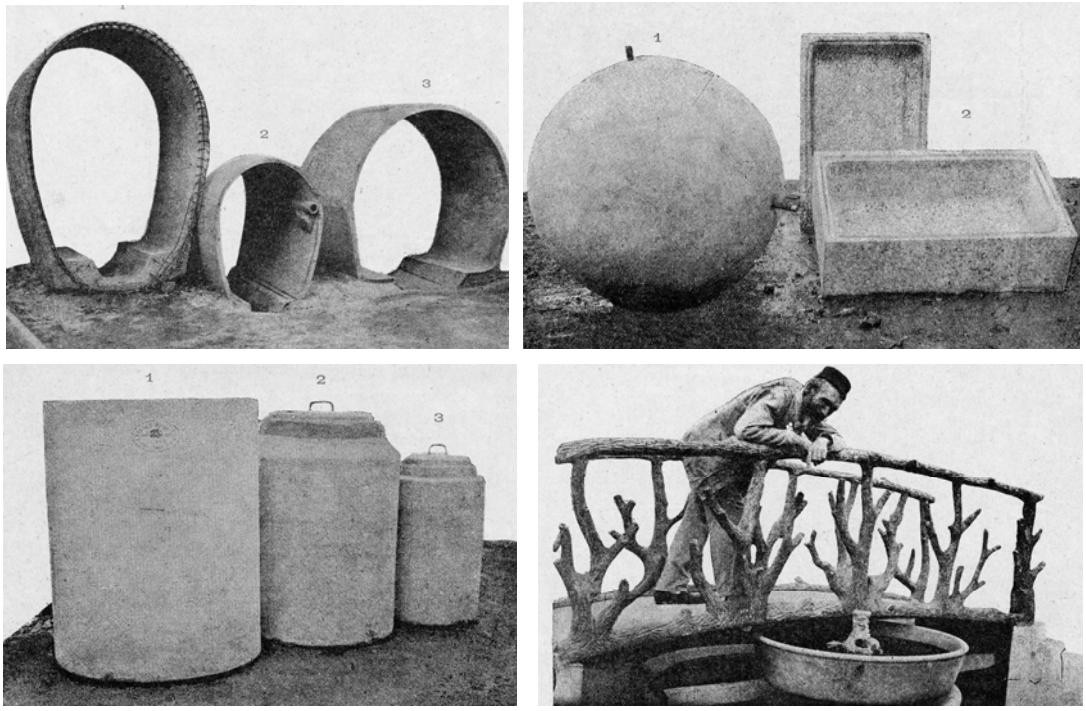


Figura 12. Objetos de cemento armado fabricados por Batlle, Macià y Cia. Cloacas, depósito esférico refrescador y fregaderos, depósitos y puente para jardín.1895. En el *Catálogo de Construcciones Monier.* Col-legi d'Arquitectes de Barcelona.

En 1895 Macià cambió de socio y la empresa pasó a denominarse *Lecanda, Macià y Compañía*. En el momento del cambio estaban en construcción ocho obras, entre las cuales destacaban dos depósitos para la Guardia Civil en Getafe y una cubierta-azotea de 240 m^2 en Zaragoza (para Don Manuel Marraco).

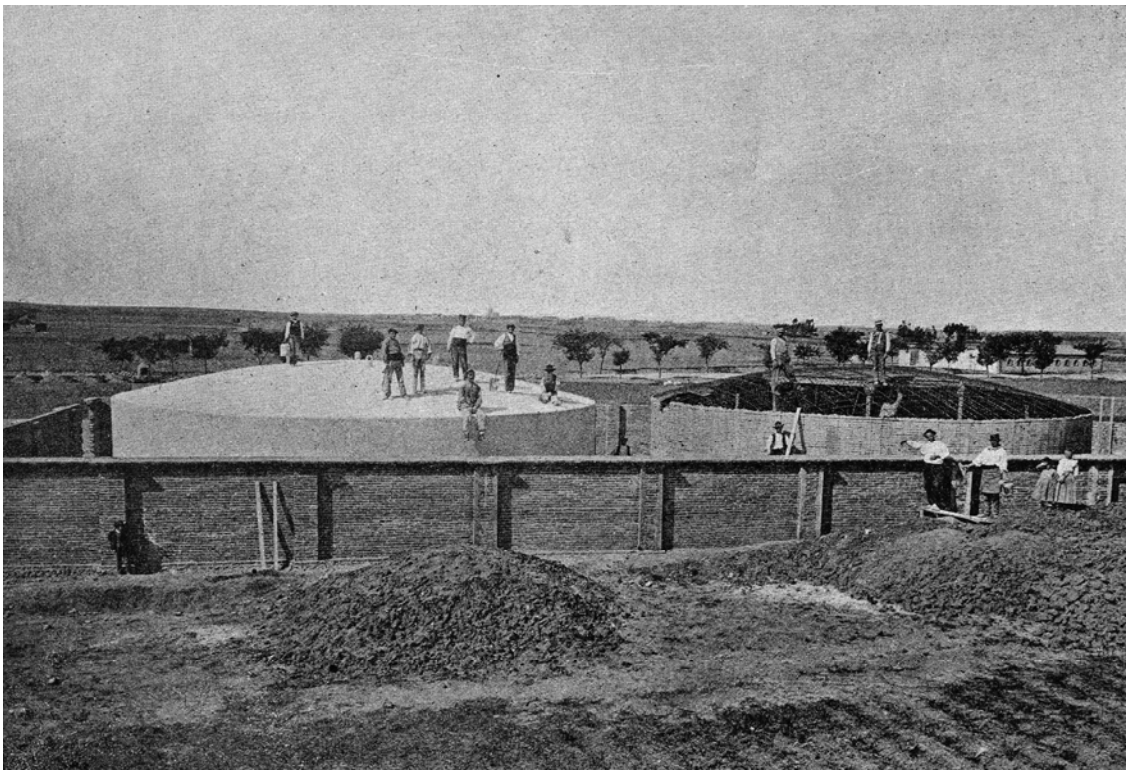


Figura 13. Depósitos de agua para la Dirección General de la Guardia Civil en Getafe. Lecanda, Macià y Compañía, empresa constructora.1895. En el *Catálogo de Construcciones Monier.* Col-legi d'Arquitectes de Barcelona.

Esta es la última noticia que relaciona a Macià con las construcciones Monier y el hormigón armado. Entre su lista de realizaciones no hay obras espectaculares, pero no cabe duda que con él dio sus primeros pasos en España el nuevo material de construcción, que después otros técnicos harían evolucionar. El primero en entrar en escena sería el arquitecto barcelonés Claudio Durán Ventosa, su sucesor al frente de la casa Monier en España.

Durán terminó la carrera en 1888. Cuatro años más tarde fue nombrado arquitecto de la Diócesis de Solsona y desde 1894 arquitecto municipal de San Juan de Horta y arquitecto de la comisión de Ensanche de San Martín de Provensals.

Estando desempeñando esos cargos tuvo que entrar en contacto con las construcciones de hormigón armado de Macià, que le debieron impresionar tanto que se decidió a explotar él mismo el sistema. Algunos testimonios parecen dar a entender que pudo colaborar con Macià en algunas de las obras Lecanda, Macià y Cia.

En efecto, a principios de 1899 el ingeniero de caminos José Eugenio Ribera, que había contratado a Durán para la reparación de un depósito en Mieres, afirmaba que el sistema Monier "*se ha aplicado con grandísimo éxito en un número considerable de depósitos […] merced a los esfuerzos de una sociedad catalana, propietaria de los privilegios del sistema Monier*. […]. *Su concesionario en España, el arquitecto Claudio Durán ha construido numerosos depósitos, entre otros dos en Getafe, que hemos tenido ocasión de ver, para la Dirección de la Guardia Civil*".[32]

Pero esta posible colaboración entre Macià y Durán no se ha podido confirmar con seguridad. Lo cierto es que en algún momento entre 1895 y 1899 Macià dejó la actividad constructora y que Claudio Durán se hizo con los derechos de la patente de Monier, constituyendo una sociedad para explotarlos. Esta nueva empresa se daba a conocer con el nombre de "*Construcciones Sistema Monier de cemento y hierro; Claudio Durán, sociedad en comandita*" en un anuncio publicado en el *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* de 1899.



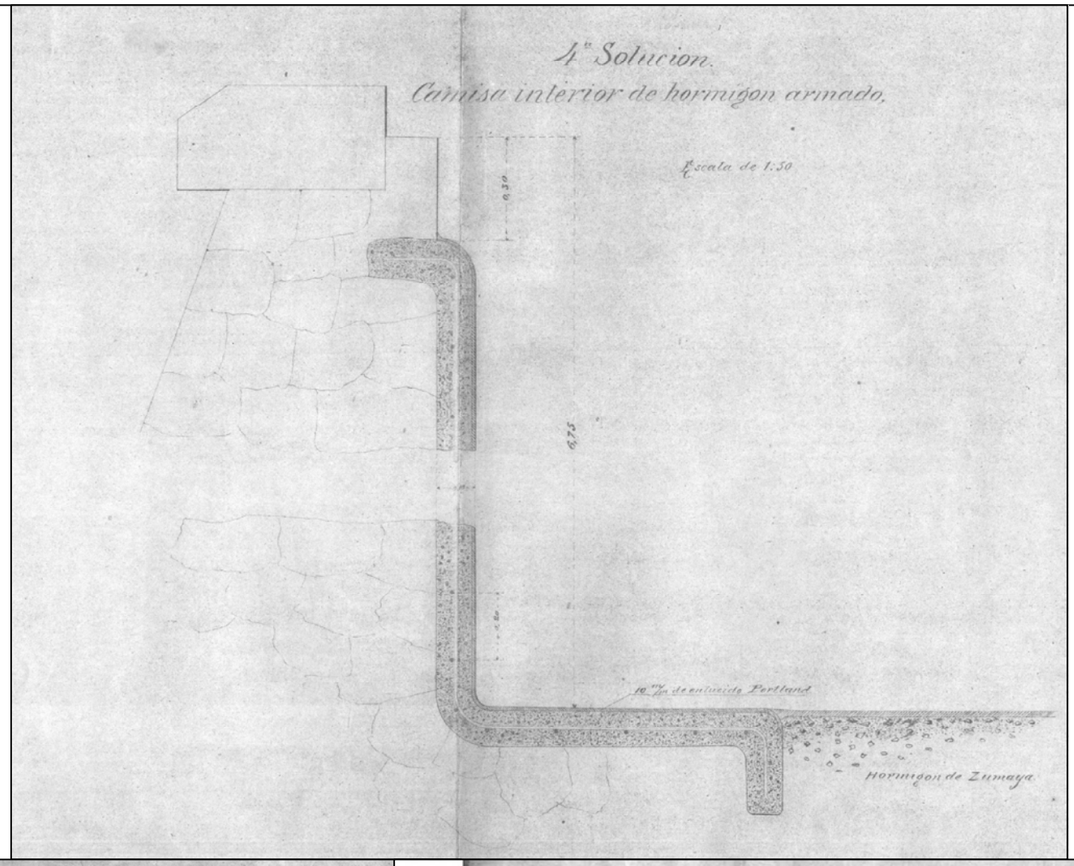
Figura 14. Anuncio de Claudio Durán, Sociedad en Comandita. A*nuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*. 1899. Biblioteca Nacional de España.

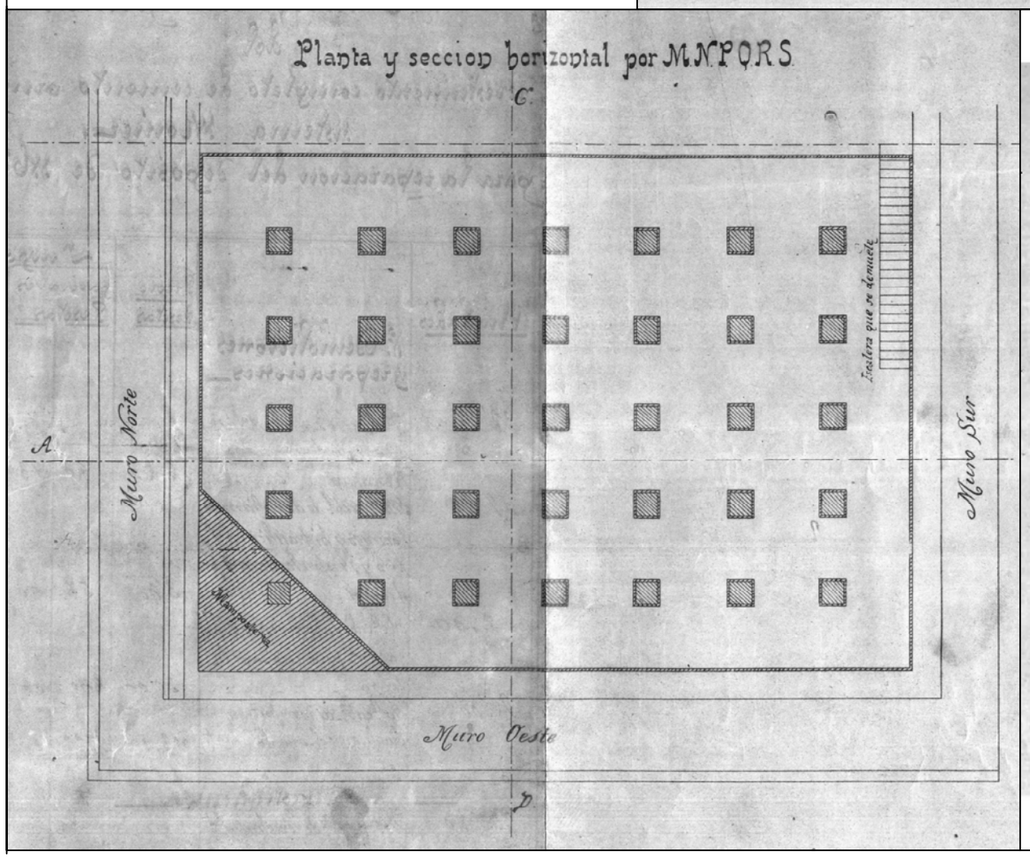
Claudio Durán llevaría el hormigón armado, que hasta entonces *"només servia per fer dipòsits d'aigua"*[33], a la madurez, utilizándolo en nuevas soluciones de arquitectura e ingeniería.

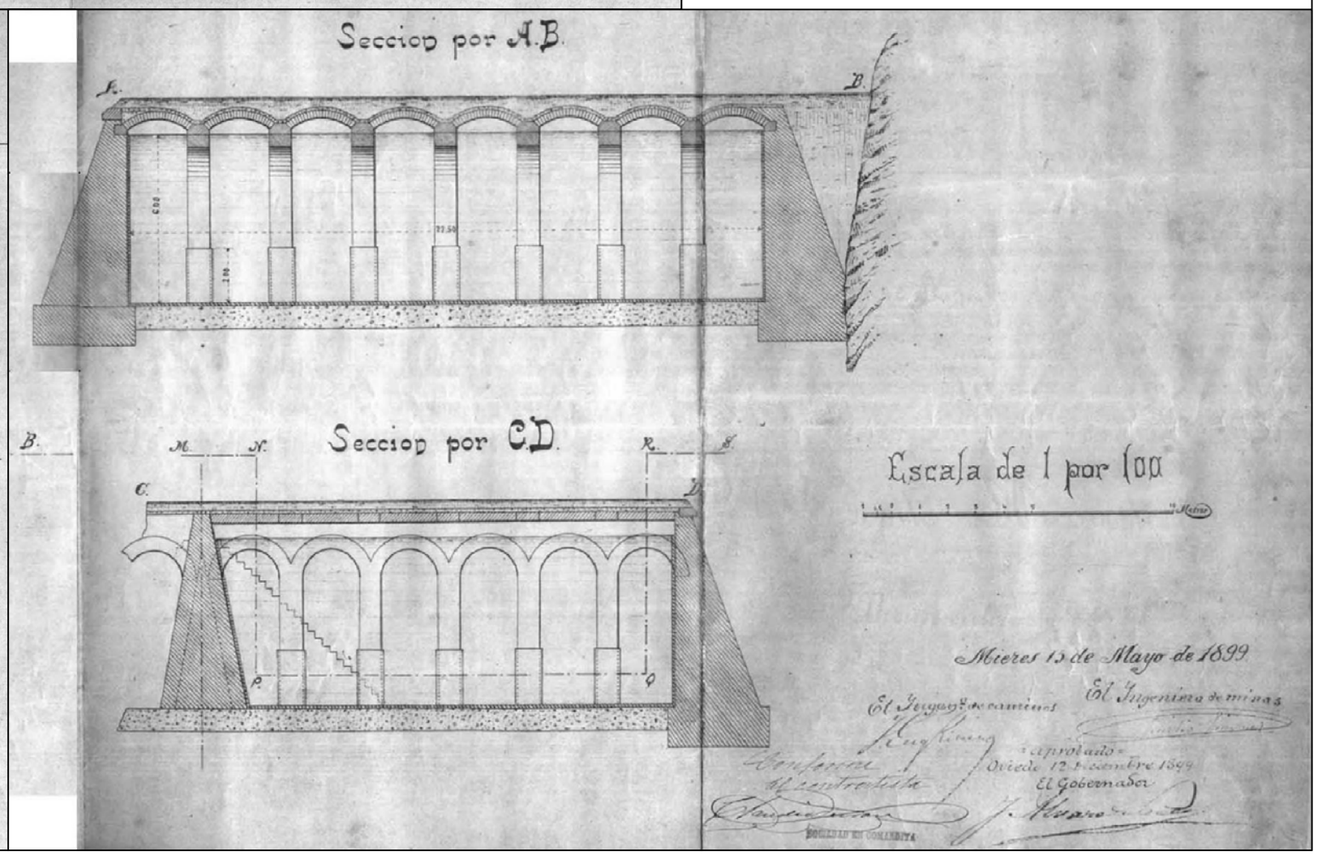
Entre sus primeros encargos estaría la reparación del depósito de Mieres, que ya se ha mencionado antes. Para solucionar su grave problema de filtraciones, entre Ribera y Durán proyectaron una camisa de hormigón armado adosada interiormente a sus viejas paredes de sillería y fábrica de ladrillo[34].

Además de su actividad como arquitecto constructor, Durán siguió con la fabricación industrial de objetos de cemento armado. En sus instalaciones de Barcelona, *a orillas del mar detrás de Montjuich*, fabricaba una gran variedad de depósitos, tuberías y otros objetos de hormigón armado (lavaderos, bañeras, escaleras, etc), que vendía en toda España[35].

En la primera década del nuevo siglo Durán desarrollaría una importante actividad como arquitecto constructor. Los depósitos seguirían siendo sus encargos más solicitados. En 1901


4ª Solucion.
Camisa interior de hormigon armado.
Escala de 1:50
0.30
4.75
10 ms de cemento Portland
Hormigon de Zumaya


Planta y seccion horizontal por M.N.P.Q.R.S.
C.
A.
D.
Muro Norte
Muro Oeste
Muro Sur
Escalera que se demuele


Seccion por A.B.
A.
B.
Seccion por C.D.
C.
D.
M.
N.
P.
Q.
R.
S.
Escala de 1 por 100
Mieres 15 de Mayo de 1899
El Ingeniero de minas
El Gerente
El contratista
Aprobado
Oviedo 12 Diciembre 1899
El Gobernador

construyó, en colaboración con el señor Lamolla, arquitecto municipal de Lérida, dos balsas depuradoras circulares de 4500 m^3 de capacidad cada una, con sus tuberías de conexión.



Figura 15. Balsas depuradoras de Lérida. 1901. Claudio Durán, arquitecto. En *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

También terminó los depósitos para melazas de la Azucarera de Arganda (de nuevo en colaboración con Ribera), de la Ibérica de Zaragoza y de la Industrial azucarera de Alagón, de 300, 539 y 520 m^3 de capacidad, respectivamente[36].



Figura 16. Depósitos para melazas de la azucarera de Arganda (Madrid). 1901. Claudio Durán, arquitecto y José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Aunque también entre su producción destacan algunas construcciones muy singulares, como el palomar de los *Talleres Casa Antúnez*, singular edificio de planta octogonal, levantado sobre columnas muy esbeltas[37].

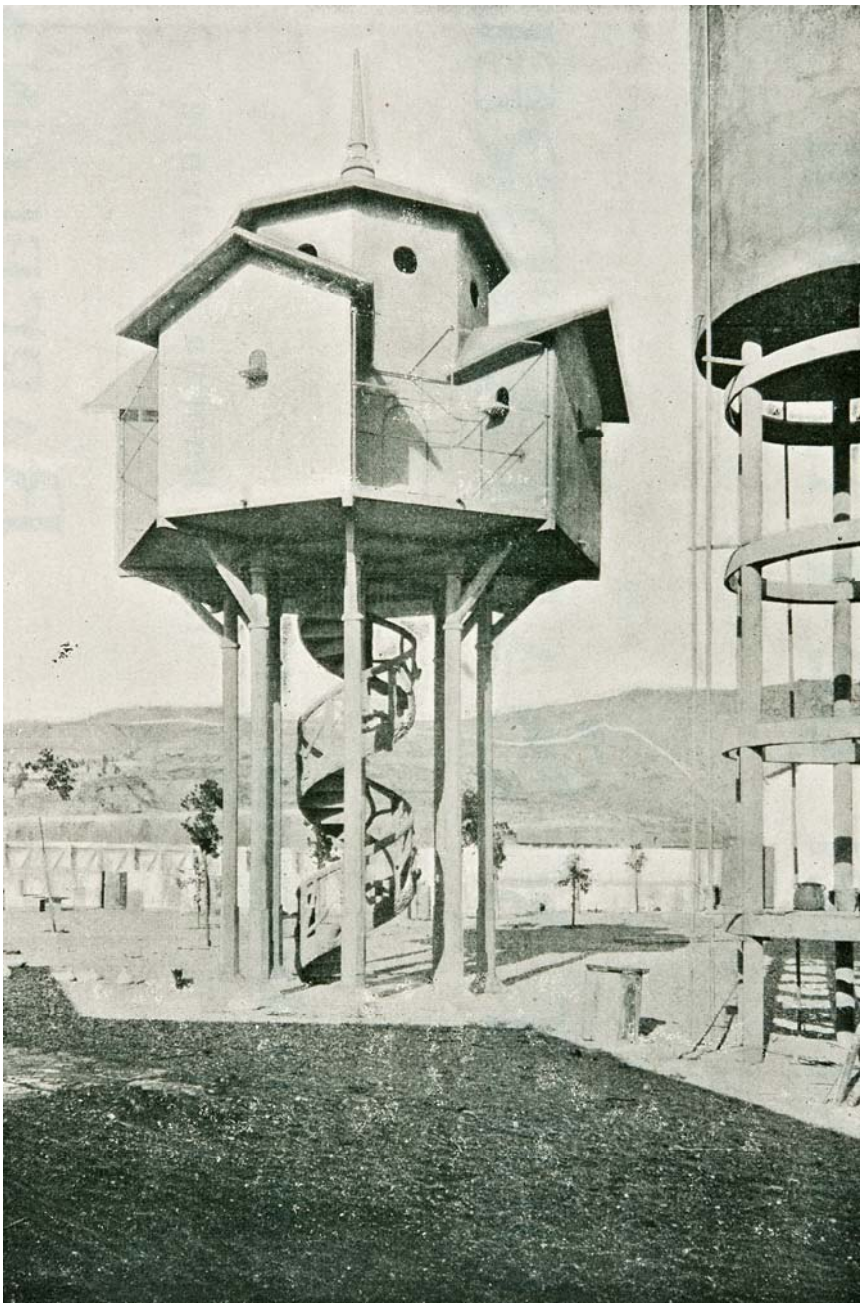


Figura 17. Palomar construido en los talleres de Casa Antúnez. 1905. Claudio Durán, arquitecto. En el *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña.* Biblioteca Nacional de España

Pero sin duda la construcción más representativa de este género fue el monumento a Nuestra Señora de la Antigua en la Peña de Orduña (Vizcaya), un árbol simbólico de 25 m de altura, con una imagen de la Virgen sobre su copa. En esta obra, llevada a cabo entre 1903 y 1904, Claudio Durán actuó con gran generosidad, prestando "*gratuitamente todos sus servicios, sin cobrar nada por sus gastos de dirección ni por sus muchos gastos particulares y otros trastornos".* Únicamente presentó minuta por los jornales de sus obreros especializados, que desplazó desde Barcelona para la construcción[38].



Figura 18. Monumento a Nuestra Señora de la Antigua en la Peña de Orduña (Vizcaya). 1904. Claudio Durán, arquitecto. Archivo del Ayuntamiento de Orduña

Claudio Durán también proyectó y construyó varios puentes. Por ejemplo, en 1910 hizo una pasarela en San Sadurní de Noya, sobre el río que da nombre a esta localidad catalana. Estaba formada por trece tramos rectos de diez metros de luz y 1,50 metros de ancho, apoyados sobre pilotes también de hormigón armado[39].

El año siguiente construyó una pasarela similar en Moncada y Reixac, sobre el río Besós. En este caso los tramos rectos se apoyaban sobre dobles pilares de hormigón armado.



Figura 19. Pasarela sobre el río Besòs en Moncada y Reixac. 1911. Claudio Durán, arquitecto.

En cambio, para el puente de la Riera en Arenys de Mar (Lérida), adoptó la tipología de bóveda rebajada. También están documentados otros puentes de Durán en La Granada del Penedés y en Murcia (el Minadete)[40].

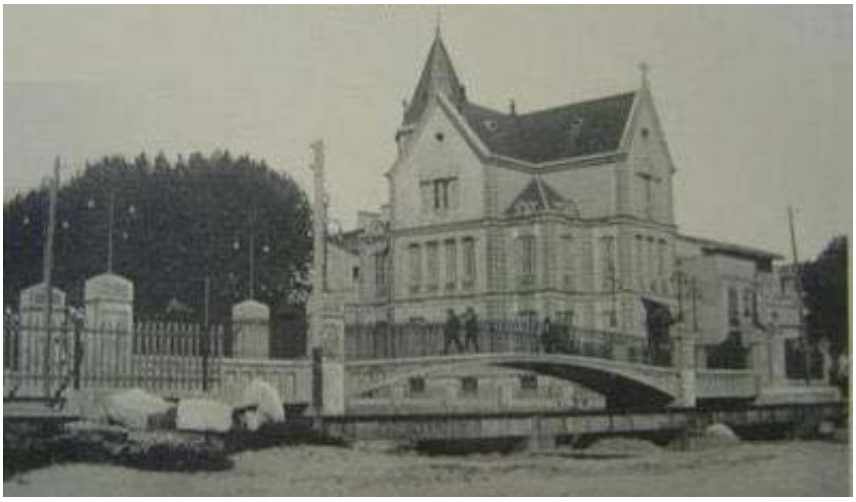


Figura 20. Puente de la Riera. Arenys de Mar. 1910-1915. Claudio Durán, arquitecto.

Su actividad debió continuar a buen ritmo los años siguientes. En 1914, con ocasión de un concurso para la construcción de un paso superior de ferrocarril en Getafe, Durán declaraba "*andar atareadísimo de trabajo*"[41]. En esta época se enfrentaba también a la construcción de grandes depósitos elevados.

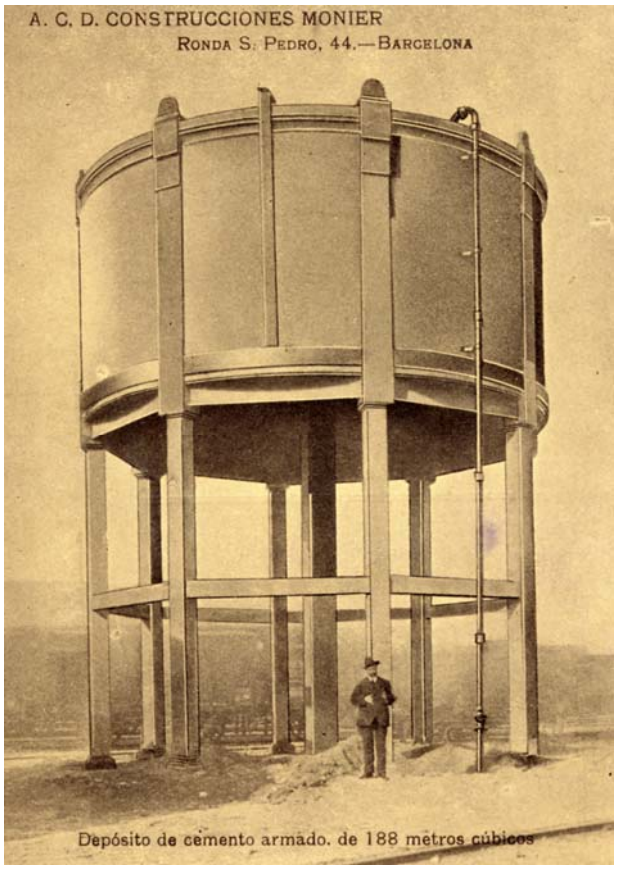


Figura 21. Depósito elevado de hormigón armado sin identificar. Claudio Duran, arquitecto. Archivo Histórico Ferroviario. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

Sin embargo a partir de 1915 deja de aparecer en la relación de empresas constructoras del *Anuario de Arquitectos de Cataluña*. A pesar de ello, mantendría la actividad al menos hasta 1918, año en todavía aparecían anuncios suyos en publicaciones técnicas especializadas[42].

Claudio Durán falleció en 1926.

3) José Eugenio Ribera Dutaste.

El principal protagonista de los orígenes del hormigón armado en España es, sin duda, el ingeniero de caminos José Eugenio Ribera Dutaste (1864-1936). Su figura no sólo es importante en nuestro país; a nivel internacional es considerado uno de los pioneros del hormigón armado[43].

En su trayectoria destaca sobre todo su gran actividad como proyectista y constructor, principalmente de obras de hormigón armado. Su lista de realizaciones es abrumadora. En 1931, al final de su vida, reconocía haberse cansado *"de catalogar los puentes y acueductos, depósitos, tuberías y conducciones de agua de todas clases que llevo proyectados y construidos; únicamente recuerdo, hace algunos años, haber construido hasta cuatrocientos tramos de puentes de todos tipo y clases; hoy deben exceder de quinientos"*[44]. Muchas de ellas fueron obras muy atrevidas y audaces, con las que Ribera fue abriendo nuevos caminos al hormigón armado.

Sin embargo, no fue menos importante su contribución a la difusión de la ingeniería, del hormigón armado y de la construcción en general. Desde sus comienzos en la profesión, fue divulgando sus experiencias en varios libros e incontables colaboraciones en la prensa técnica. Culminó esta faceta al final de su carrera, como profesor de puentes en la Escuela de Caminos.

José Eugenio Ribera terminó la carrera en 1887, pasando inmediatamente a formar parte del cuerpo de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del Estado. Fue destinado a de Asturias, donde muy pronto se especializó en puentes metálicos. En 1890 construyó el Viaducto de Ribadesella y cuatro años más tarde recibió el encargo de proyectar uno de los puentes metálicos más representativos de la ingeniería española, el Viaducto de Pino sobre el Duero. Reflejó la experiencia recogida en este campo en varias publicaciones[45], con las que cosechó un merecido reconocimiento.

Simultáneamente a estas construcciones significativas, trabajó en gran número de otras más comunes, de todo tipo, acreditando una gran polivalencia como ingeniero. Por ejemplo, en 1895 diseñó el abastecimiento de aguas de la villa de Mieres, proyecto que incluía una presa de derivación en el río Caudal, una central de bombeo, un depósito, una conducción hasta la ciudad, una fuente o surtidor y varios caños públicos y lavaderos públicos[46]. También en este municipio asturiano, donde desarrollaría una intensa actividad en los últimos años del XIX, proyectó y construyó varios puentes de diversos materiales y tipologías: el de Los Pontones, un arco de mampostería de cinco metros de luz; los del Poliar y del Pedroso, sendos arcos *Bow-String* de ocho metros de luz, con celosía de madera; o el de Santa Cruz, de tablero recto combinando tramos metálicos y de madera[47].

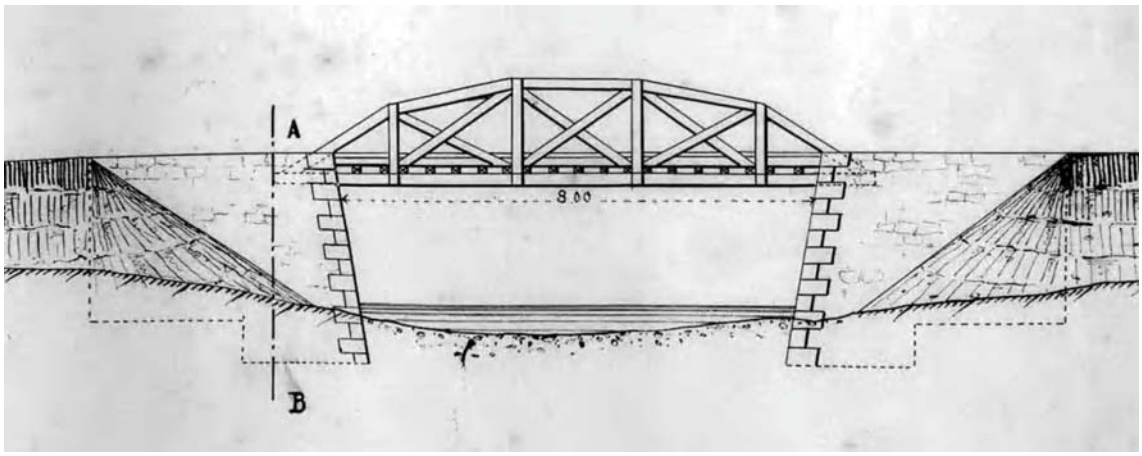


Figura 22. Puente de El Poliar. Mieres (Asturias). 1895. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. Archivo Municipal de Mieres.

Abierto, pues, a la utilización de muy diversos materiales de construcción, estaba también familiarizado con el hormigón, que conocía bien por haber estudiado *las múltiples obras de cemento de los puertos de Asturias*[48]*.*También estaba experimentado con él en algunos puentes, como el de La Cuadriella en Mieres (dos arcos de medio punto de ocho metros de luz) o el de Candín en Langreo(bóveda rebajada de de ocho metros de luz)[49].

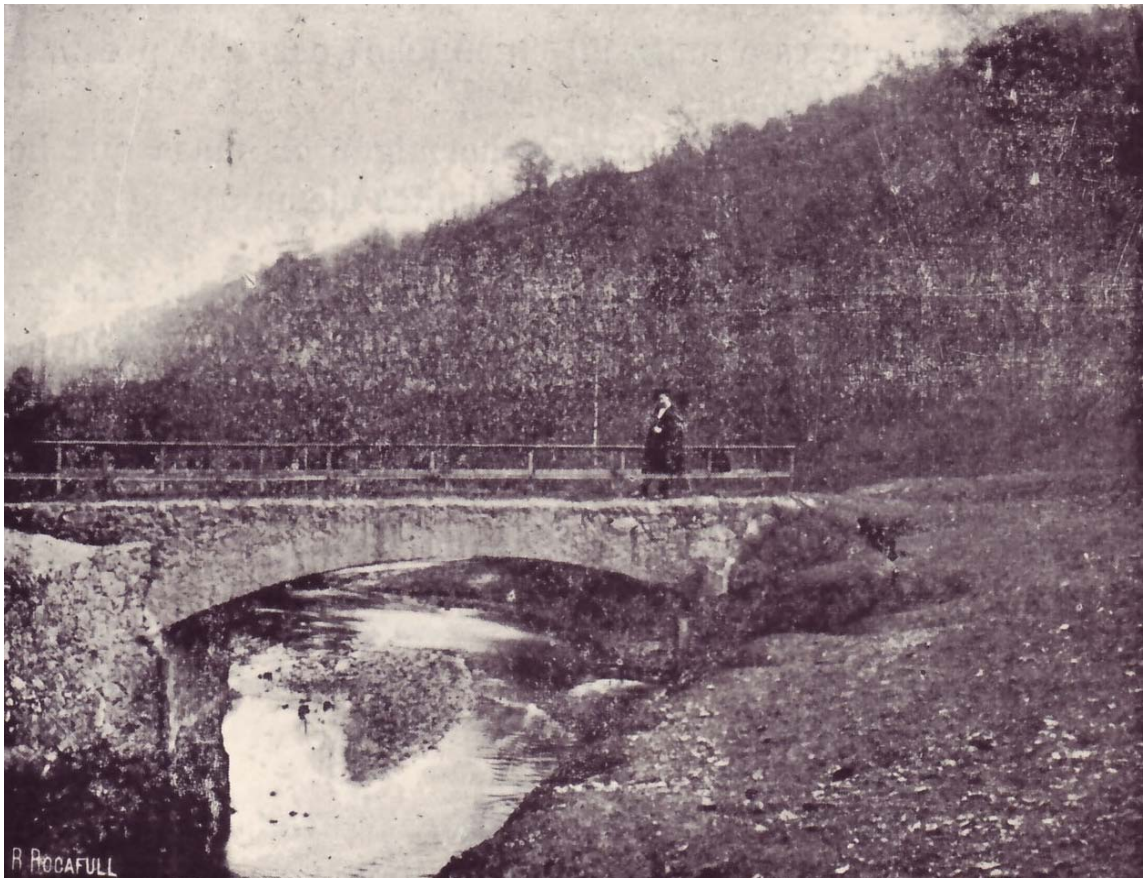


Figura 23. Puente Candín. Langreo (Asturias). 1898. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En Ribera, *Hormigón y Cemento Armado.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Consecuentemente, no tardaría en sentirse atraído por el hormigón armado. Como más adelante confesaría, había seguido "*con interés creciente y desde sus albores los progresos realizados por el nuevo sistema de construcción, que estudié en mis viajes al extranjero y*

discutí en interesante correspondencia con ingenieros tan eminentes como Tedesco, Hennebique, Candlot y De Mollins"[50].

Hacia 1895 ya tenía la suficiente confianza en el hormigón como emplearlo en un encargo tan sensible como el puente de las Sesgadas, en la carretera de Oviedo a Pola de Lena. Para salvar el río Nalón, proyectó un arco de hormigón (en masa) de cincuenta metros de luz, articulado en la clave y los arranques.

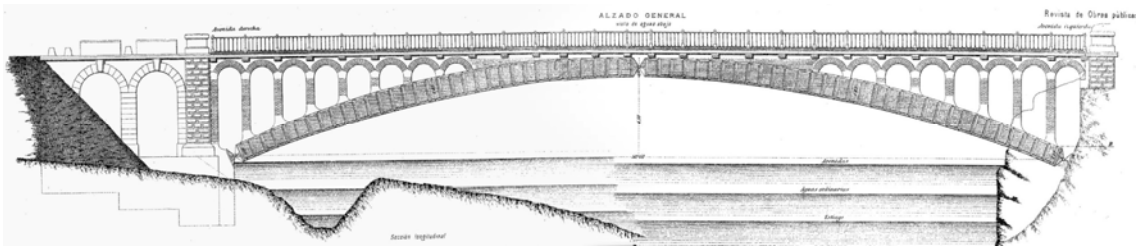


Figura 24. Proyecto del puente de Las Sesgadas (Asturias). 1895. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

La apuesta era arriesgada, pues además de ser el puente de fábrica de mayor luz proyectado hasta entonces en España, era el primero en que se usarían articulaciones. Para asesorarse, Ribera estudió los precedentes que se habían construido en el extranjero, como los de *Muderginken* (1893) e *Inzigkofen* (1895) y se desplazó hasta Ginebra, en comisión oficial, para visitar las obras del puente de *La Coulouvrenière*[51]. En este viaje tuvo lugar su primer contacto con las nuevas construcciones de hormigón armado, pues aprovechó la ocasión para visitar las obras del nuevo edificio de correos de Lausana, cuyos forjados estaban siendo construidos con el sistema Hennebique[52].

Informado de esta visita el mismísimo François Hennebique, no tardó en concertar una entrevista para ponerle al corriente de los grandes progresos que se estaban haciendo con su sistema de hormigón armado[53]. Su gran visión empresarial le hizo darse cuenta enseguida del impulso que un técnico de la talla de Ribera podría dar a la expansión de su organización por España. Así que acudió a entrevistarse con él, mostrando interés por sus libros y trabajos. Ribera quedó tan convencido de las posibilidades del nuevo material que decidió utilizarlo en varios puentes de carretera cuyo proyecto estaba planteándose por entonces. Acordaron que le enviaría los anteproyectos a Hennebique para que este le planteara una propuesta de solución en hormigón armado[54].

Seguramente uno de ellos fuera el de Ciaño, en la carretera de Oviedo a Campo de Caso. En 1898 propuso la sustitución del antiguo tablero de madera, que se encontraba podrido, por otro de hormigón armado. Según el propio Ribera fue *"la primera obra de esta clase ejecutada en España"*[55].

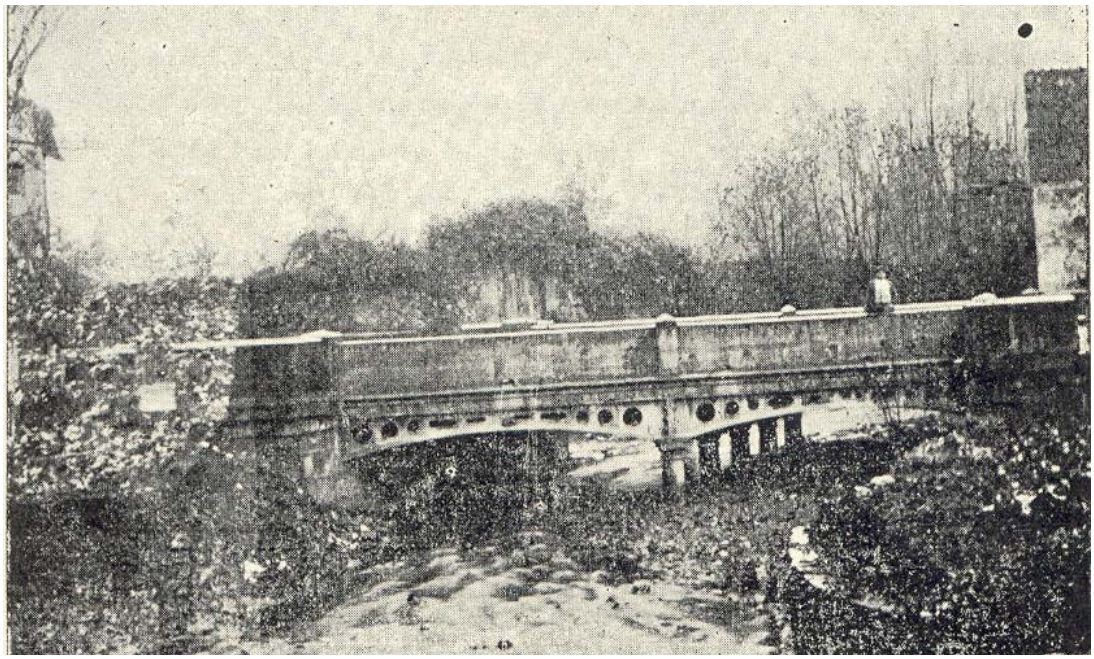


Figura 25. Puente de Ciaño (Asturias). 1898. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En Ribera, *Hormigón y Cemento Armado.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Por las mismas fechas Ribera encargó a la firma Hennebique los puentes de la carretera de Santa Rosa, en el municipio de Mieres. En 1895 Narciso Hernández, ayudante de obras públicas, redactó el proyecto de un camino vecinal para unir la carretera de Sama Mieres con el pueblo de Río Turbio. Dos años más tarde se decidió prolongar este camino hasta el pueblo de Santa Rosa, encargándose el preceptivo proyecto al arquitecto Antonio Suardiaz Valdés. En este se contemplaba la construcción de tres pontones de madera de luces reducidas[56]. La dirección de las obras de este segundo tramo fue encomendada por el Ayuntamiento a Ribera, que durante la construcción introdujo algunas modificaciones, la más importante de ellas la sustitución de los pontones de madera por otros de hormigón armado. En 1900, con ocasión de la liquidación de las obras declaraba que se habían sustituido *los tramos de madera por otros de hormigón armado sistema Hennebique, por el mismo precio que los anteriores, ganando en ello no solamente en la resistencia sino también en la duración, pues así como la madera va poco a poco pudriéndose y la conservación es tan cara que al cabo de algún tiempo hay que reponer la mayor parte de las piezas, en cambio en los de hormigón armado aumenta de día en día la consistencia como está demostrado plenamente.* Advertía además que *en caso de desgaste de las rodadas, es muy fácil el arreglo por el mismo peón caminero de servicio*[57]*.*

De los tres puentes, los dos que se construyeron para salvar el río San Juan (el de Río Turbio y el de Vegadotos) tenían seis metros de luz; el tercero era un pontón sobre el arroyo del Casar, junto a la aldea de Santa Rosa. Costaron 597 pesetas cada uno de los dos primeros y 431 pesetas el tercero.

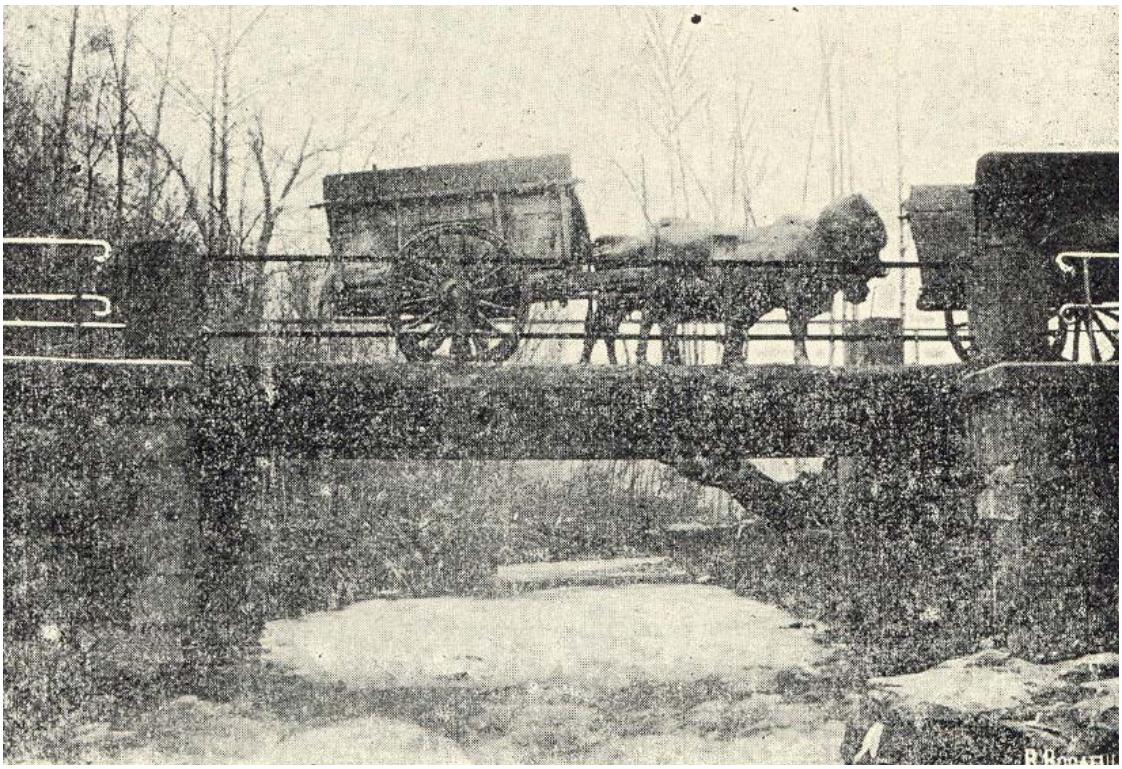


Figura 26. Puente de Río Turbio. Carretera de Santa Rosa. Mieres (Asturias). 1899. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En Ribera, *Hormigón y Cemento Armado.* Biblioteca del Colecio de ingenieros de Caminos.

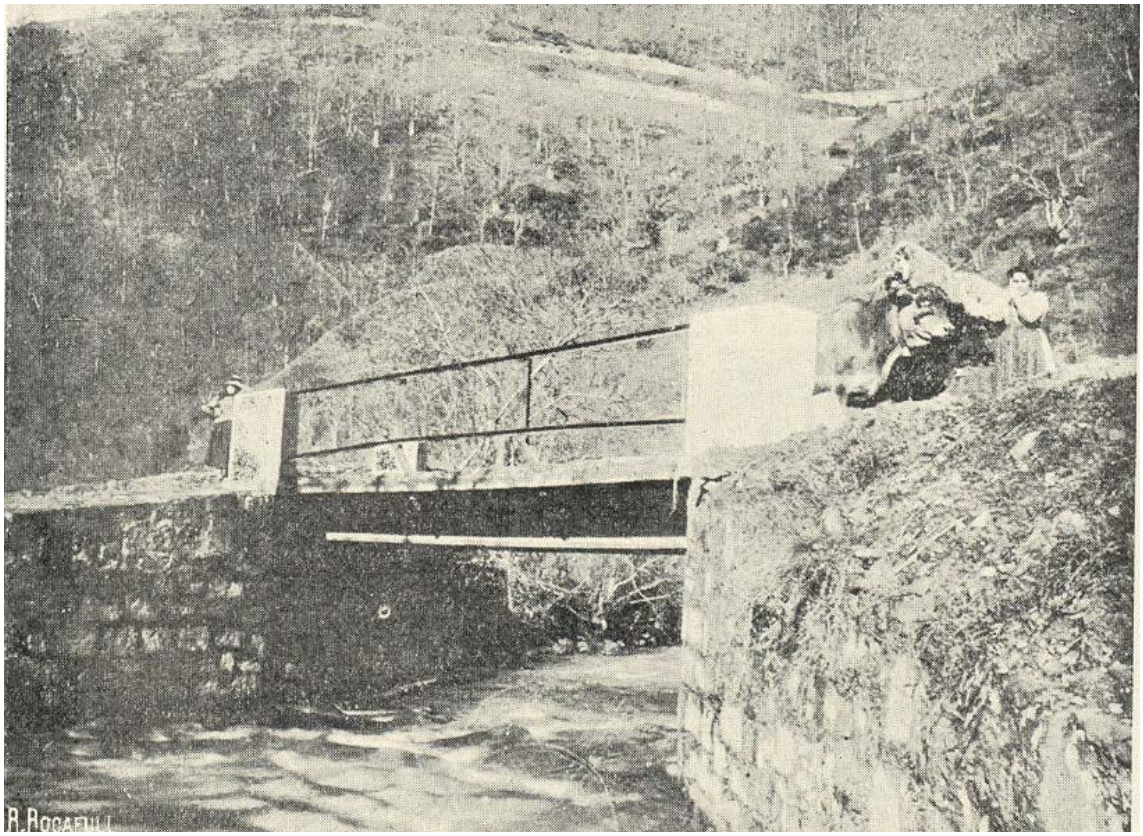


Figura 27. Puente de Vegadotos. Carretera de Santa Rosa. Mieres (Asturias). 1899. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En Ribera, *Hormigón y Cemento Armado.* Biblioteca del Colecio de ingenieros de Caminos.

Ribera simultaneó la construcción de estos puentes con un tramo similar que hizo ex profeso para la Exposición Regional de Gijón de 1899. Lo presentó como *"un modelo para caminos vecinales, con seis metros de luz y tres de ancho, estando calculado para resistir el paso de carros de cinco toneladas y una sobrecarga de 300 kilos por metro cuadrado"*[58]

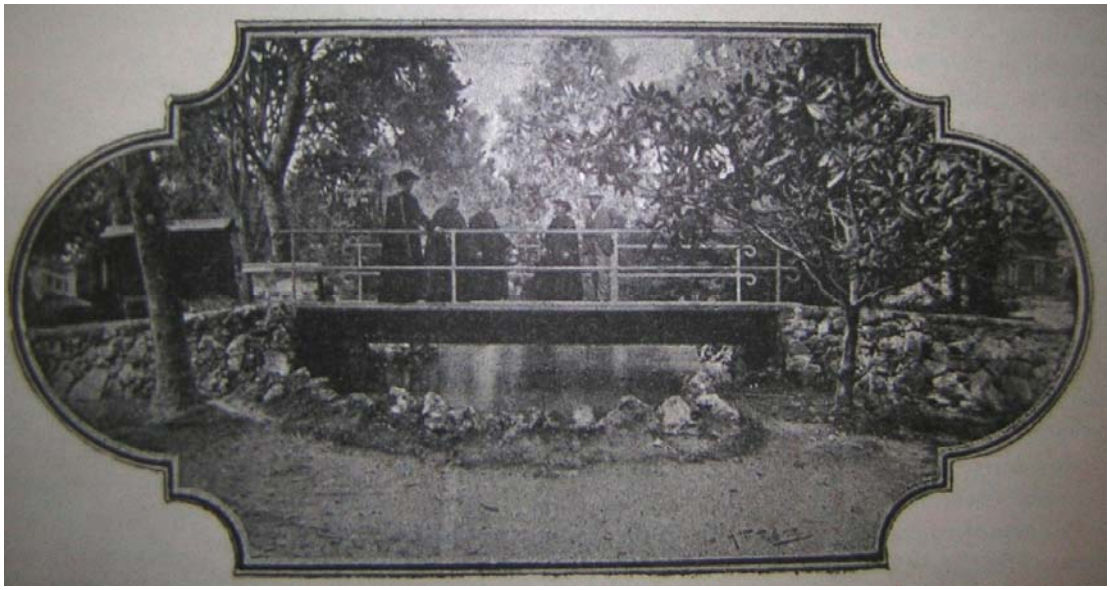


Figura 28. Puente de la Exposición Regional de Gijón (Asturias). 1899. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Dentro de este grupo de primitivos puentes rectos asturianos de hormigón armado también estaría un pontón de parecidas dimensiones encargado por la fábrica de productos celuloides de Colloto (donde asimismo construyó un depósito de agua)[59].

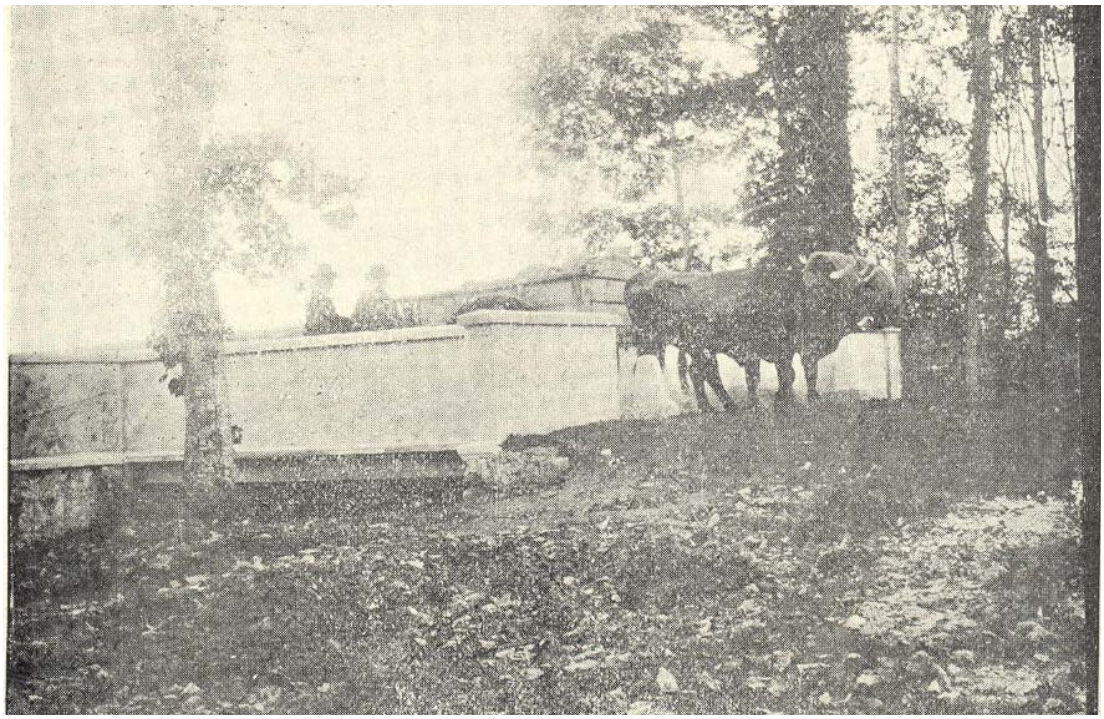


Figura 29. Pontón de la fábrica de productos celuoides de Colloto (Asturias). 1899. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En Ribera, *Hormigón y Cemento Armado.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

En 1898 se animó a entrar en el campo de la edificación, con los forjados de la nueva cárcel de Oviedo, cuyas obras habían comenzado en agosto de 1896. Inicialmente se habían proyectado unos forjados de viguetas de madera, pero al arquitecto Director de Obra, Nicolás García Rivero, no le parecían adecuados por razones de seguridad, por lo que decidió sustituirlos por otros de hormigón armado[60]. De su construcción se haría cargo Ribera, que emplearía los forjados de losa continua de hormigón armado del sistema Hennebique (armadura inferior de barras en cuadrícula y flejes verticales). Previamente los pondría a prueba en un ensayo de rotura realizado entre abril y mayo de 1898. Fue la primera experiencia de este tipo que se llevaba a cabo en España, siendo ampliamente difundida[61].

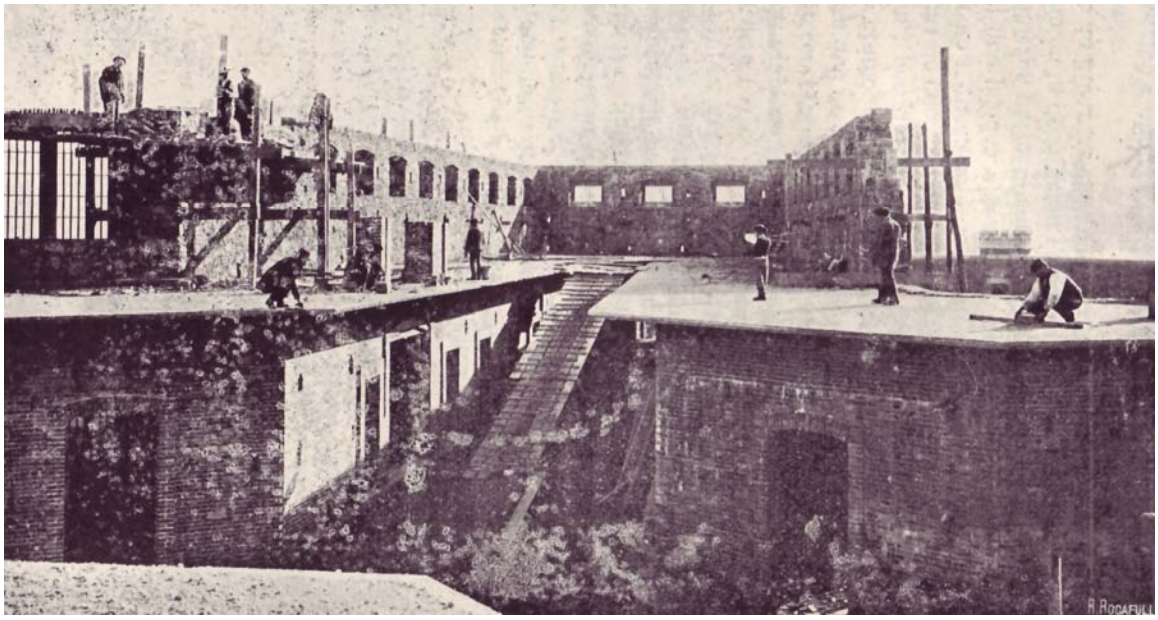
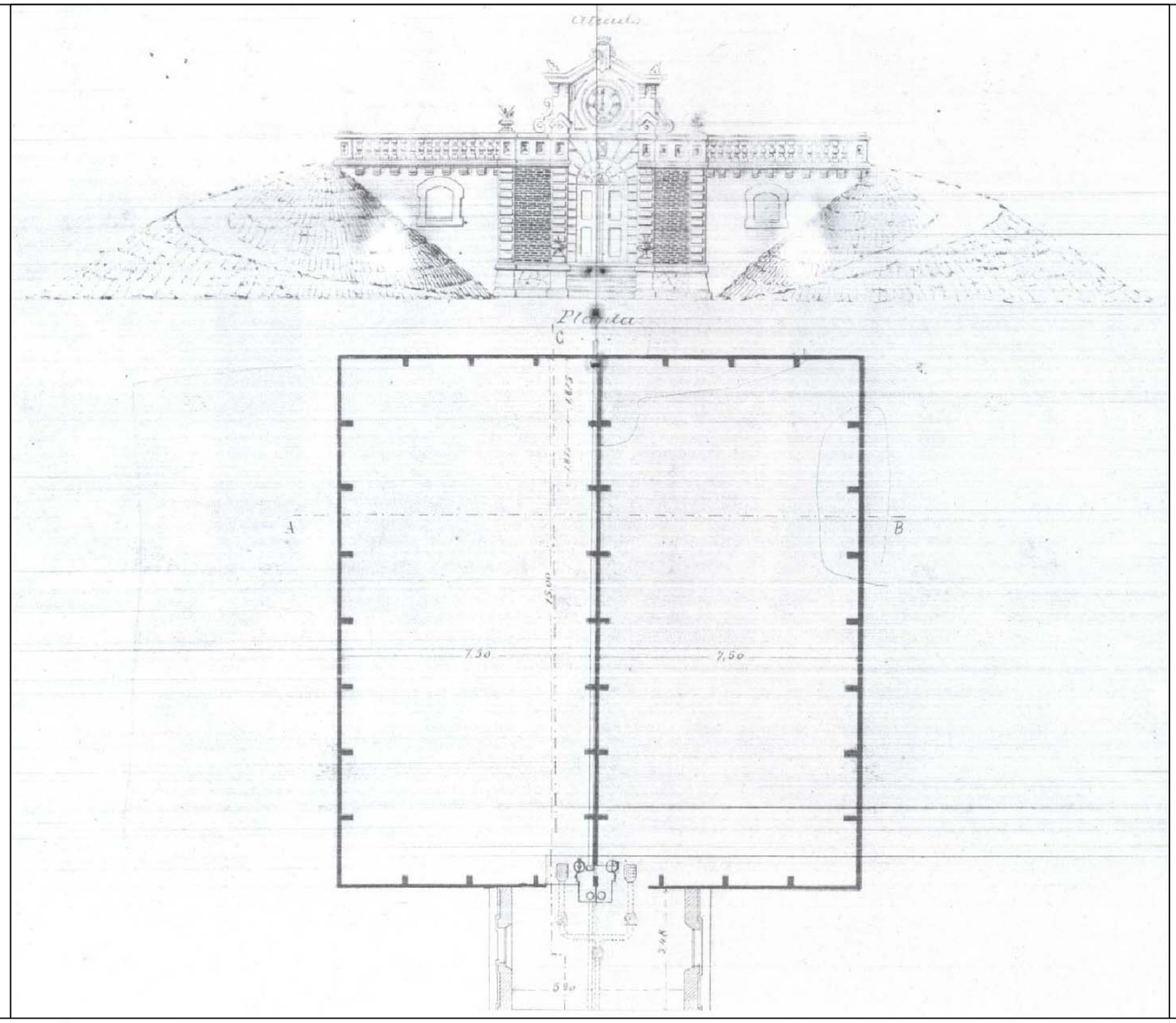
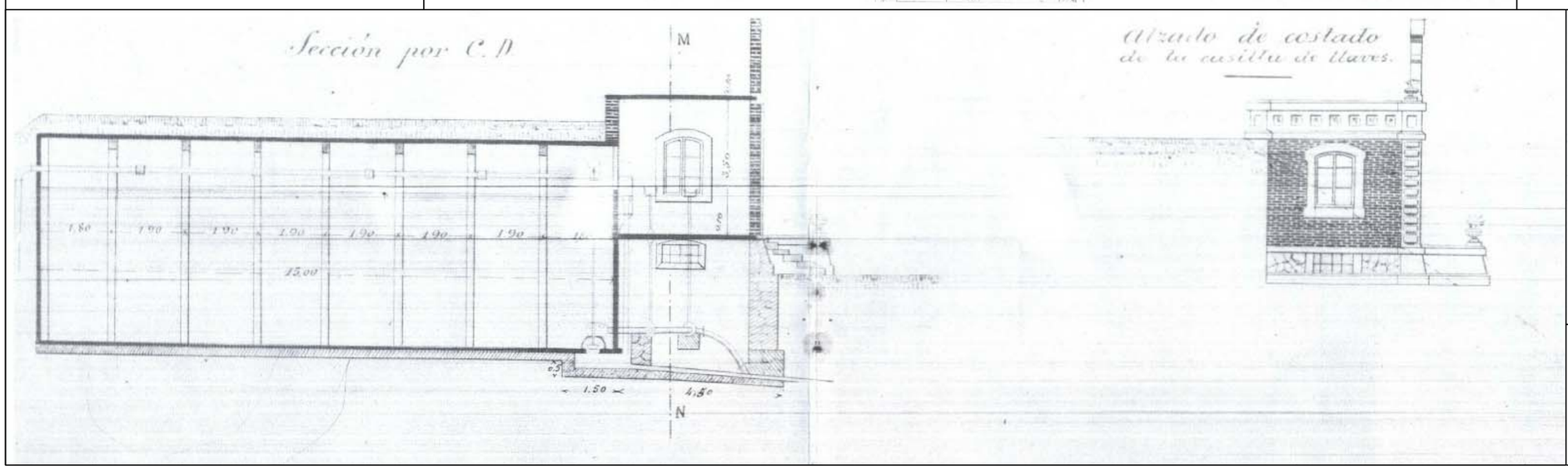


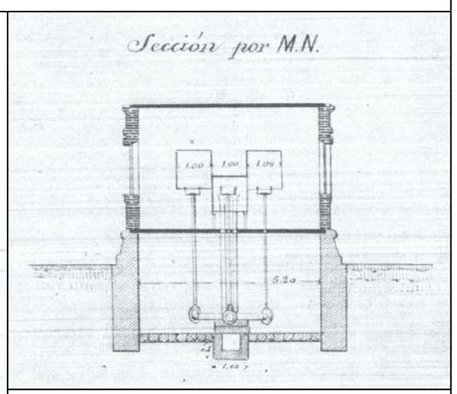
Figura 30. Construcción de los forjados de la cárcel de Oviedo (Asturias). 1898. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En Ribera, *Hormigón y Cemento Armado.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

Experiencias de este tipo le ayudaron a comprender el comportamiento del nuevo material, del que estudió aspectos tales como su resistencia o la conservación de las barras de hierro dentro del hormigón. Conocimientos que mejoró compartiendo sus averiguaciones y buscando el asesoramiento de técnicos extranjeros que llevaban más tiempo estudiando el tema, como Armand Considère, al que conoció en un congreso del hormigón armado celebrado a principios de 1898[62.]

Al mismo tiempo proyectaría su primera obra importante enteramente de hormigón armado, el depósito de aguas de Llanes[63]. Era este un cajón semienterrado de planta rectangular, formado por una solera y paredes de hormigón armado (con contrafuertes interiores). Desde el exterior sólo resultaba visible una ostentosa casilla de llaves, también de hormigón armado del sistema Hennebique[64]. El contratista de esta fue el arquitecto Mauricio Jalvo, otro de los nombres importantes de los orígenes del hormigón armado en España.


Planta
C
A
B
7,50
7,50
15,00
5,20


Sección por C. D.
M
N
1,80
1,90
1,90
1,90
1,90
1,90
1,90
12,00
1,50
4,50
Alzado de costado
de la casilla de llaves.


Sección por M.N.
1,00
1,00
1,00
5,20

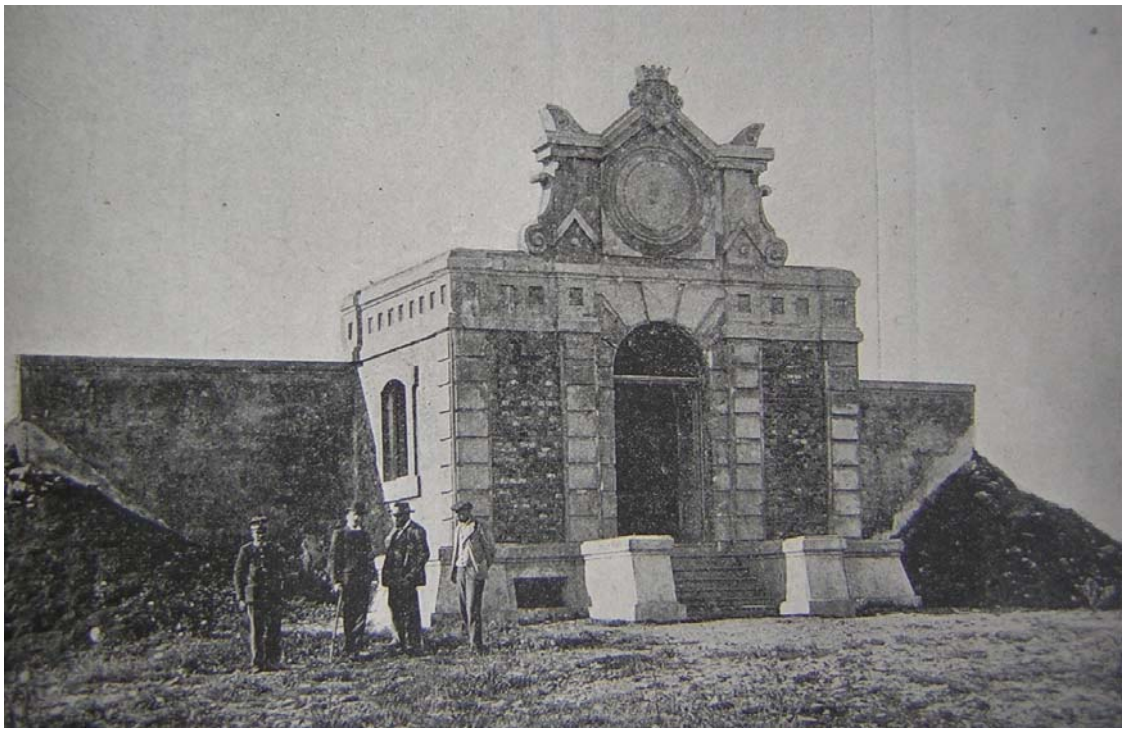


Figura 31. Depósito de Llanes.1899. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Por entonces ya se había convertido en uno de los miembros destacados de la firma Hennebique. Reconocido oficialmente como su concesionario en Oviedo desde septiembre de 1899[65] era, además miembro del comité de redacción de *Le Béton Armé,* el *órgano de los concesionarios y del sistema Hennebique*. No cabe duda de que François Hennebique había depositado en él su confianza y albergaba grandes esperanzas de su pertenencia a la organización, en la que le reservaba una posición destacada. Buena prueba de ello fue su intervención en la sesión inaugural del Tercer Congreso del Hormigón de Cemento Armado, organizado por la firma en París en 1899, en la que se mostró plenamente integrado[66].

Ello no fue obstáculo para probar con otros sistemas, como en la ya comentada reparación del Depósito de Mieres. Por esta época Ribera manifestaba que *"aunque decidido partidario del sistema Hennebique, me obliga la lealtad profesional a declarar que para ciertos casos y clases de obra pueden emplearse con éxito y economía otros sistemas de hormigón o cemento armado, y prueba mi eclecticismo el hecho de que como ingeniero he encargado algunas obras a mi colega y competidor D. Claudio Durán"*[67]*.*

Del mismo modo se expresaba en el proyecto de puente sobre el río Cuna que el Ayuntamiento de Mieres le encargó en 1899, reconociendo que "*así como para la reparación del Depósito de Mieres he propuesto el sistema de cemento armado de Monier por considerar que en esta clase de obras es el que ofrece mayores ventajas no cabe duda que tratándose de tramos cortos y piso es muy superior y más económico el sistema Hennebique, que es el que proponemos".*

Este puente era la construcción más importante del proyecto de la carretera de Valdecuna a Villamartín. Ribera proyectó un tramo recto de hormigón armado sistema Hennebique, de seis metros de luz y tres de ancho, formado por cuatro vigas. Justificaba su elección con estas palabras: "*este sistema ofrece sobre todos los demás la ventaja de su rapidez de construcción y economía. No necesita conservación, como la que requieren los tramos de madera o hierro y el excelente resultado que están dando los tramos de igual sistema construidos en la carretera municipal de Santa Rosa nos excusan de justificar más detenidamente las excelencias del sistema".*

Por entonces Ribera simultaneaba su cargo de ingeniero del Estado con la actividad privada como concesionario del sistema Hennebique, reconociendo que este le había dado *"muy buenos resultados en varias construcciones que yo he emprendido particularmente".* Sin embargo, para la construcción de este puente remitía al contratista al *"agente general del sistema Hennebique en España, que es D. Manuel Balbás"* el cual había tasado su precio en mil doscientas pesetas[68].

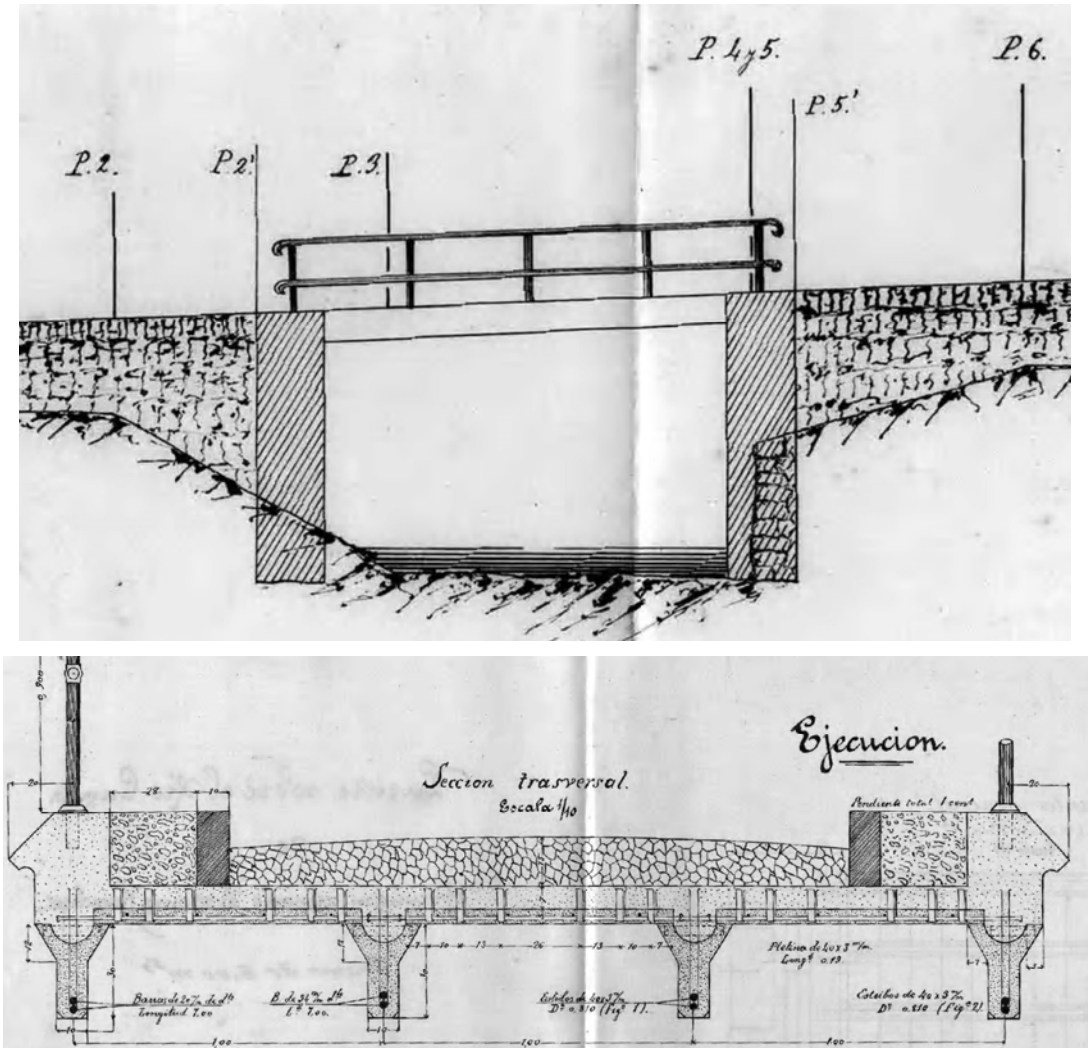


Figura 32. Puente sobre el río Cuna. Mieres (Asturias).1899. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. Archivo Municipal de Mieres.

Ribera construiría en Mieres varios puentes más de este tipo entre 1899 y 1900: uno de seis metros de luz sobre el río Miñera, perteneciente a la carretera municipal de La Peña a San Tirso; y un pontón de dos metros de luz, muy oblicuo, en la carretera municipal de Pereda a Baiña[69]. Y también se encargó del piso de una casa de máquinas sobre el río Caudal[70].

Con el respaldo de la organización Hennebique, se animó a abandonar el servicio del Estado y emprender la aventura empresarial como contratista de obras. Junto con los hermanos Manuel y Luis Gomendio formó la sociedad "J. Ribera y Compañía"[71], con la que llevaría a cabo la construcción del primer edificio completo de hormigón armado de nuestro país: la fábrica de harinas de harinas de la Viuda e Hijos de Ayala en Badajoz. Se trata de la más temprana utilización en España de la configuración estructural de pilares, jácenas y forjados de hormigón armado (la fábrica fue terminada en 1899)[72].

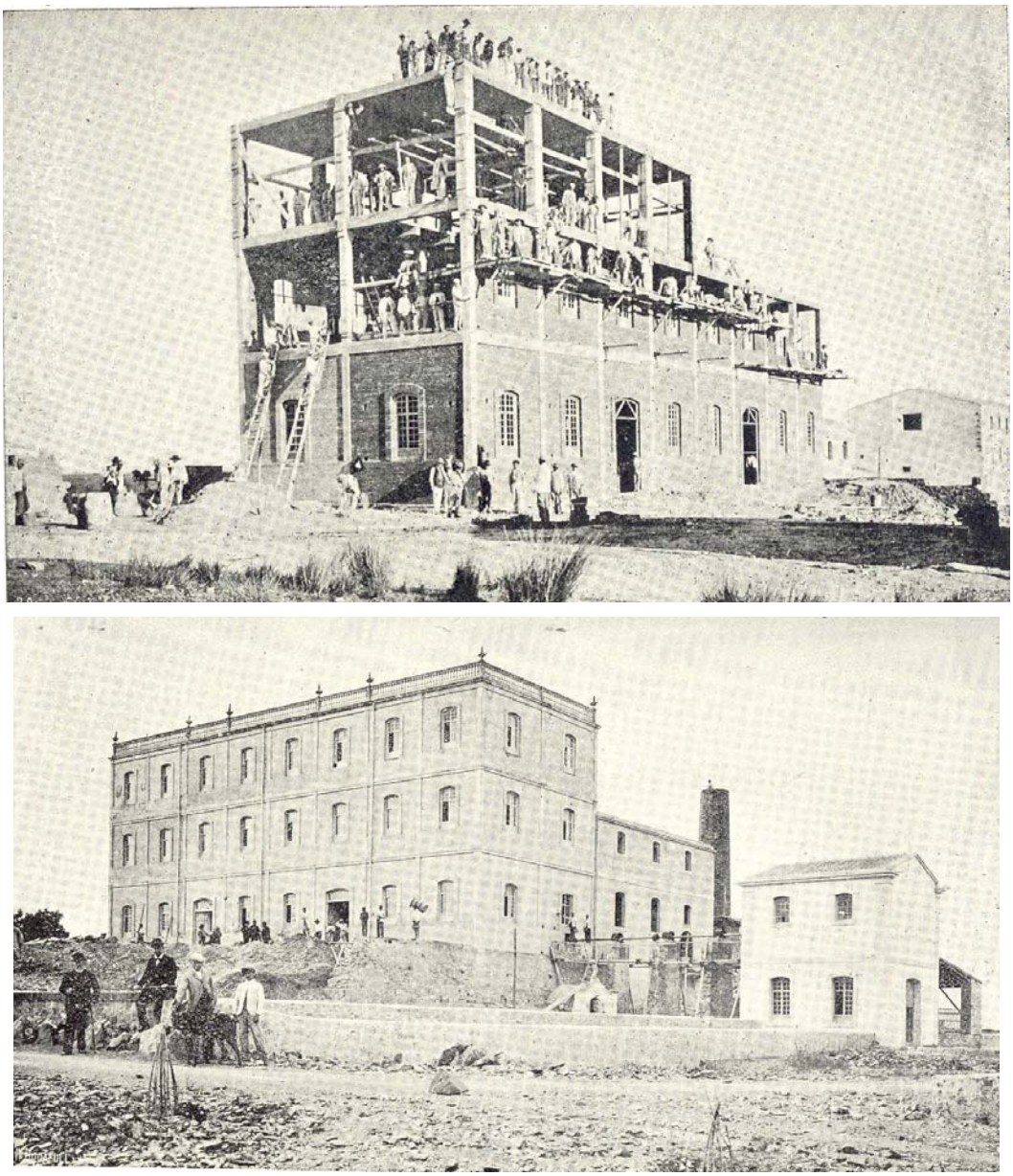


Figura 33. Fábrica de harinas de la Viuda e Hijos de Ayala en Badajoz. 1899. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En Ribera, *Hormigón y Cemento Armado.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

Algunos años más tarde (1905) construiría un puente en tramo recto junto a la fábrica, de unos quince metros de luz[73].



Figura 34. Puente junto a la fábrica de harinas de la Viuda de Ayala en Badajoz. J. E. Ribera, ingeniero de caminos. 1899. En Ribera, *Los progresos del hormigón armado en España.* Biblioteca Nacional de España.

El campo de los edificios industriales fue donde inicialmente encontró más aceptación para sus construcciones de hormigón armado. A medida que se propagaban las ventajas del nuevo material (impermeabilidad, resistencia al fuego y la capacidad de soportar grandes cargas) le fueron llegando contratos desde muy diversos puntos de la geografía nacional.

En Asturias, además de los forjados y pilares de la fábrica de cemento de Tudela Veguín, construiría los de varios almacenes de azúcar en Lieres y Villalegre.

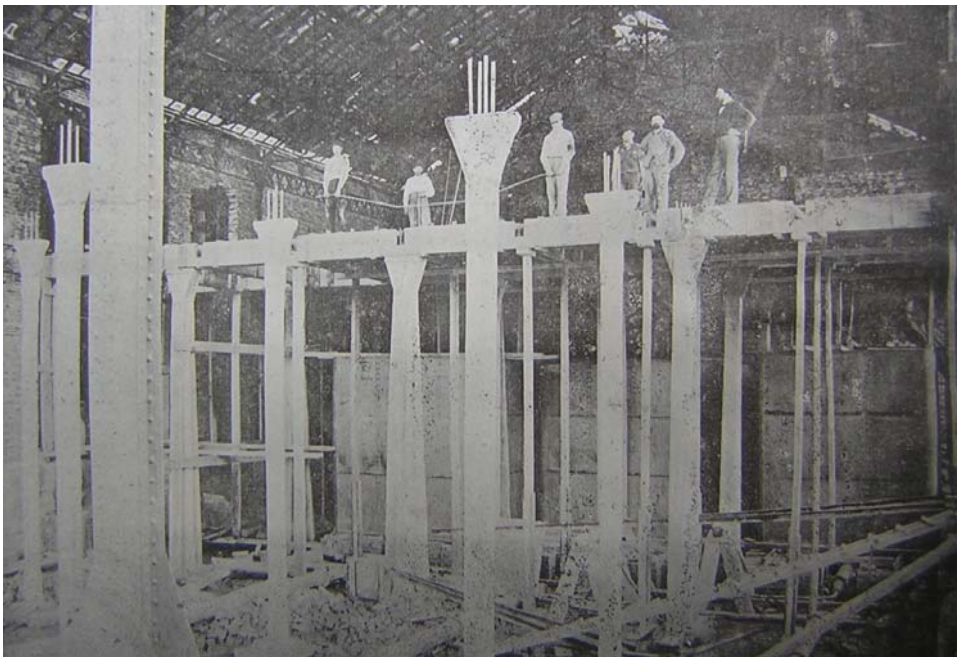


Figura 35. Construcción de un forjado en la Azucarera de Lieres (Asturias). J.E. Ribera, ingeniero de caminos. 1899. En *El Cemento Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

En la fábrica de productos químicos del Aboño (Gijón) diseñó además una de las primeras losas de cimentación de hormigón armado[74].

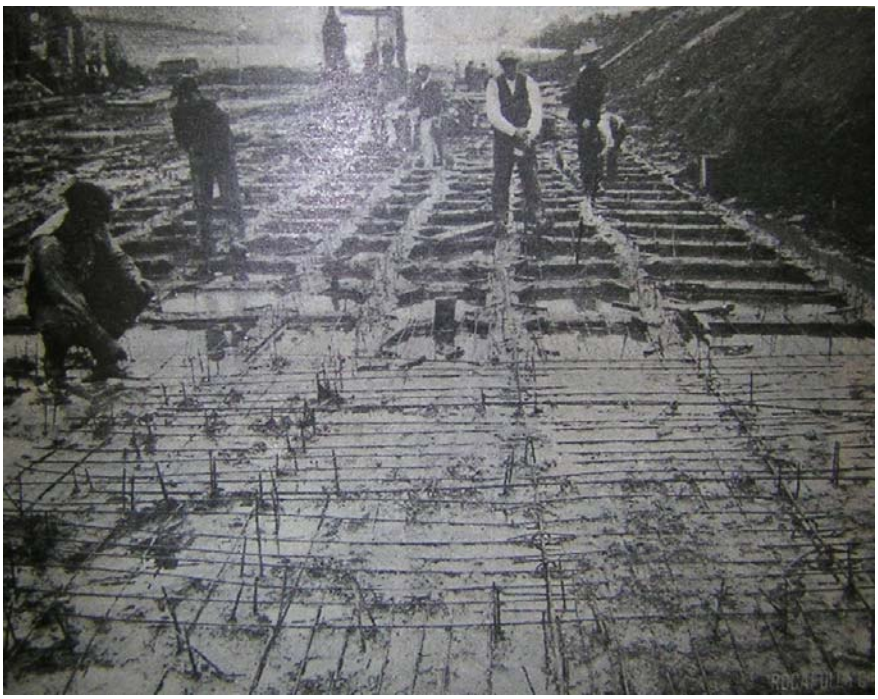


Figura 36. Solera de cimentación de la fábrica del Aboño (Gijón). 1902. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos.

En Hernani, provincia de Guipúzcoa, construyó la fábrica de almidón de la empresa belga Remy. El director de esta sociedad, que tenía *"importantes fábricas en casi todos los países de Europa, y que hasta venir a España sólo había empleado pisos de hierro"* manifestó a Ribera que *"los pisos y cubas de cemento armado construidos en Hernani eran los únicos que habían resuelto satisfactoria y económicamente el problema de la impermeabilidad"*[75]



Figura 37. Fábrica de almidón de Hernani (Vizcaya). 1900. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

También tenía encargos fuera de la zona norte. Por ejemplo, en la provincia de Cádiz, el otro extremo del país, construiría unos nuevos pisos interiores para la fábrica de harinas de Sanlúcar de Barrameda[76].

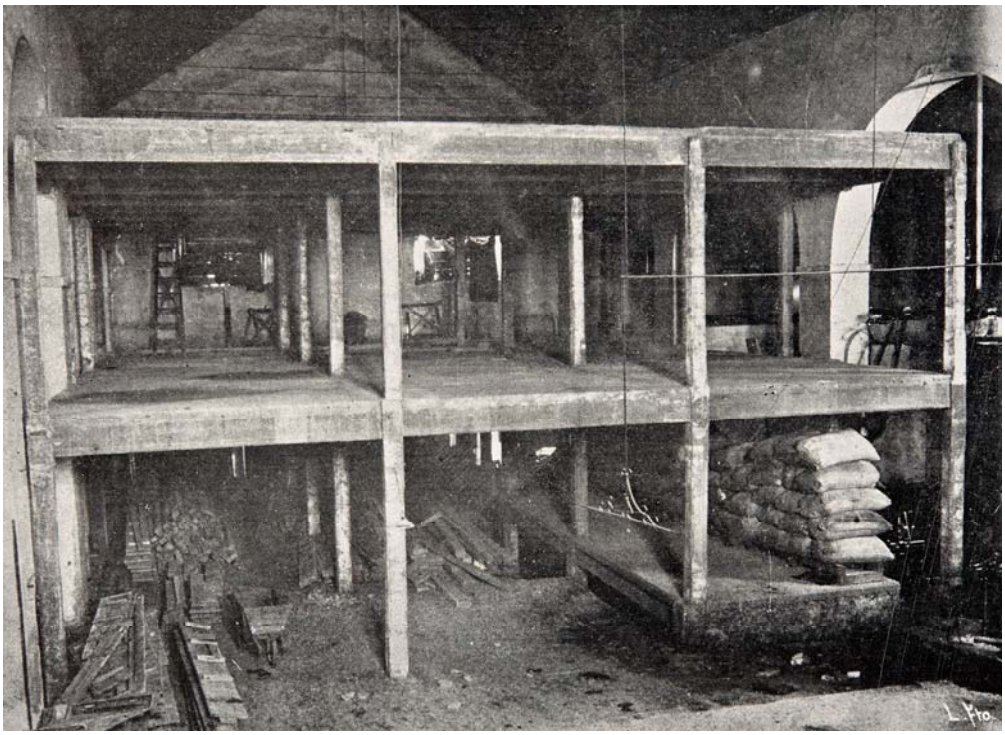


Figura 38. Fábrica de harinas de Sanlúcar de Barrameda. J. E. Ribera, ingeniero de caminos. Hacia 1900. En Ribera, *Los progresos del hormigón armado en España.* Biblioteca Nacional de España.

Muy propicias para la utilización del hormigón armado serían también algunas instalaciones industriales, como los grandes silos. En 1899 construiría los primeros en la fábrica de Tudela Veguín (Asturias), que tenían una capacidad de 2500 toneladas. Un año después construyó una segunda batería de silos para duplicarla[77].

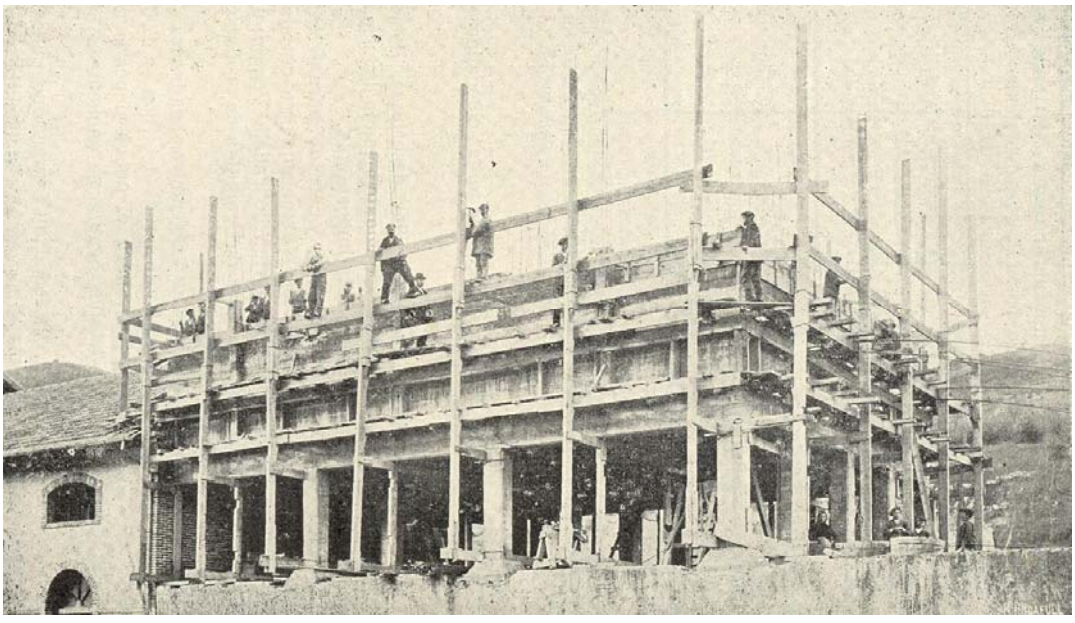


Figura 39. Construcción de los silos de cemento de la fábrica de Tudela Veguín. 1899. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En Ribera, *Hormigón y Cemento Armado*. Biblioteca del colegio de ingenieros de caminos.

Otra aplicación frecuente fueron los depósitos elevados, tanto para la industria, como para la edificación residencial. Uno de los primeros sería el de la "Papelera Leonesa". Era rectangular, de 70 m^3 de capacidad y situado a doce metros de altura gracias una estructura de pilares cuadrados de hormigón armado.

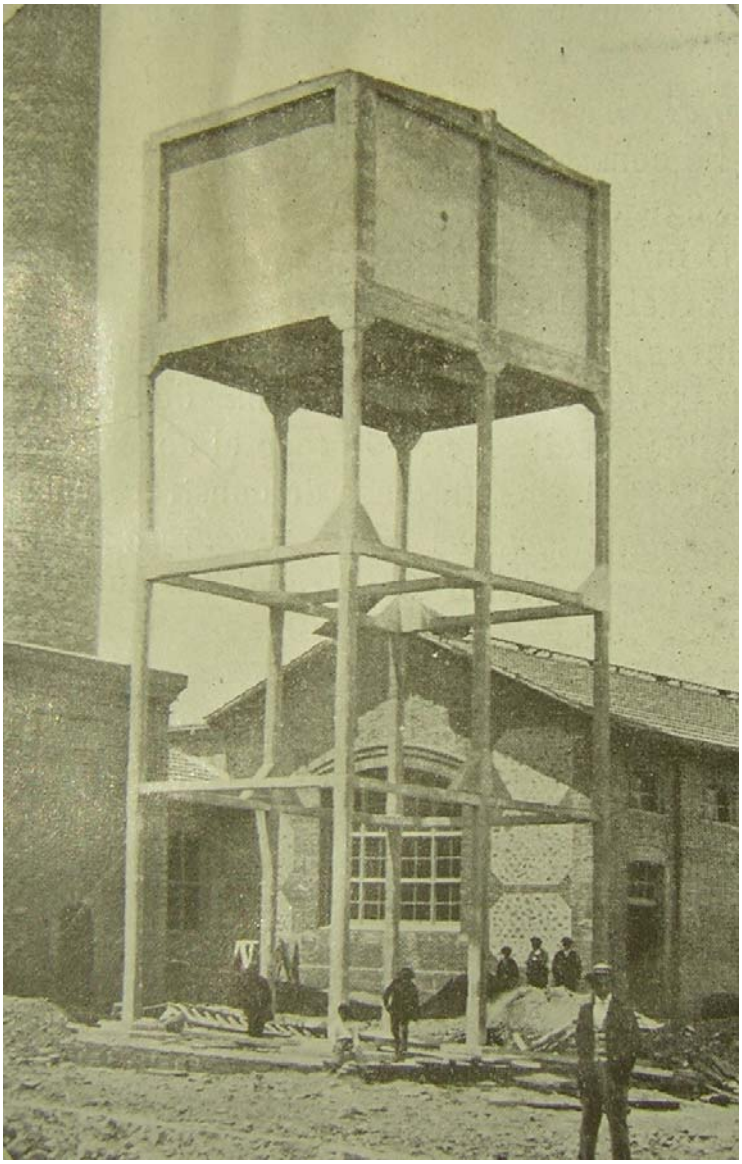


Figura 40. Depósito elevado de la "Papelera Leonesa". León, 1901. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En *La Construcción Moderna*. Hemeroteca Municipal de Madrid.

Los siguientes los haría con forma circular, *"preferible para estos depósitos elevados, pues están sometidos a la acción de fuertes vendavales".* De este tipo hizo por esta época el del Ferrocarril Vasco-Asturiano en San Esteban de Pravia, el de los Campos Elíseos de Madrid (ambos de 80 m^3 de capacidad), el del Asilo Caldeiro de Madrid (30 m^3) y el de la Sociedad de Productos Químicos del Aboño, en Gijón (25 m^3) [78].

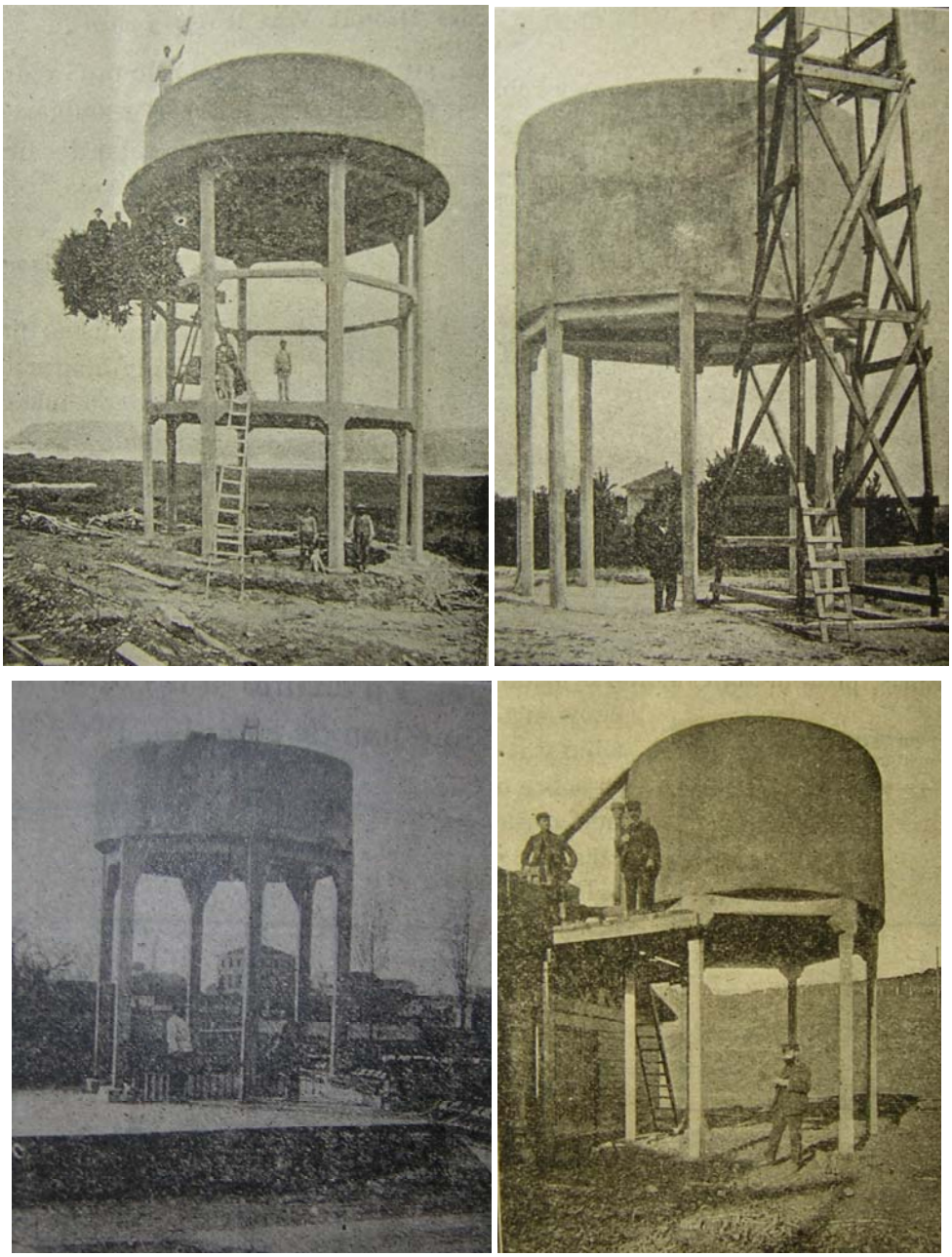


Figura 41. Depósitos elevados de forma circular construidos por José Eugenio Ribera entre 1899 y 1903. De arriba abajo y de izquierda a derecha: Para el FFCC Vasco–Asturiano en San Esteban de Pravia (Asturias); Campos Elíseos, Madrid; Asilo Caldeiro, Madrid; y Sociedad de Productos Químicos del Aboño (Gijón). En *La Construcción Moderna*. Hemeroteca Municipal de Madrid.

En edificios no industriales encontraría sin embargo mucha resistencia, pues la inmensa mayoría de los arquitectos se mostraban reacios a utilizar el nuevo material. Sin embargo, aunque más lentamente, también fue introduciéndose en este ámbito de la construcción. Inicialmente, casi todos sus encargos fueron forjados. En 1900 haría, todavía con patente Hennebique, los de la nueva casa consistorial de Eibar, *"los primeros de cemento armado construidos en Guipúzcoa"*[79]. Su arquitecto, Ramón Córtazar, quedó tan satisfecho del comportamiento de estos pisos que enseguida encargó de nuevo a Ribera los del Banco Guipuzcoano en San Sebastián y además un puente de catorce metros de luz en Rentería[80].

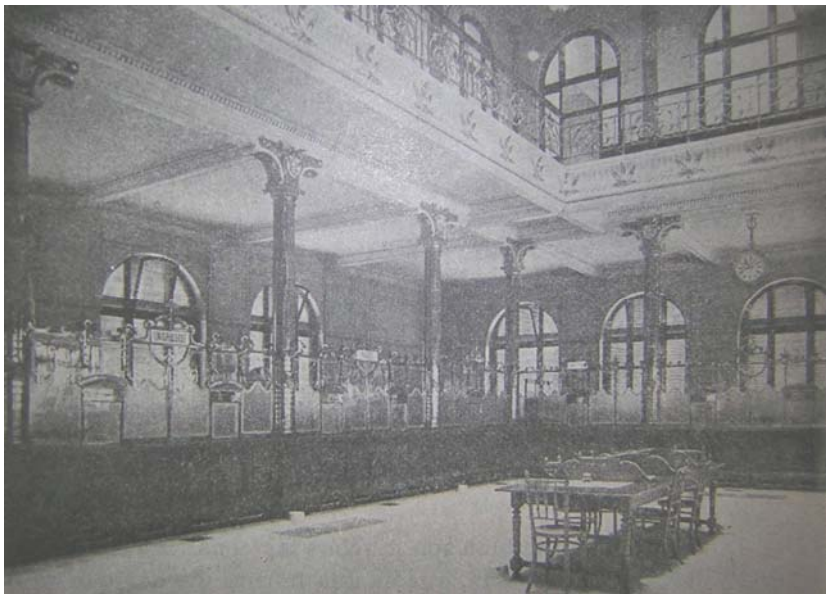


Figura 42. Interior del Banco Guipuzcoano. San Sebastián. 1900. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Otra edificación significativa en la que participó ese año fue el nuevo teatro de Avilés. En esta obra del arquitecto Manuel del Busto, Ribera intervino construyendo con hormigón armado todos los pisos, columnas y plateas. Era una estructura complicada, formada por "*columnas octogonales de 14 m de altura y 0,12 m de diámetro, sobre las que se apoyan unas vigas también de hormigón, en planta curva, siguiendo la forma de herradura de la sala, y sobre estas va la platea, constituida por un dintel plano de 0,12 m de grueso, que alcanzan en voladizo 2,30 metros*"[81].

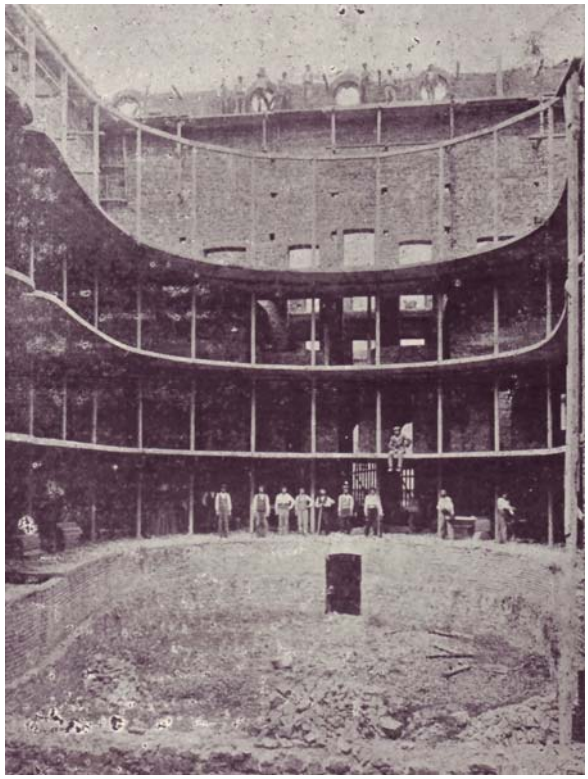


Figura 43. Construcción del teatro de Avilés (Asturias).1900. Manuel del Busto, arquitecto y José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En Ribera, *Hormigón y Cemento Armado.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

En 1899 comenzaría otra intensa colaboración, esta vez con el ingeniero Ramón Peironcely, de la Compañía de Ferrocarriles MZA, que se plasmaría en varias obras muy interesantes. La primera fue el paso superior de Los Prados, en el kilómetro 407,037 de la línea de ferrocarril de Albacete a Cartagena, en las inmediaciones de Cieza (Murcia). Inicialmente en ese punto había un tramo de madera apoyado en estribos de fábrica, tan deteriorado que era necesaria su sustitución por otra obra con más garantías de duración. Entonces, por iniciativa de Peyronceli, la Compañía MZA se planteó la construcción de un tramo con el nuevo material, en los siguientes términos: *"el moderno sistema de hormigón armado está siendo objeto en el extranjero de grandísimo número de aplicaciones en casos análogos al de este proyecto, y deseosa esta Compañía de conocer prácticamente sus resultados, ha encontrado en la ocasión presente motivo indicado de emplear, a modo de ensayo, el mencionado sistema"* [82].

Se trataba de un tramo recto de siete metros de luz, con la configuración habitual de losa sobre vigas del sistema Hennebique. Ribera se hizo cargo de su proyecto y construcción[83], aunque es de suponer que con la colaboración de Peyronceli.

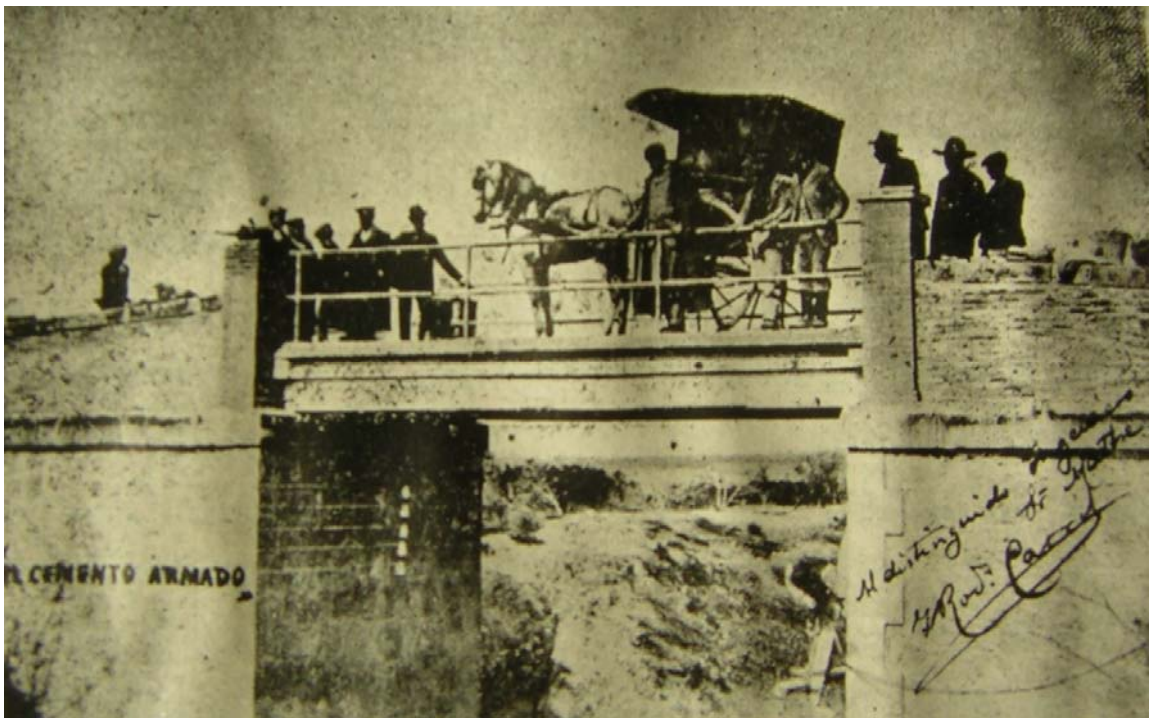
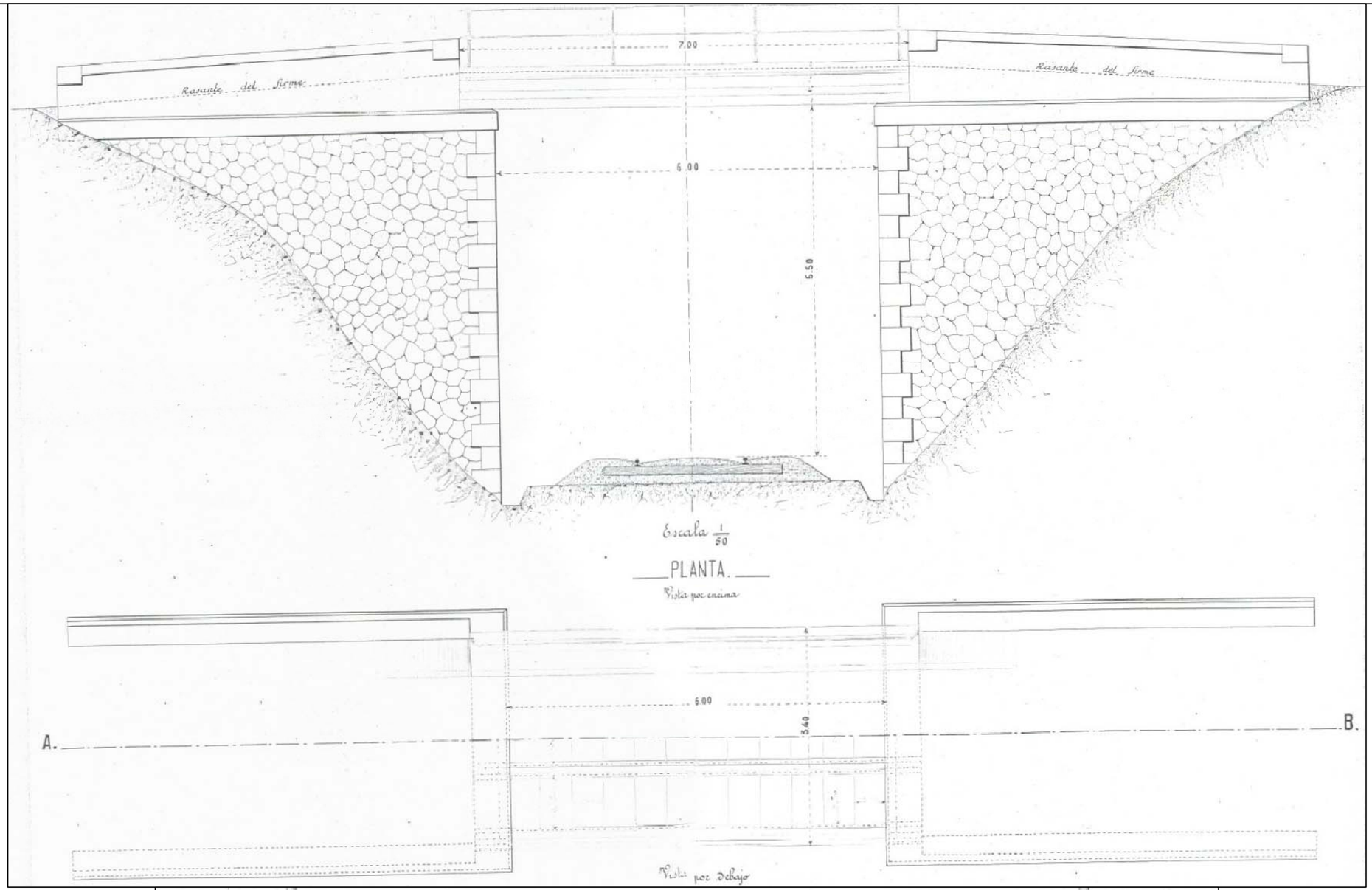
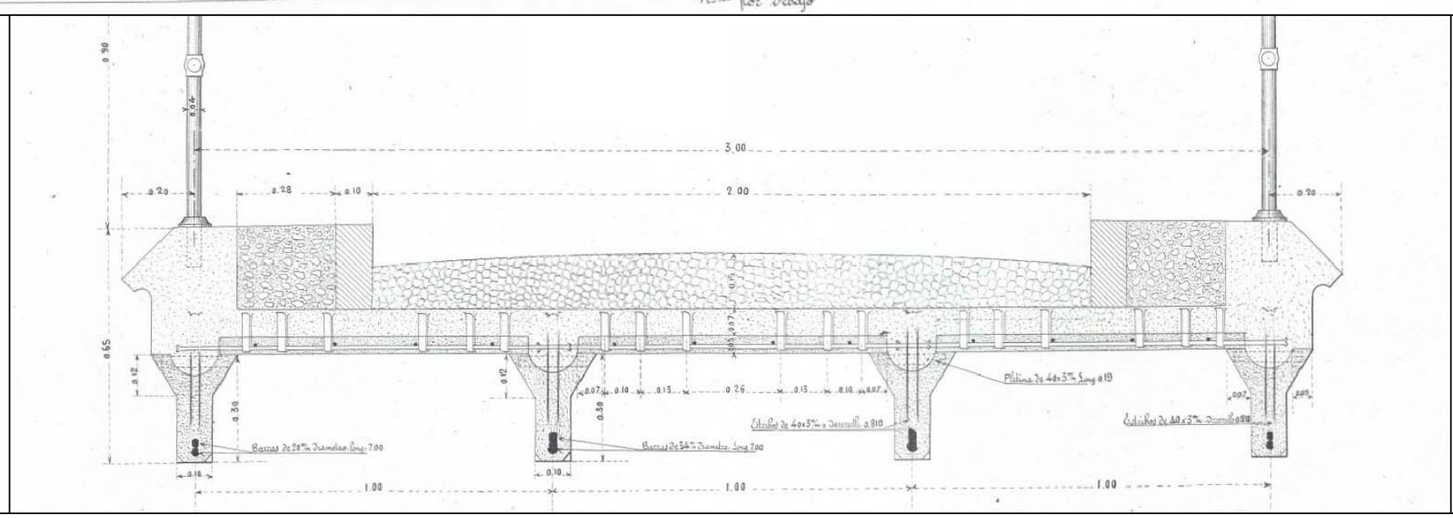


Figura 44. Paso superior de Los Prados. Cieza (Murcia). 1900. J. Ribera y R. Peyronceli, ingenieros de caminos. En *El Cemento Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Tres años más tarde ambos ingenieros construirían otro puente similar en el kilómetro 343,072 de la misma línea, el paso superior del camino de la Sierra. Las pruebas de resistencia se realizaron el once de noviembre de 1903, con asistencia de Peyronceli y Manuel Gomendio en representación de Ribera. Se realizaron una prueba de carga estática y otra dinámica (paso de un carro), registrándose valores de deformaciones acordes con lo establecido en el proyecto. Acto seguido se abrió el puente al transito[84].


7.00
Rasante del firme
Rasante del firme
6.00
5.50
Escala 1/50
PLANTA.
Vista por encima
5.00
5.40
A.
B.
Vista por debajo


3.00
2.00
0.20
0.28
0.10
0.20
0.90
0.65
0.12
0.50
0.07
0.10
0.13
0.26
0.15
0.10
0.07
Platina de 44x5m/m Long 0.19
Cabillas de 44x5m/m a 0.10
Barras de 20m/m Diametro Long 7.00
Barras de 34m/m Diametro Long 7.00
0.14
0.10
1.00
1.00
1.00

Al final, la mayoría de los pasos superiores de madera de esta línea fueron sustituidos por tramos de hormigón armado como el de Hellín (Albacete)[85].

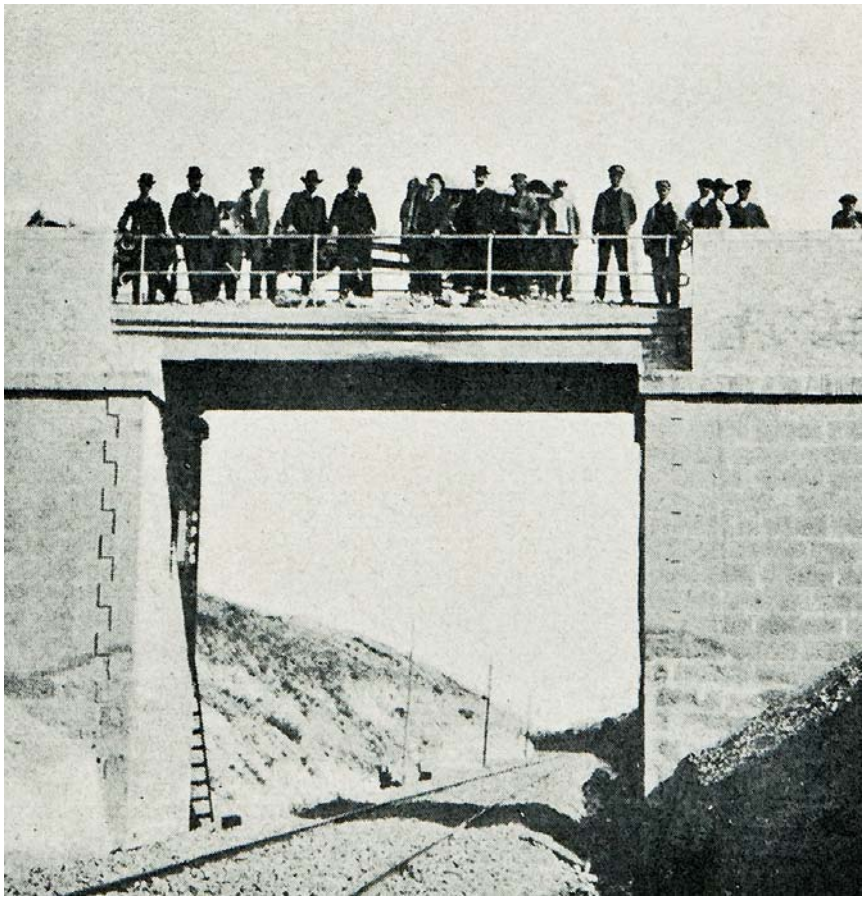
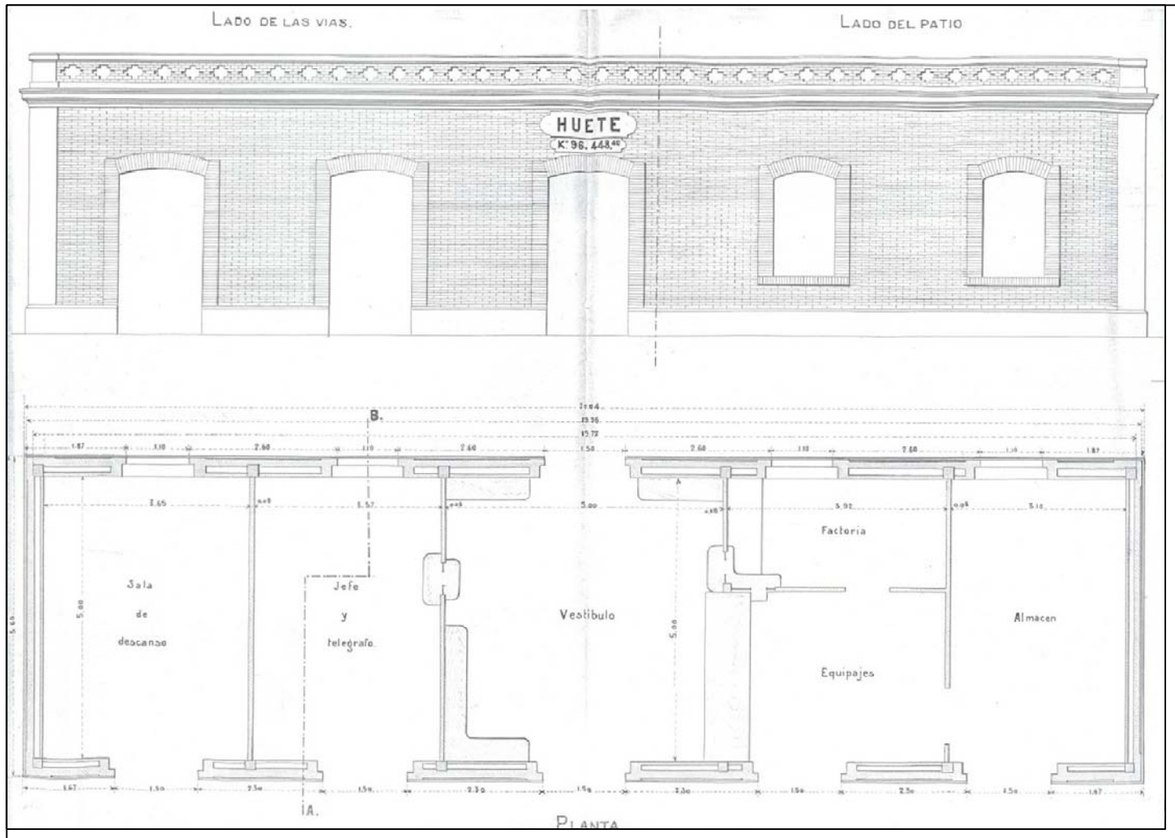


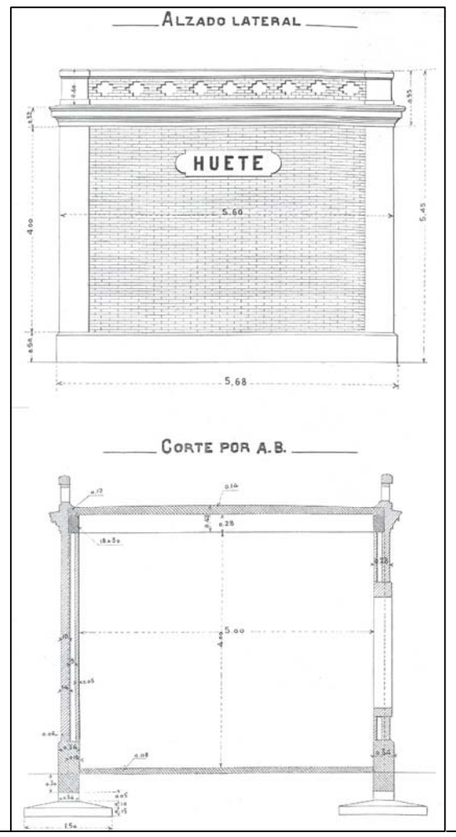
Figura 45. Paso superior de Hellín (Albacete). Hacia 1900. J. Ribera y R. Peyronceli, ingenieros de caminos. En Ribera, *Los progresos del hormigón armado en España.* Biblioteca Nacional de España.

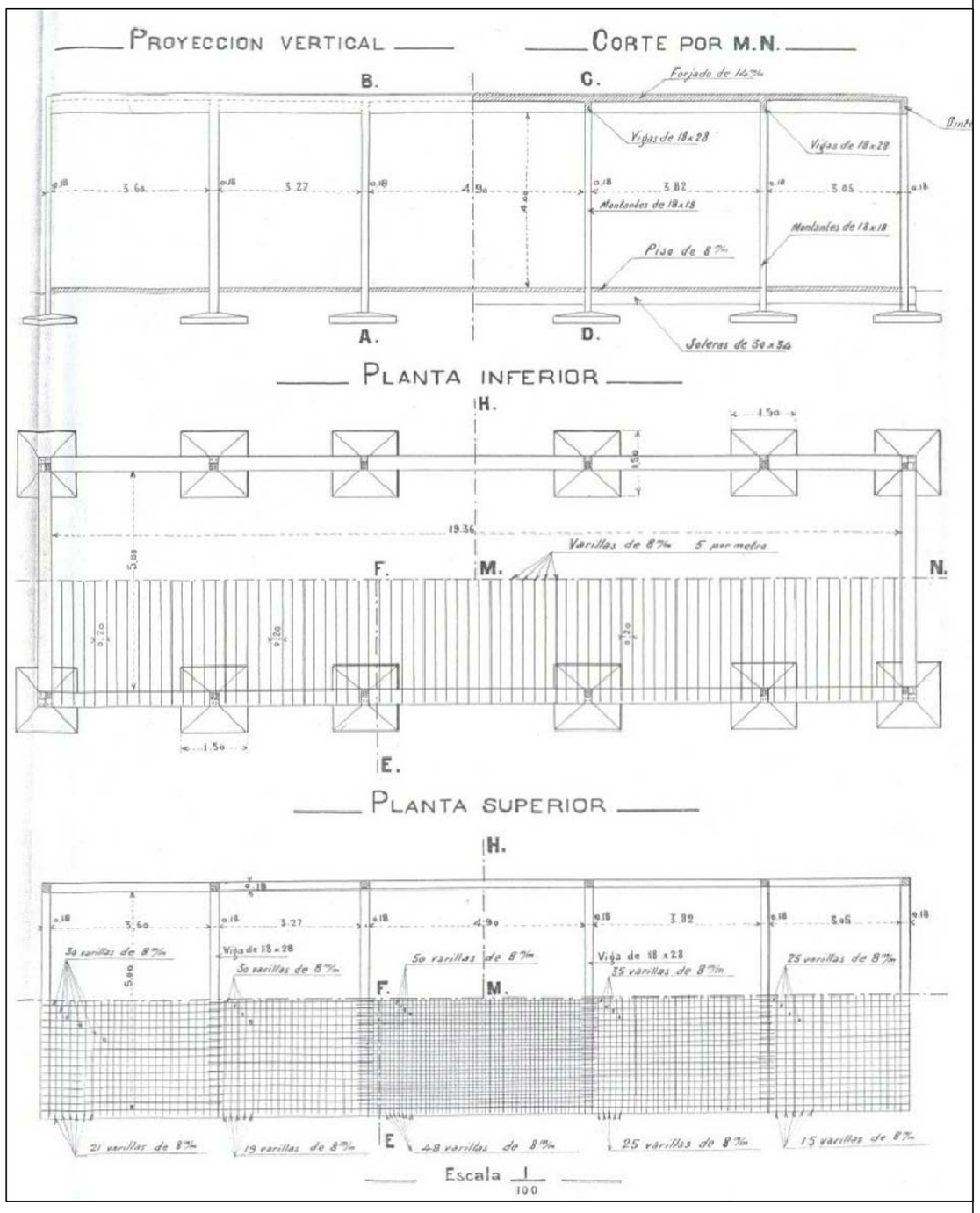
Pero sin duda la construcción más importante que surgió de la colaboración entre ambos ingenieros fue la Estación de Ferrocarril de Huete (Cuenca). Sería este el primer edificio público hecho completamente con hormigón armado por Ribera.

Desde 1888, año en que se había demolido por ruina la primitiva estación, venía prestándose el servicio en un edificio provisional. En 1894 se redactó un proyecto de nueva estación con una cimentación por pilotaje debido a las malas condiciones del terreno[86]. Pero por su elevado coste se había ido posponiendo su ejecución, de forma que en 1900 todavía seguía utilizándose el apeadero provisional. Así las cosas, Peyronceli recurrió a Ribera, con quien diseñó un edificio con cimentación superficial a base de zapatas de hormigón armado, de coste considerablemente menor[87].

La estación, que sigue prestando servicio en la actualidad, es una sencilla construcción de planta y crujía únicas, con una estructura compuesta por seis pórticos planos apoyados sobre zapatas cuadradas. La cubierta se formaba con una losa de hormigón armado de catorce centímetros de canto. Todas las zapatas se arriostraban perimetralmente mediante vigas, disponiéndose además una solera armada (aunque sólo en una dirección).







Estación de Ferrocarril de Huete (Cuenca)

Archivo Histórico Ferroviario. Fundación de los Ferrocarriles Españoles

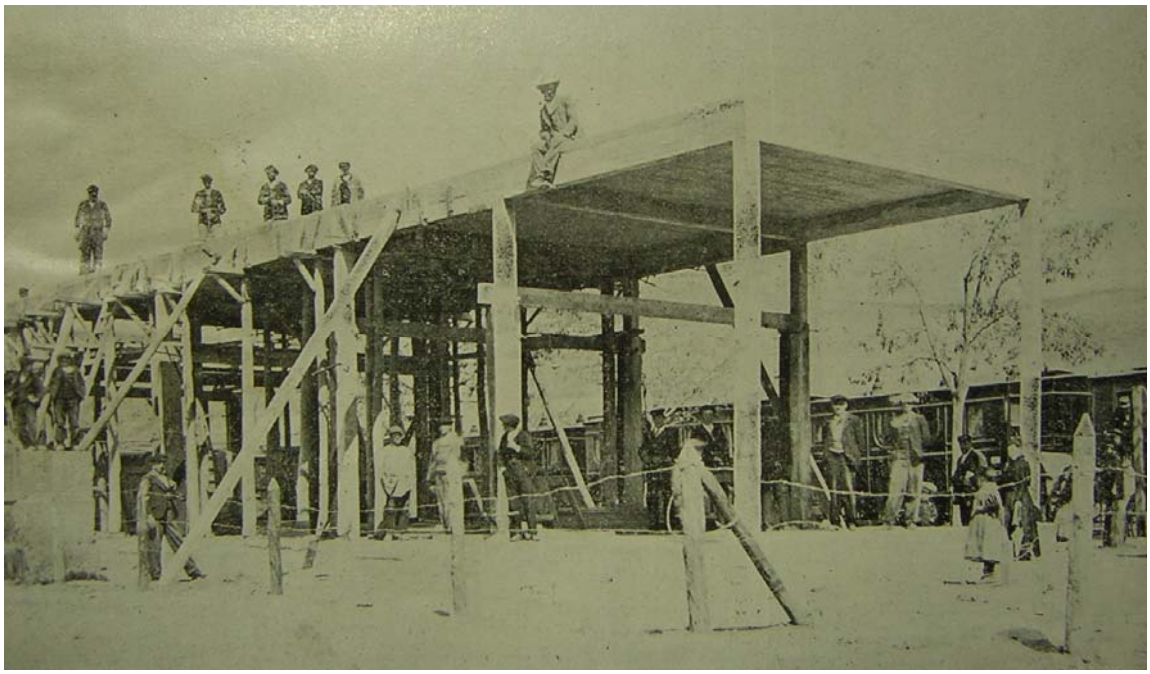


Figura 46. Construcción del edificio de Viajeros de la Estación de Ferrocarril de Huete (Cuenca).1900. José Eugenio Ribera y Ramón Peyronceli, ingenieros de caminos. En *El Cemento Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

En 1901 José Eugenio Ribera ya llevaba construidos "*dieciséis puentes* […]*, quince depósitos, trece fábricas y diez edificios entre públicos y particulares*"[88]. Había acumulado por tanto experiencia suficiente para desarrollar su propio sistema de construcción de hormigón armado, que patentaría a mediados del año. Se independizaba así de la Organización de François Hennebique, a quien no obstante había recurrido antes de romper para documentarse sobre hoteles construidos con hormigón armado. Por entonces se había encargado el proyecto de un gran hotel en Madrid al arquitecto Mariano Repullés y Ribera intentaba convencerlo para que usara el hormigón armado[89].

Su sistema presentaba como principal novedad el empleo de tela metálica en lugar de los flejes o barras que hasta entonces utilizaban todos los sistemas para solidarizar las armaduras inferiores con el núcleo superior de hormigón que resistía a la compresión. La tela metálica tendría además "*la resistencia necesaria para soportar los esfuerzos cortantes a que la viga esté sometida"*[90]*.*

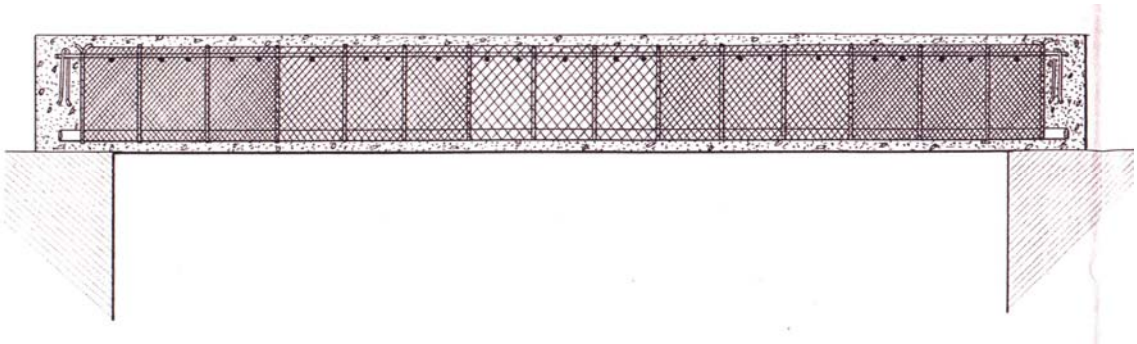


Figura 47. Vigas de hormigón armado sistema Ribera. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

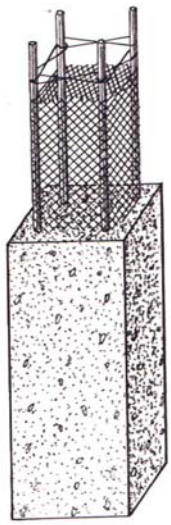


Figura 48. Pilares de hormigón armado sistema Ribera. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

Una vez consolidada su compañía y ya con su propio sistema, comenzó para Ribera una etapa de actividad frenética. La nueva técnica constructiva fue despejando poco a poco las incertidumbres, revelándose idónea para dar soluciones constructivas a problemas que no se podían resolver con las técnicas tradicionales. En buena medida, este desarrollo de la construcción con hormigón armado en nuestro país se debió en buena medida al formidable impulso que Ribera le dio desde su empresa constructora. Ribera había apostado fuerte por el hormigón armado y ahora, con su talento puesto al servicio de la nueva técnica, empezaba a poner de relieve las grandes posibilidades que encerraba el nuevo material.

La configuración estructural de forjados y pórticos de hormigón armado había ya probado su validez y cada vez encontraba mayor aceptación en edificios de cierta entidad, como el del Banco de Crédito Industrial en Gijón[91], con el que daría comienzo una larga y fructífera colaboración con el arquitecto Luís Bellido. Construyó también varias viviendas particulares, grandes residencias para personas acomodadas, como la del banquero Arturo López en Oviedo o la del ingeniero Manuel Bellido en San Sebastián.

A pesar de la reticencia de muchos arquitectos a emplear el nuevo material por razones estéticas, Ribera iba haciéndose con encargos cada vez más importantes. En la balanza pesaba mucho la resistencia frente al fuego de los edificios de hormigón armado, fundamental para edificios como bancos o archivos.

Ribera se empeñaba en demostrar que además de representar la mejor solución desde el punto de vista estructural y de la protección contra incendios, el hormigón armado *"se prestaba muy bien a la decoración"*, tanto en el interior como en el exterior de los edificios[92].

Entre 1902 y 1904 construyó la estructura del nuevo Archivo Provincial de Tolosa, proyecto del arquitecto Manuel Echave y uno de sus encargos más importantes[93].



Figura 49. Archivo de Tolosa. 1902. Manuel Echave, arquitecto. Estructura de hormigón armado construida por J. E. Ribera. Archivo General de Guipúzcoa.

Pero donde iba a poner de manifiesto todo su genio fue en el campo de la ingeniería civil, donde, por otra parte, iba a encontrar más apoyo para llevar a cabo sus arriesgadas iniciativas. Sus proyectos de estos años supusieron grandes avances, tanto para la nueva técnica constructiva como para la ingeniería en general.

Una de las estructuras que más hizo evolucionar fueron los puentes. Para luces reducidas siguió fiel a la tipología de tramos rectos, aunque aportando a veces soluciones imaginativas, como en el puente de la Fandería, de quince metros de luz, construido para el Ayuntamiento de Rentería. En 1901 el Ayuntamiento de esta villa guipuzcoana encargó al arquitecto Ramón Cortázar la demolición de un puente de madera existente y su sustitución por otro de construcción más sólida y duradera. Se planteó varias alternativas de puente de fábrica o de hierro, pero como no le satisficieron estos tanteos creyó oportuno *"ensayar y estudiar el sistema de construcción de cemento amado que está haciendo gran furor".* Se dirigió, pues, a Ribera, que le *"facilitó un proyecto tal y como quería […], ventajoso sobre los demás estudiados hasta la fecha y que resolvía además todos los otros problemas"* [94].

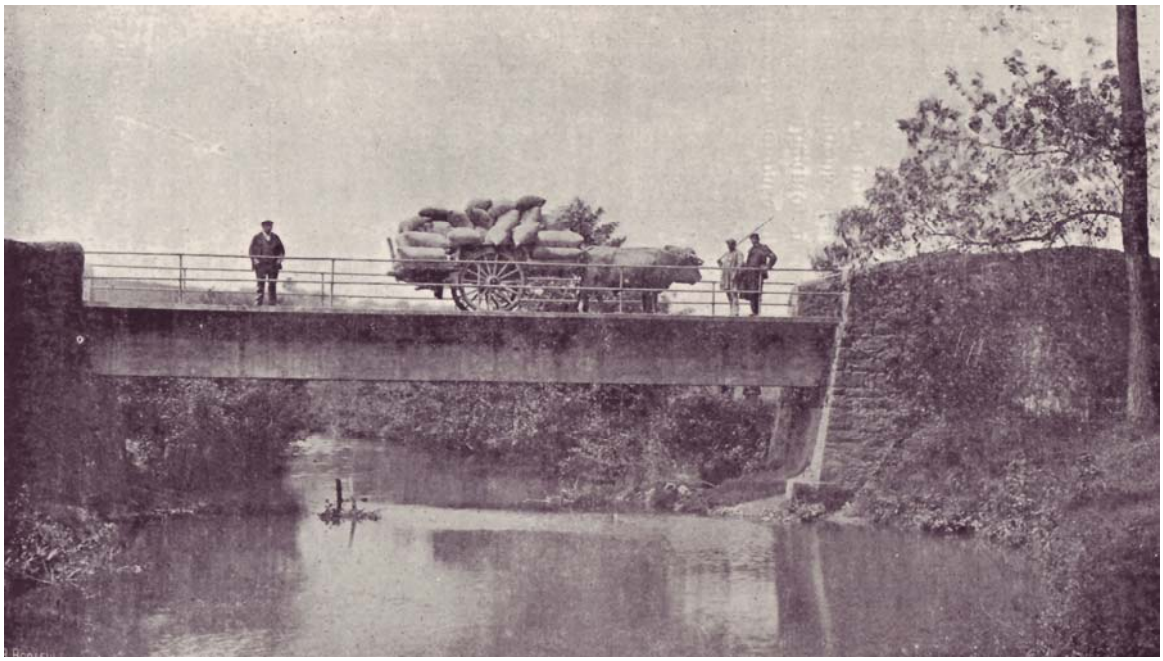


Figura 50. Puente de la Fandería. Rentería (Guipúzcoa). 1901. R. Cortázar, arquitecto y J. E. Ribera, ingeniero de caminos. En Ribera, *Hormigón y Cemento Armado.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

Ribera, al que fue adjudicada por administración la obra de hormigón armado, tuvo que afinar el ingenio para conseguir la economía que había prometido al Ayuntamiento. Así, reutilizó los estribos existentes y se sirvió de carriles de ferrocarril como armadura de positivos[95].

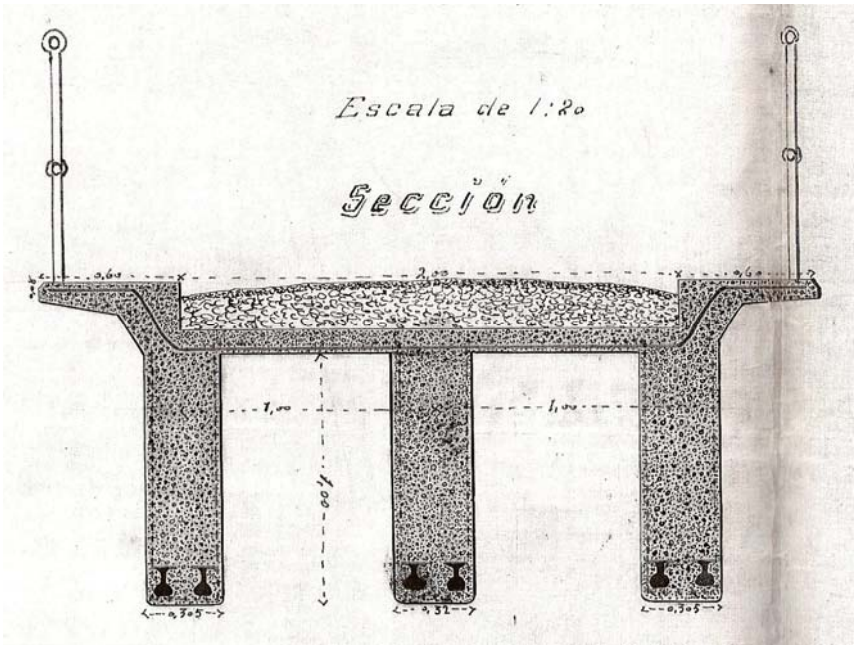


Figura 51. Puente de la Fandería. Sección transversal. 1901. R. Cortázar, arquitecto y J. E. Ribera, ingeniero de caminos. Archivo del Ayuntamiento de Errentería.

Fruto también de su fecunda colaboración con el arquitecto Cortázar sería una obra de paso en Eibar (Guipúzcoa) sobre el ferrocarril de Zumárraga. Se trataba de una pasarela en tramo recto con una luz de catorce metros, a la que se accedía por dos escaleras de once metros de altura[96].

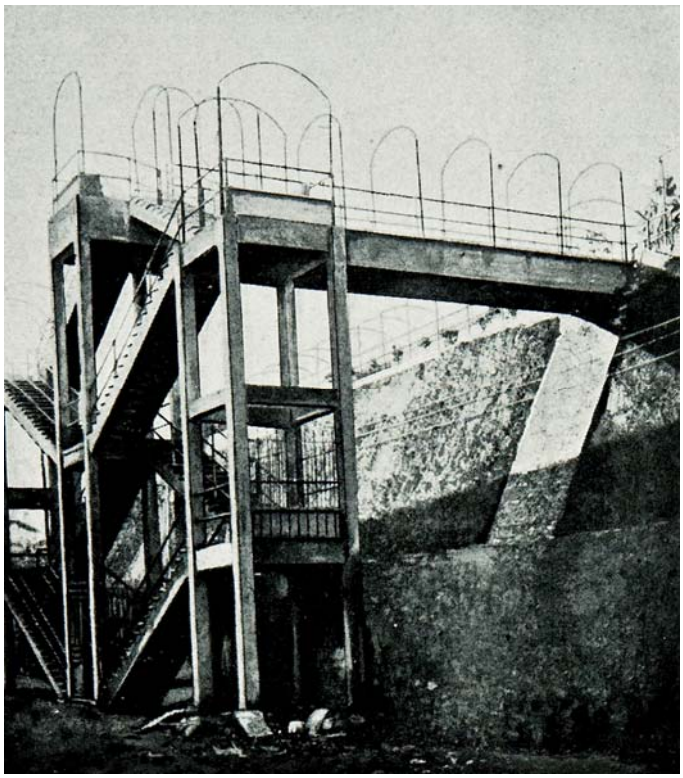


Figura 52. Pasarela sobre el ferrocarril de Zumárraga. Eibar (Guipúzcoa). 1901. R. Cortázar, arquitecto y J. E. Ribera, ingeniero de caminos. En Ribera, *Los progresos del hormigón armado en España.* Biblioteca Nacional de España.

Otra notable aplicación de su sistema fue el puente acueducto de la papelera del Araxes (Tolosa), formado por cinco tramos rectos de doce metros de luz. Ribera planteó una conducción de sección transversal cuadrada que constituía el puente propiamente dicho[97].

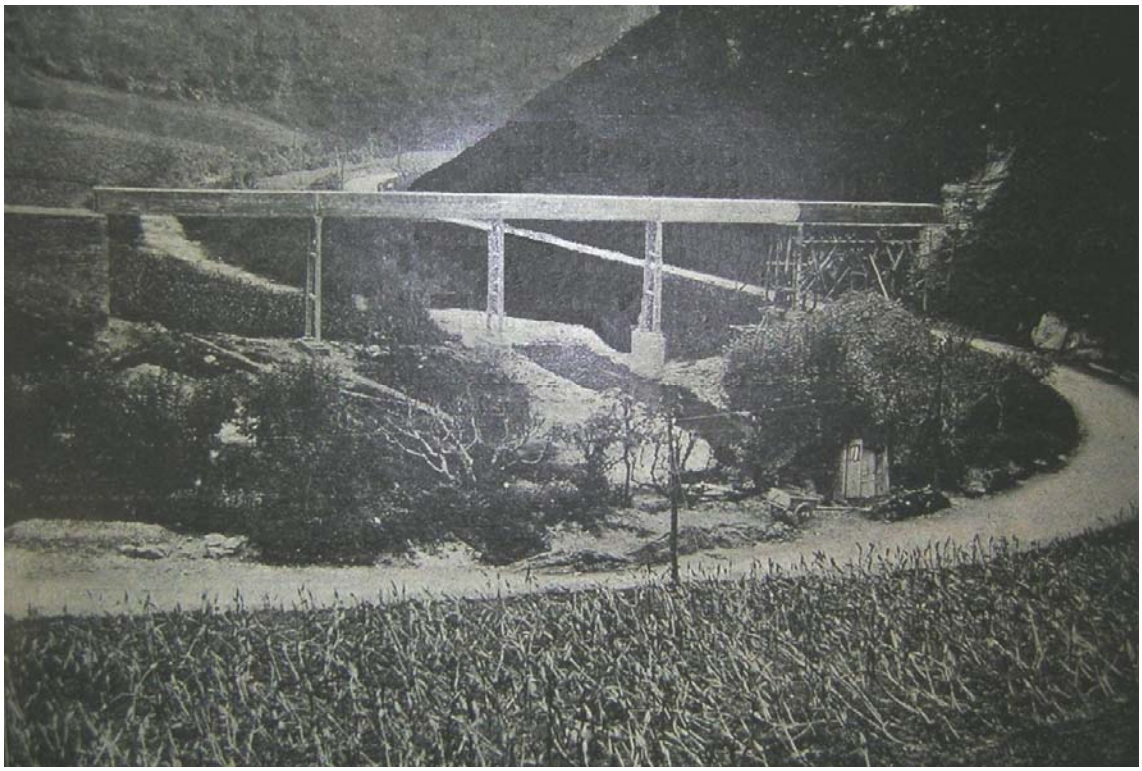


Figura 53. Puente acueducto para la papelera del Araxes. Tolosa (Guipuzcoa). 1902. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Fig.ª 1._ Alzado.

Fig.ª 2._ Seccion longitudinal.

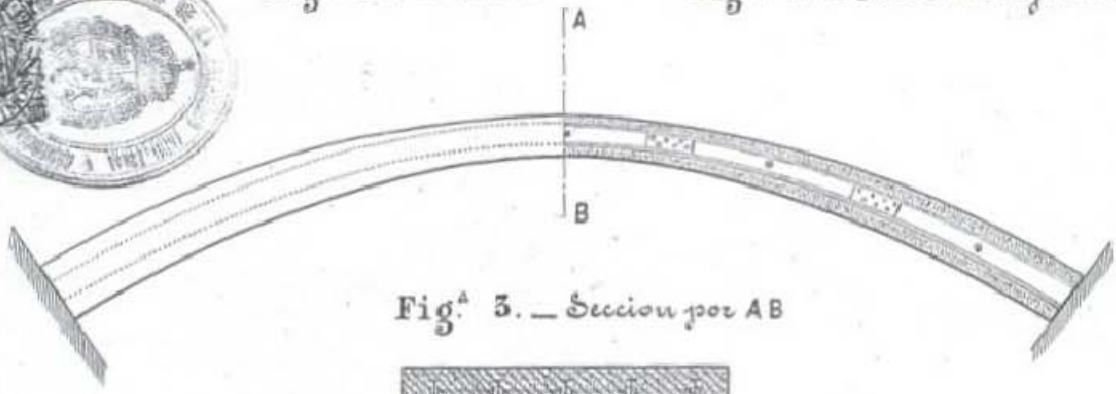


Fig.ª 3._ Seccion por AB

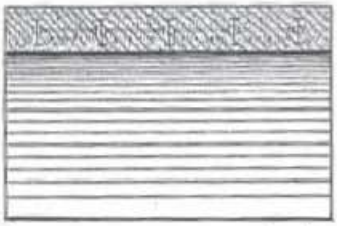


Fig.ª 4. Seccion de un semi-arco.

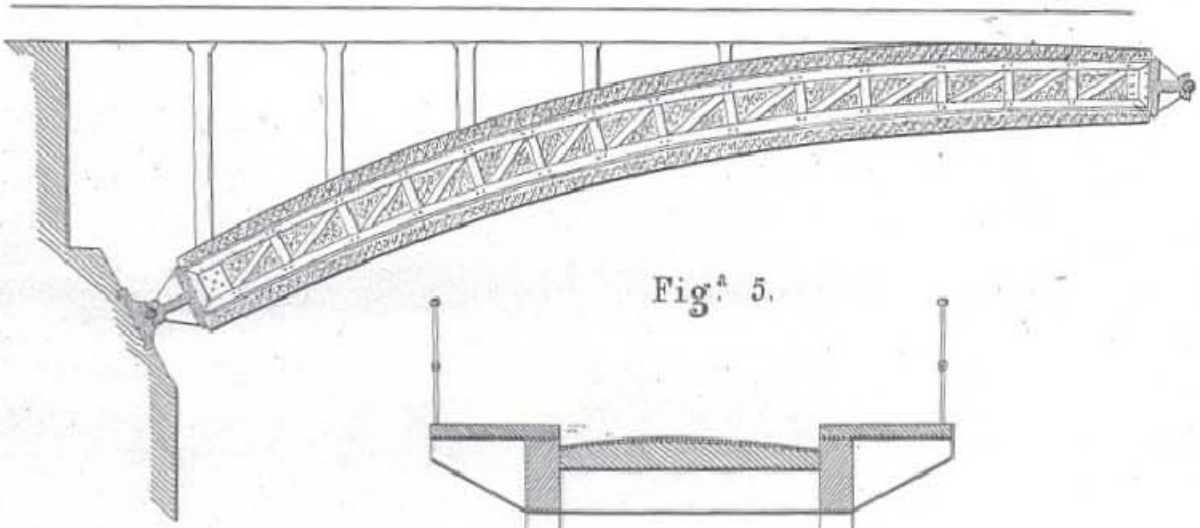
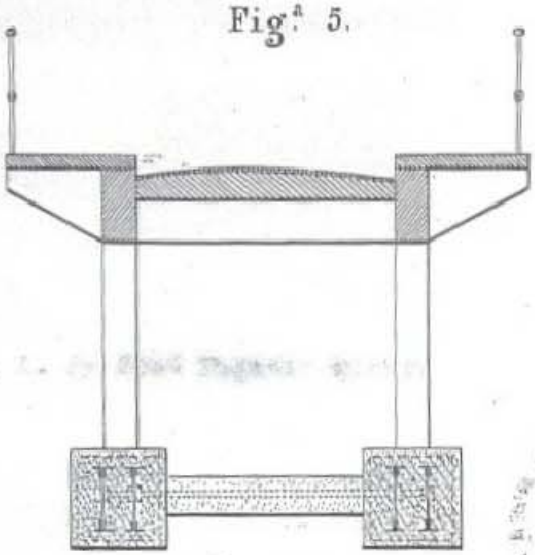


Fig.ª 5.



Escala $\frac{1}{1000}$

CONFORME CON SU DUPLICADO
El Secretario

Madrid 9 Junio 1902

Sin embargo, para puentes de mayor luz puso a punto un nuevo sistema de puentes en arco, que patentó en 1902. Se basaba en la utilización como armadura de vigas metálicas en doble T, sencillas o en celosía, capaces de resistir ellas solas el peso del hormigón antes de fraguar. Esta armadura autoportante reducía al mínimo la cimbra, lo que facilitaba la ejecución. Para luces grandes (más de 30 m) estimaba conveniente articular las cerchas en los arranques y en la clave[98].

Su primer proyecto de este tipo fue un puente de treinta y cinco metros de luz en la carretera de Mieres a su estación de ferrocarril[99], un atrevido diseño que no se llegó a construir. El que sí que podría llevar a la práctica fue el puente de Golbardo (Cantabria), formado por dos arcos gemelos de treinta metros de luz[100]. Se construyó entre 1902 y 1903.

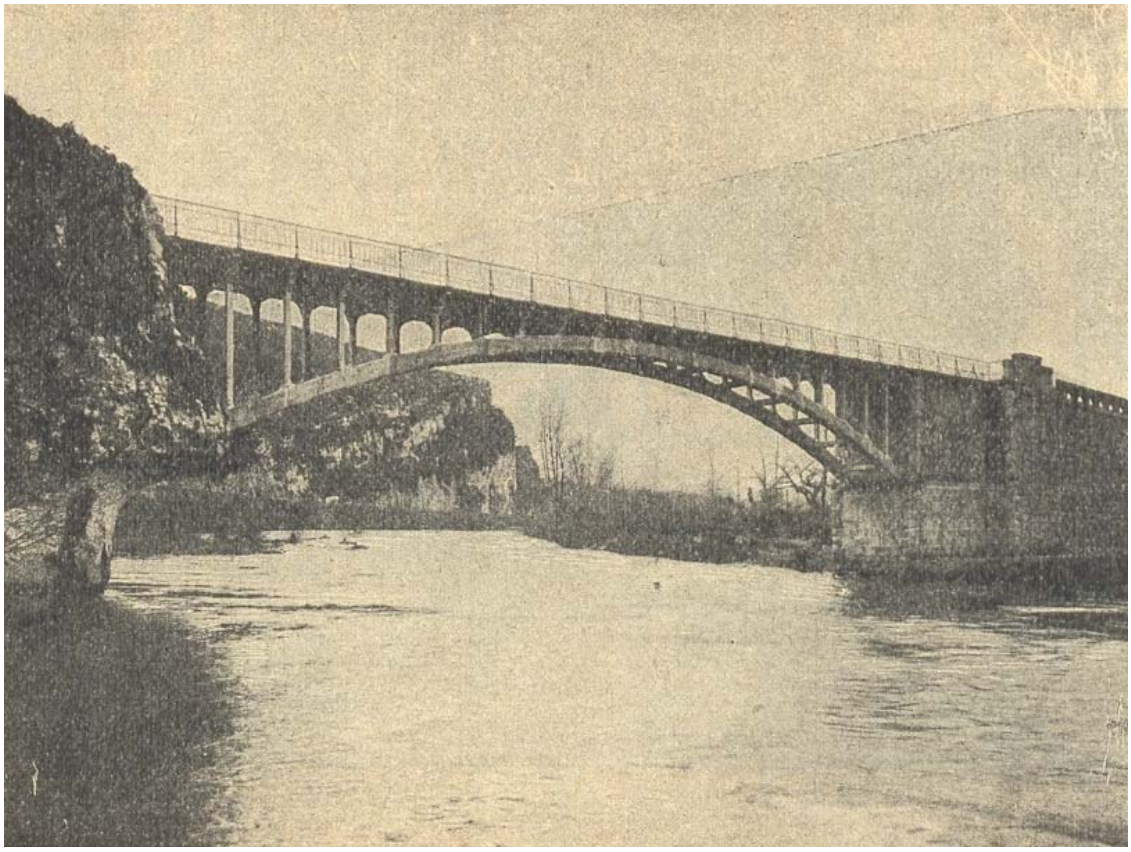


Figura 54. Puente de Golbardo (Santander). 1902. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En Vacchelli, *Las construcciones de hormigón y de cemento armado.*

La misma configuración estructural, tablero superior apoyado mediante pilares sobre dos arcos gemelos, también la adoptaría para la reconstrucción de uno de los tramos del puente de Ganzo en Torrelavega (Cantabria), obra contemporánea de la de Golbardo.

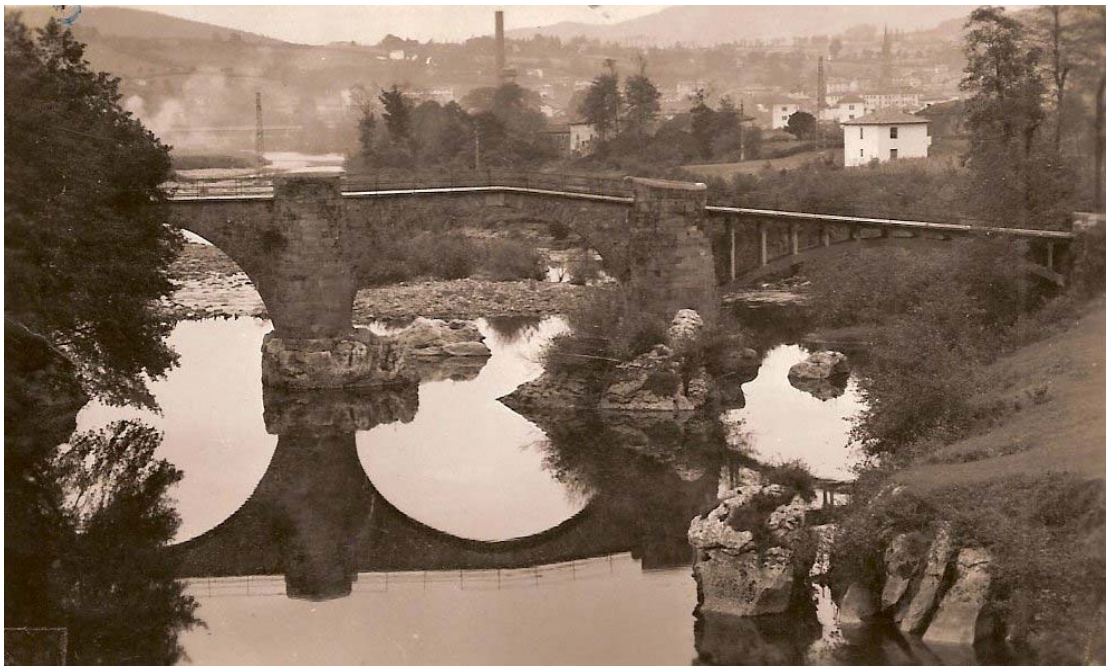


Figura 55. Puente de Ganzo. Torrelavega (Cantabria). 1902. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos.

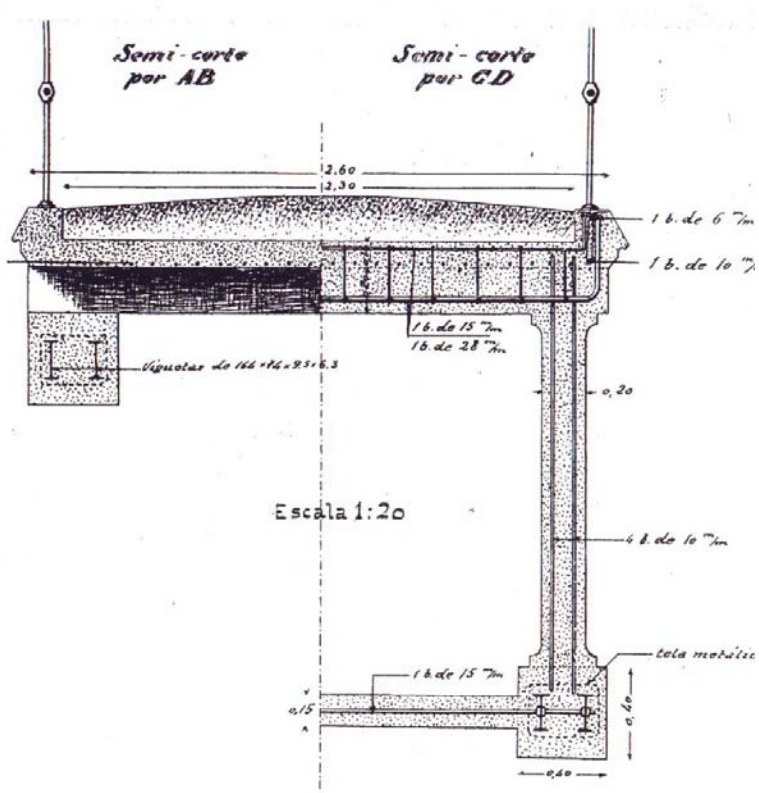


Figura 56. Sección transversal del puente de Ganzo, según el proyecto de J. E. Ribera. 1902. Archivo Municipal de Torrelavega.

Los dos puentes habían resultado económicos y de construcción sencilla. Sin embargo, con su puesta en servicio se revelaría un importante defecto. Eran unos puentes muy livianos y los arcos gemelos no aportaban la suficiente rigidez al conjunto, a pesar de tener unas vigas de arriostramiento transversales. En consecuencia resultaban *"de una movilidad excesiva al paso de las cargas móviles",* por lo que en lo sucesivo Ribera aconsejó su uso sólo *"para carreteras de poco tránsito"*[101].

Para solventar este defecto, en sus proyectos siguientes sustituiría los arcos gemelos por una única bóveda, construida con armaduras rígidas de perfiles metálicos. Mantendría el tablero superior, pero apoyado en tabiques transversales sobre las bóvedas, en lugar de los pilares anteriores. Entre 1903 y 1904 pondría a prueba esta nueva configuración en dos de sus obras más representativas.

La primera de ellas fue el puente acueducto del Chorro. En 1904 se estaban ejecutando las obras de la central hidroeléctrica del mismo nombre, situada en el término municipal de Ardales, provincia de Málaga. El ingeniero Leopoldo Werner, responsable de las obras, recurrió a Ribera para solucionar uno de los elementos más complicados de la conducción de aguas: un puente acueducto de 33 metros de luz que había que construir *"a una altura sobre el lecho del río de ochenta metros, entre dos gigantescas rocas escarpadas, absolutamente inaccesibles como no sea para las águilas y quebrantahuesos que tienen allí sus nidos"* [102].

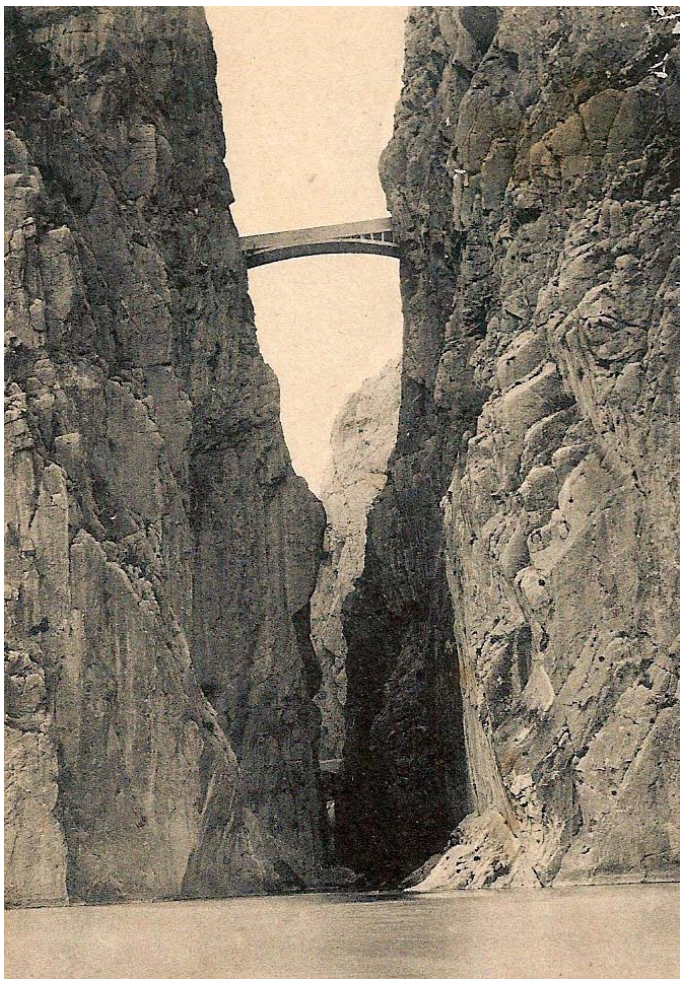


Figura 57. Puente acueducto de la garganta del Chorro en Ardales (Málaga). 1904. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos.

Para llegar a uno y otro estribo del puente se practicaron dos túneles en la roca. Desde ellos se tendieron las armaduras rígidas que sirvieron como cimbra y apoyo de los moldes para ejecutar el puente completo. Además, Ribera construyó para la central del Chorro un tramo de conducción forzada de cemento armado.



Figura 58. Construcción del acueducto del Chorro en Ardales (Málaga).1904. J.E. Ribera, ingeniero de caminos. En *Los progresos del hormigón armado en España.* Biblioteca Nacional de España.

Simultáneamente proyectaría y construiría el puente de María Cristina en San Sebastián. Ribera se había adjudicado el concurso convocado en 1903 por el Ayuntamiento para la construcción de un puente monumental sobre el río Urumea. En ello fue determinante la colaboración del arquitecto Julio Martínez Zapata, quien se encargó de diseñar su monumental decoración[103].



Figura 59. Puente de Maria Cristina, San Sebastián. 1904. José Eugenio Ribera, ingeniero, y Julio Martínez Zapata, arquitecto.

En este puente, formado por tres bóvedas muy rebajadas de 24 m de luz, se emplearon por primera vez en España pilotes de hormigón armado para la cimentación de las pilas. Inicialmente había subcontratado el pilotaje a un especialista extranjero, pero ante la incapacidad de este, tuvo que asumir personalmente su ejecución. Fueron necesarios 428 pilotes de sección cuadrada de 0,25 x 0,25 m, hincados a cinco metros de profundidad[104].

Consciente de su trascendencia, Ribera pondría especial cuidado en que se construyera adecuadamente. Se encargó personalmente de dirigir su ejecución, que llevaría a cabo con gran minuciosidad. Por ejemplo, llegaría hasta el extremo de sumergirse para inspeccionar los la cimentación de sus pilas y estribos.



Figura 60. José Eugenio Ribera, dispuesto a sumergirse para inspeccionar la cimentación del puente de Maria Cristina. 1903. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos.

Gracias en buena medida al impulso de Ribera, la construcción con hormigón armado en España estaba haciendo notables progresos. Por su versatilidad, su resistencia al fuego y su economía estaba ganando la partida en nuevas construcciones, si bien la mayoría de ellas era de iniciativa privada o emprendidas por algunos ayuntamientos. No obstante, poco a poco empezaba a vencer los recelos de la Administración General del Estado, a cuyo cargo estaban las obras más importantes. Por otro lado, el prestigio de Ribera le conseguiría decididos apoyos entre sus más altas jerarquías técnicas, lo que en buena medida allanaría el camino para su entrada en las grandes obras públicas.

Así, en 1903 consiguió la adjudicación de las obras del Sifón del Sosa, pieza fundamental del Canal de Aragón y Cataluña, uno de los más ambiciosos proyectos de la ingeniería civil española del siglo XX. Con él se pretendían aprovechar las caudalosas aguas del río Esera para poner en regadío 105.000 hectáreas de terreno entre las provincias de Huesca y Lérida. Su tramo principal, de 120 kilómetros de longitud y concebido para transportar un caudal de 35 m^3/s, incluía numerosos tramos en túnel, puentes acueductos y sifones, además de incontables pontones, tajeas y obras menores[105].

Entre todas estas obras destacaba la del sifón necesario para salvar las dos depresiones formadas por el río Sosa y el barranco de Ribabona, cerca de Monzón (Huesca), con una longitud de 1000 m y 30 m de diferencia de cotas. Estaba formado por dos tuberías de 3,80 m de diámetro, las más grandes del mundo proyectadas hasta entonces[106].

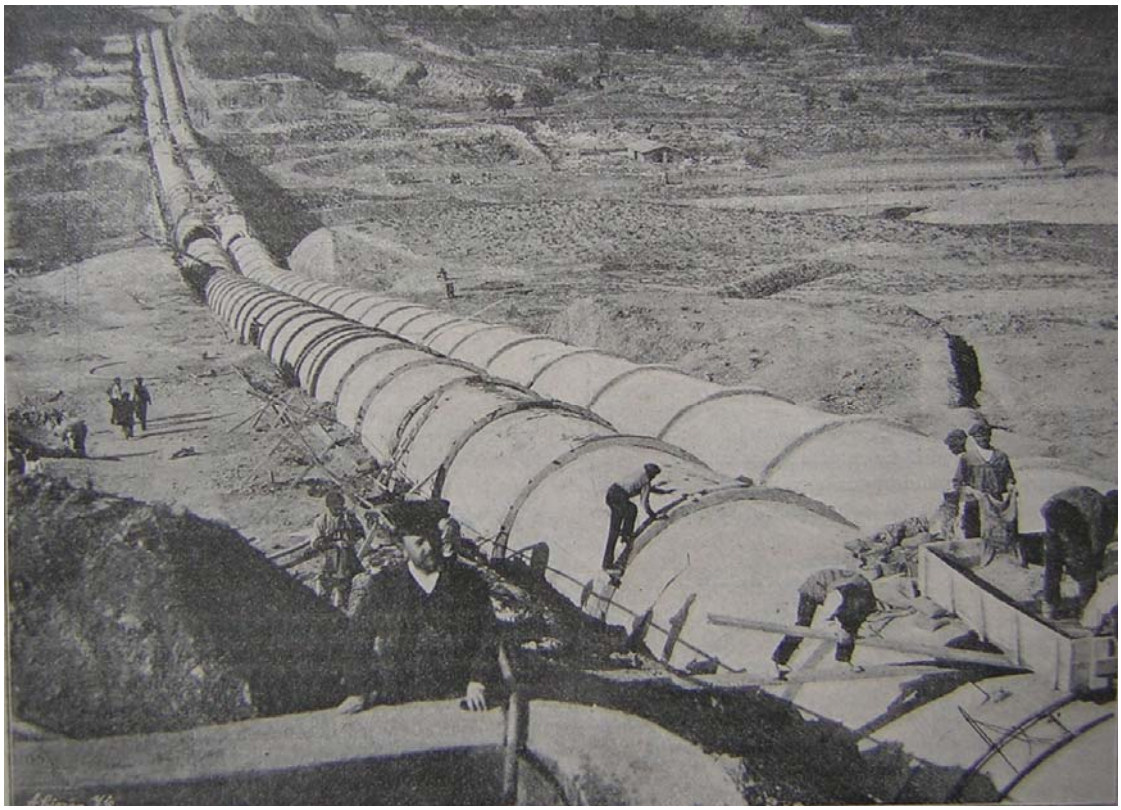


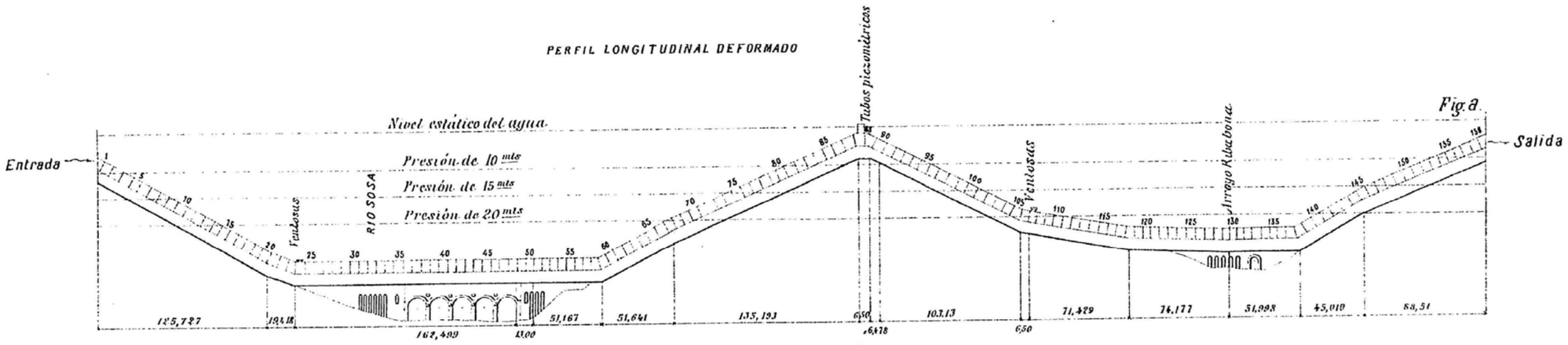
Figura 61. Construcción del Sifón del Sosa. Aimé Bonna y José Eugenio Ribera, ingenieros.1903-1906. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Ribera se presentó al concurso asociado con el constructor francés Aimé Bonna, uno de los mayores especialistas del momento. Su proposición resultó vencedora, aunque no sin levantar suspicacias.

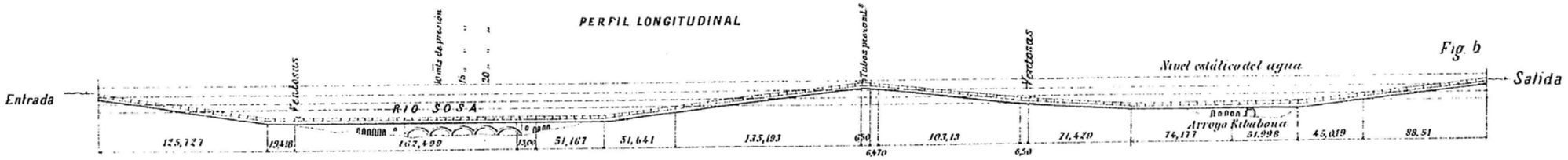
Revista de Obras Públicas Número 1552

PLANO GENERAL DE LA OBRA

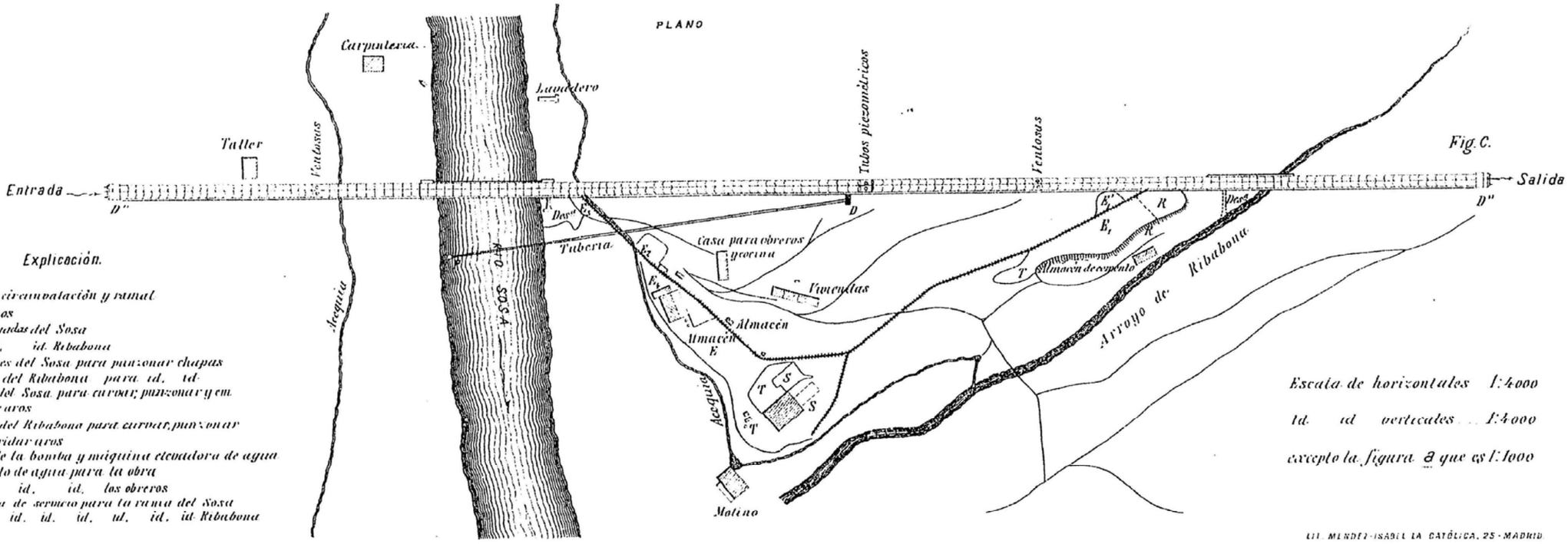
PERFIL LONGITUDINAL DEFORMADO



PERFIL LONGITUDINAL



PLANO



Explicación.

- Vía de circunvalación y ramal
- Caminos
- $E E_2 E_3 y E_4$ Explanadas del Sosa
- E_1 y E'_1 Id. id. Rihabona
- T T Talleres del Sosa para punzonar chapas
- T' Taller del Rihabona para id. id.
- S Id. del Sosa para curvar, punzonar y embridar aros
- R Taller del Rihabona para curvar, punzonar y embridar aros
- P Pozo de la bomba y máquina elevadora de agua
- D Depósito de agua para la obra
- a Id. id. id. los obreros
- DD' Tubería de servicio para la rama del Sosa
- DD'' Id. id. id. id. id. id. id. Rihabona

LIT. MENDEZ-ISABEL LA CATÓLICA, 25 - MADRID

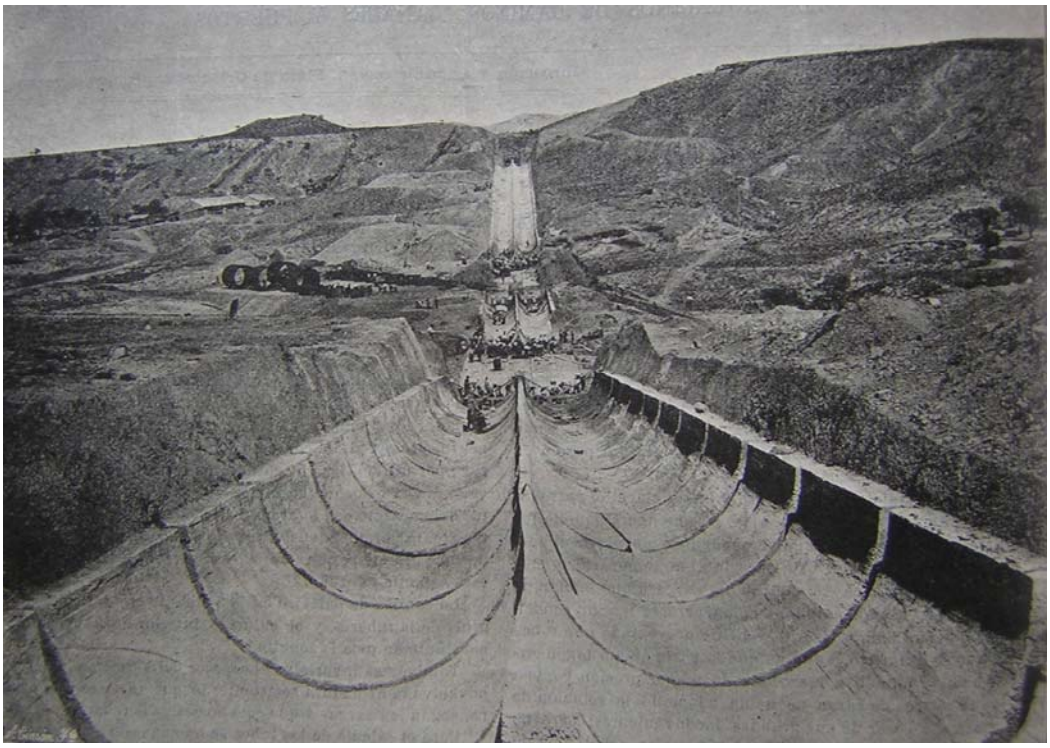


Figura 62. Construcción del Sifón del Sosa. Aimé Bonna y José Eugenio Ribera, ingenieros. 1903-1906. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Al hablar del Sifón del Sosa quizá no pueda aplicarse con rigor el término de hormigón armado, pues se trata en realidad de una obra de transición entre la nueva técnica y las tradicionales tuberías metálicas. Ribera y Bonna proyectaron una tubería de palastro recubierta interior y exteriormente de hormigón con directrices de acero en T[107].

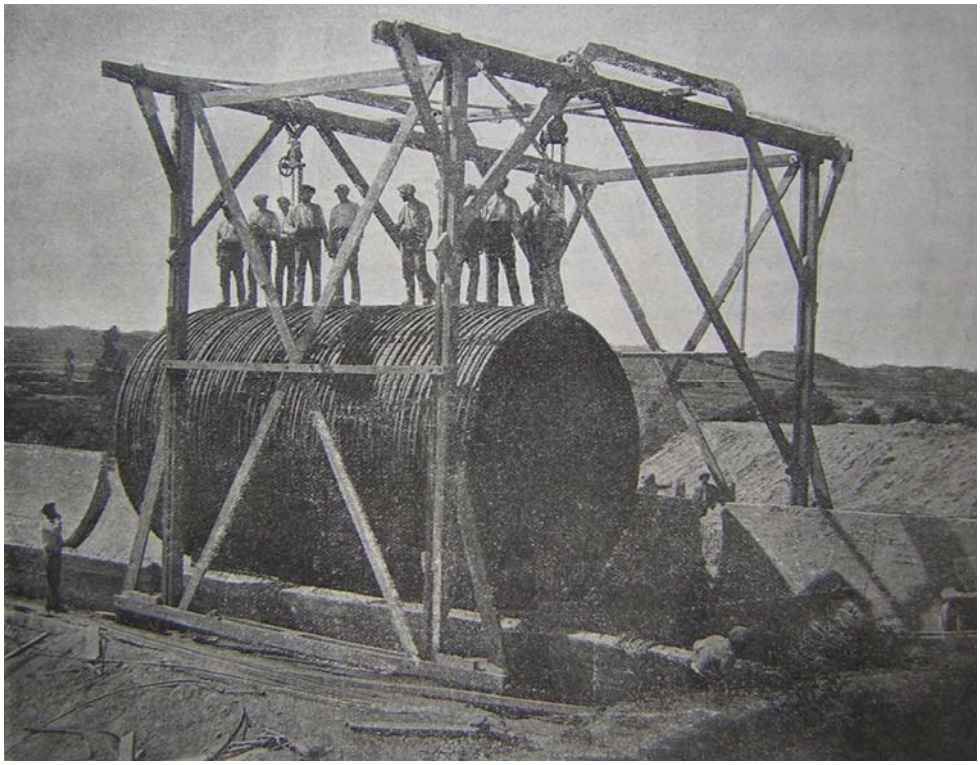


Figura 63. Construcción del Sifón del Sosa. Aimé Bonna y José Eugenio Ribera, ingenieros. 1903-1906. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Las obras comenzaron en agosto de 1904, montándose a pie de obra una costosa instalación para la soldadura de las piezas de palastro, criterio impuesto por el técnico francés, que codirigía la obra con Ribera. Posteriores desavenencias motivaron su abandono, quedando sólo este último al frente de los trabajos. Al final decidió resolver las juntas por roblonado y de este modo, bajo la dirección de su colaborador Mariano Luiña, se consiguió terminar el sifón en noviembre de 1905[108].

El hormigón armado se estaba revelando como una alternativa rápida y económica para dar solución a problemas constructivos muy difíciles de solucionar con los materiales tradicionales. Así ocurría con los depósitos de agua de las ciudades importantes, cuyas inmensas cubiertas constituían uno de los grandes problemas para la ingeniería de la época.

Por ejemplo, el Consejo de Obras Públicas recurriría al hormigón armado para la construcción del Tercer Depósito del Canal de Isabel II, proyecto que llevaba varias décadas sin resolver y originando graves deficiencias en el abastecimiento de agua de la capital. La gigantesca cubierta de 80.000 m^2, que iba a ser la construcción de hormigón armado más importante de España y una de las más grandes del mundo, fue sacada a concurso mediante Real Orden de 10 de diciembre 1901[109]. Tan extraordinaria obra despertó considerable interés, teniendo que ampliarse el plazo de recepción de proposiciones hasta diciembre del año siguiente para poder recibir las provenientes del extranjero.

Mientras tanto, Ribera estaba construyendo un gran depósito en Gijón, de nuevo gracias al apoyo del arquitecto municipal Luís Bellido. Era esta también una obra de gran envergadura, con 20.000 m^3 de capacidad y 4000 m^2 de cubierta.

En su proyecto planteó un diseño muy atrevido, a base de bóvedas rebajadas (con una armadura en retícula como la del sistema Monier) sobre jácenas y pilares de hormigón armado. Presentaba asimismo la ventaja de que como no tenía arriostramientos transversales se podía ejecutar con gran rapidez y economía de medios, pues se levantaban primero los soportes y las vigas, y sobre ellos se hacían las bóvedas con un encofrado deslizante.

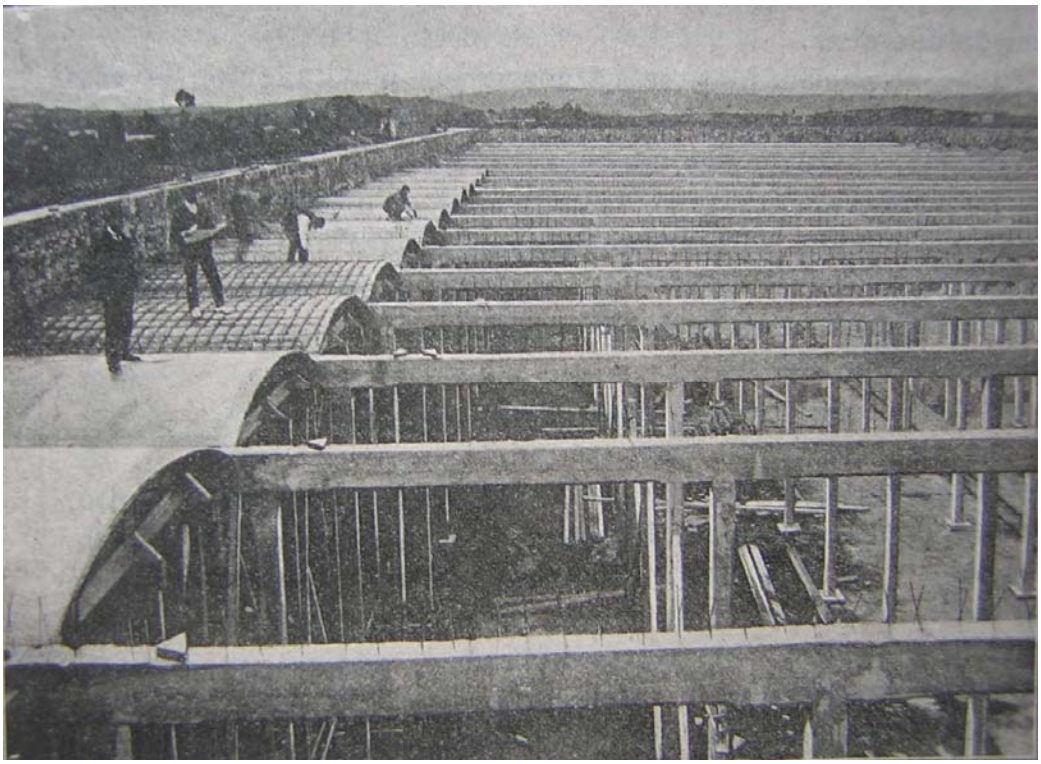


Figura 64. El depósito de Gijón en construcción. J.E. Ribera, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Para asegurarse de su viabilidad, realizó unas pruebas de carga en noviembre de 1902. En esta experiencia las bóvedas de prueba mostraron un comportamiento extraordinario, mostrándose capaces de resistir varias veces las cargas de proyecto[110]. La cubierta fue terminada en 1903.



Figura 65. Pruebas de carga para el depósito de Gijón. 1903. En *El Cemento Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Convencido de la idoneidad de su diseño, decidió utilizarlo también para la cubierta del *Tercer Depósito* de Madrid. Sin embargo, confiado sin duda en los magníficos resultados de las pruebas de Gijón, adoptó una solución todavía más arriesgada, con bóvedas más livianas y de mayor luz.

De esta forma, su proposición resultaba claramente ventajosa frente a las demás que se presentaron al concurso (catorce, entre españolas y extranjeras). Así que, a pesar de que algunos informes técnicos avisaban del peligro por la falta de arriostramientos transversales y no sin que se levantaran de nuevo sospechas de favoritismo, el Consejo de Obras Públicas decidió adjudicarle las obras a principios de 1903[111].

Tras solventar unos problemas relacionados con el terreno de cimentación, comenzó la ejecución del depósito propiamente dicho a mediados de 1904, con Mariano Luiña como jefe de obra. Con el plan de trabajo ideado por Ribera (se levantaban primero pilares y jácenas y después se construían las bóvedas con un encofrado deslizante) se lograban importantes rendimientos, estando en abril de 1905 terminado uno de los cuatro compartimentos de que constaba el depósito y los otros bastante avanzados. El ocho de abril, después de haber realizado unas pruebas de carga, la cubierta del cuarto compartimento se derrumbó, llevándose la vida de treinta trabajadores y causando graves lesiones a otros cincuenta.

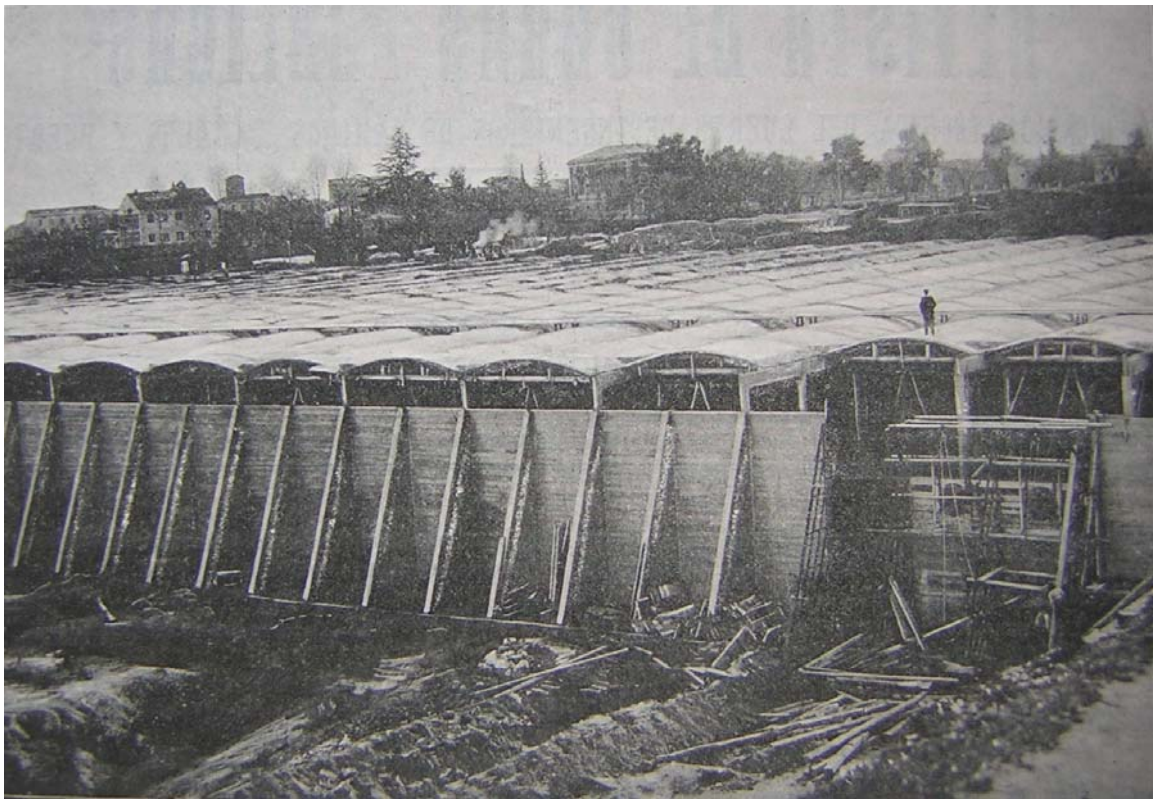


Figura 66. El cuarto compartimento del Tercer Depósito unos días antes de su hundimiento en abril de 1905. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

El desastre causó una gran conmoción en la sociedad española. Ribera asumió toda la responsabilidad, quedando inmerso en un largo proceso judicial que no acabaría hasta dos años más tarde.

El hormigón armado en general, y la empresa de Ribera en particular fueron puestos en tela de juicio, frustrándose gran parte de las expectativas que se habían generado en los años anteriores. Afortunadamente, no se paralizaron las obras en marcha. El éxito con que se desenvolvería la situación en estas (como el Sifón del Sosa) y la absolución final de Ribera en el juicio le rehabilitaron completamente, volviendo a contar en poco tiempo con la confianza de las administraciones.

De este modo, la catástrofe del Tercer Depósito, a pesar del gran revuelo que levantó, no supuso un contratiempo insuperable para la evolución del hormigón armado en España. Eso sí, Ribera tuvo que pasar unos años difíciles en lo personal, mitigados en gran parte por el compañerismo que mostraron la inmensa mayoría de los profesionales del mundo de la construcción. En 1907, cuando ya había terminado todo, reconocía la importancia de su apoyo para continuar su impulso a la construcción con hormigón armado:*"Mis compañeros comprendieron, desde el primer momento, que las causas de la catástrofe no debían atribuirse ni al ejecutor de las obras, ni al sistema de construcción. Nadie puso en duda mi buena fe, ni mi conciencia de contratista, y sin protestar contra la campaña de prensa de que todos, y yo muy principalmente, fuimos víctimas, hube de ser objeto de unánimes pruebas de simpatía y cariño, por parte de todos los técnicos de España y de muchos del extranjero"*[112].

Esta confianza fue, en efecto, determinante para que continuaran las obras ya adjudicadas del Canal de Aragón y Cataluña. Además del Sifón del Sosa, que empezó a prestar servicio a entera satisfacción en marzo de 1906, en estos años Ribera proyectó o llevó la contrata de hasta veintiséis obras de hormigón armado[113].

Sin embargo, fueron momentos difíciles para todas las construcciones de hormigón armado, que durante un tiempo estuvieron en entredicho. Circulaban todo tipo de rumores, a veces con las peores intenciones, como el que Rafael López Sandino, ingeniero del Estado responsable de las obras del Canal y proyectista de varias de sus construcciones, tuvo que desmentir en julio de 1905: *"Por diversos conductos ha llegado a mí noticia que circula [...] un rumor según el cual el puente del Sosa tiene grietas que hacen temer por su estabilidad, y también dice que el proyecto es muy atrevido. Como autor del proyecto definitivo y constructor de la obra, me interesa hacer constar que la primera parte del rumor carece en absoluto de fundamento, y que ni el Director del Canal, ni ninguno de los Ingenieros del servicio, ni los que han visitado la obra, ni yo, hemos observado nada que pueda servir de base al mismo"*[114].

En este caso se trataba, no obstante, de una obra de hormigón en masa: el puente para salvar la depresión del río Sosa en la parte más baja del sifón. Con una longitud total de 183 m, repartida en un tramo central de cinco arcos de intradós elíptico de quince metros de luz,

separados por dos grandes estribos de muros de acompañamiento con dos series de arcos de tres metros. Formaba parte de lo que se podría llamar la infraestructura del Sifón, que también incluía un pontón de cuatro metros de luz, también de hormigón en masa sobre el Barranco de Ribabona. López Sandino se encargó de su proyecto y construcción[115], mientras que la contrata se la llevó Ribera.

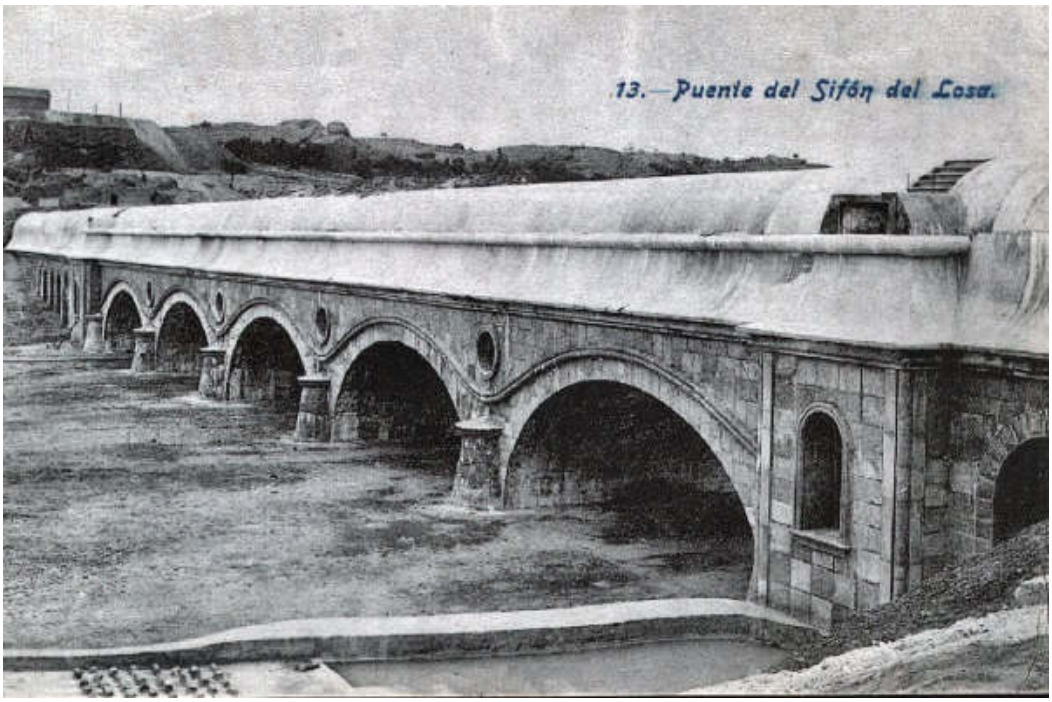


Figura 67. Puente sobre el río Sosa en el sifón del mismo nombre. Canal de Aragón y Cataluña. 1904. Rafael López Sandino, ingeniero de caminos. José Eugenio Ribera, constructor.

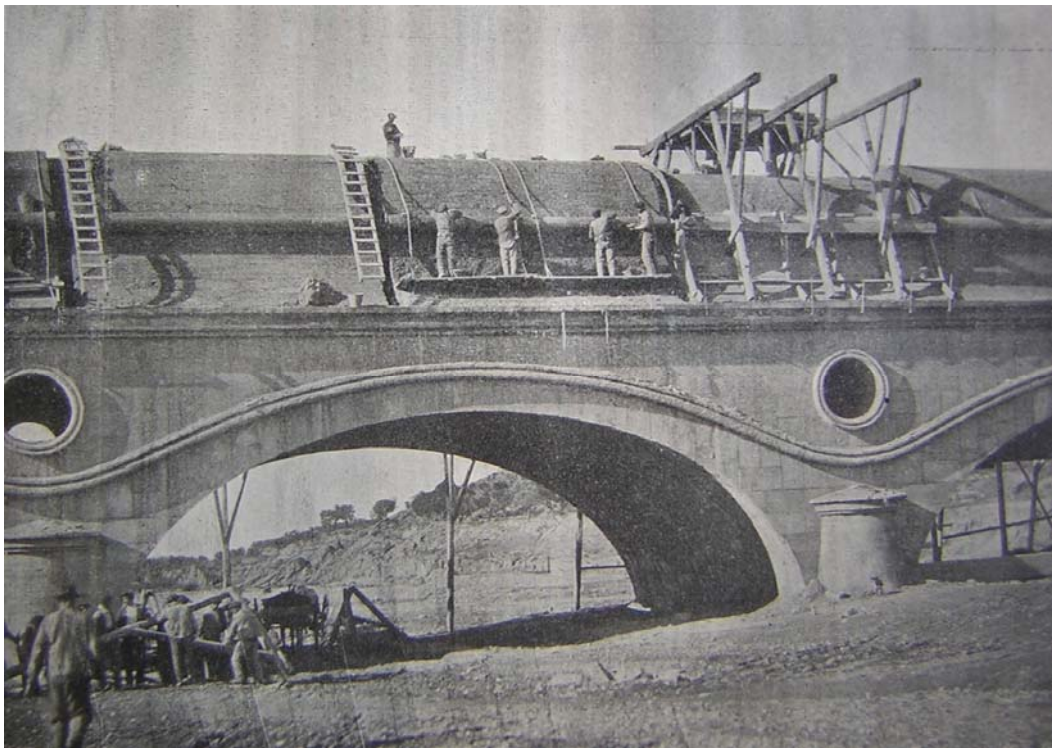


Figura 68. Puente sobre el río Sosa en el sifón del mismo nombre. Canal de Aragón y Cataluña. 1904. Rafael López Sandino, ingeniero de caminos. José Eugenio Ribera, constructor. En la *Revista de Obras Públic*as. Biblioteca del colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos.

Los temores quedaron disipados tras la puesta en servicio del tramo del Canal que incluía el Sifón del Sosa. Todas las construcciones funcionaron satisfactoriamente, sin apartarse de lo previsto en el proyecto. De este modo, cuando el monarca visitó las obras en la inauguración oficial, que tuvo lugar a mediados de 1906, manifestó que con ellas se había logrado *"la rehabilitación del crédito del hormigón armado"*[116].

Superada la crisis provocada por el desastre del *Tercer Depósito,* la construcción con hormigón armado recibiría un importante estímulo en febrero de 1907, cuando la Dirección de Obras Públicas anunció concurso público del proyecto y ejecución de un sifón para salvar la depresión del valle de Albelda, en el kilómetro 58 del Canal de Aragón y Cataluña[117].

Ya con la experiencia de la construcción del Sifón del Sosa, los ingenieros encargados de fijar las prescripciones técnicas de la nueva obra, adoptaron un criterio más permisivo en cuanto a las filtraciones, permitiendo cierta tolerancia. Con ello quedaba claro que desde la Administración se optaba por una solución de hormigón armado "puro", sin camisa de palastro.

Así era la que Ribera presentó al concurso, una tubería de cuatro metros de diámetro, según proyecto que realizó junto con su colaborador Mariano Luiña[118].

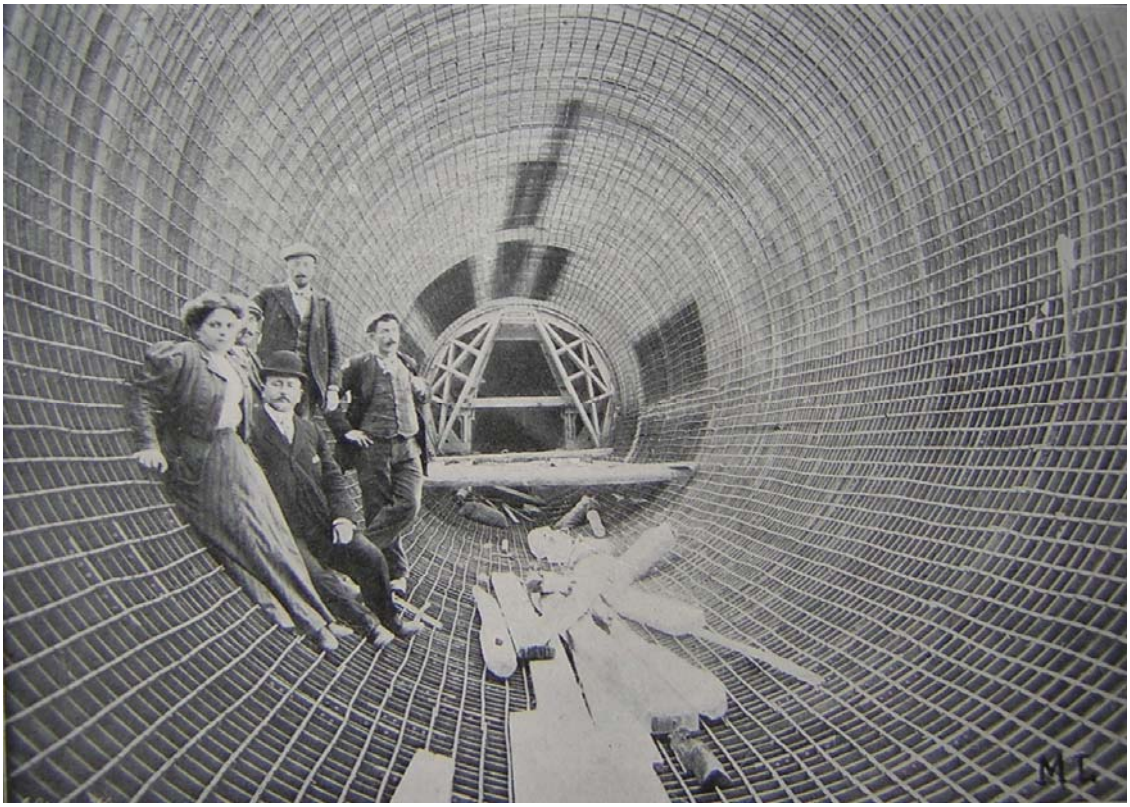


Figura 69. Obras del Sifón de Albelda. Ferralla preparada para el hormigonado. Mariano Luiña y José Eugenio Ribera, ingenieros de caminos. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Además de los sifones, las obras más renombradas, en el Canal de Aragón y Cataluña Ribera y Luiña proyectaron y construyeron veinte pasos superiores rectos[119].

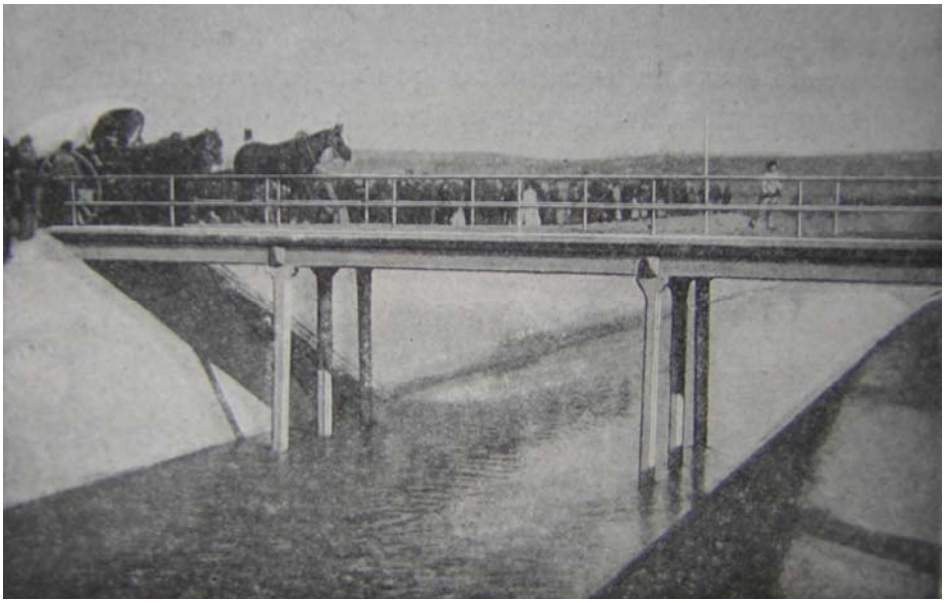


Figura 70. Paso superior sobre el Canal de Aragón y Cataluña. Mariano Luiña y José Eugenio Ribera, ingenieros de caminos. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Entre 1905 y 1910 Ribera siguió aumentando su larga lista de puentes, utilizando indistintamente las tipologías de viga recta y arco. Entre los primeros pueden destacarse los de la provincia de Murcia, realizados por encargo de Domingo Muguruz, ingeniero Jefe de las obras de defensa contra las inundaciones de Levante. Fueron dos tramos rectos de quince metros de luz similares al de Rentería: el de la Tiñosa y el de Tablas. Este último fue cubierto completamente por una inundación en septiembre de 1906, sin resultar dañado, *"a pesar de los choques violentísimos de todos los cuerpos flotantes a que estuvo expuesto"*[120].



Figura 71. Puente de la Tiñosa (Murcia). 1906. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En *Los progresos del hormigón armado en España.* Biblioteca Nacional de España.

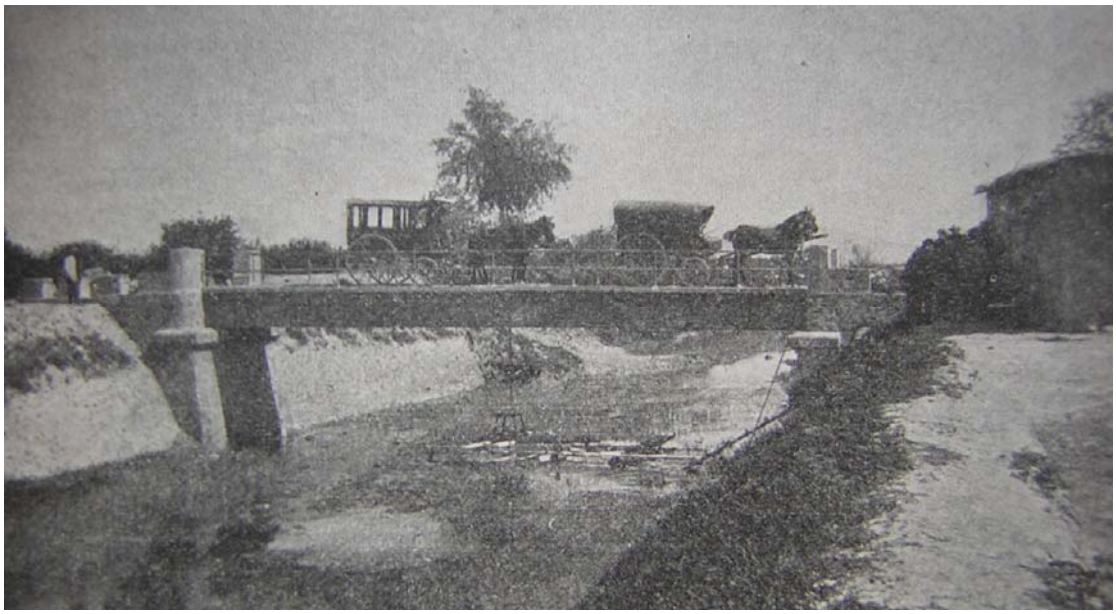


Figura 72. Puente de Tablas (Murcia). 1906. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Notable también fue el viaducto de Villafranca del Bierzo, para la carretera de Madrid a La Coruña. Estaba formado por 17 tramos de seis metros de luz apoyados en palizadas[121].

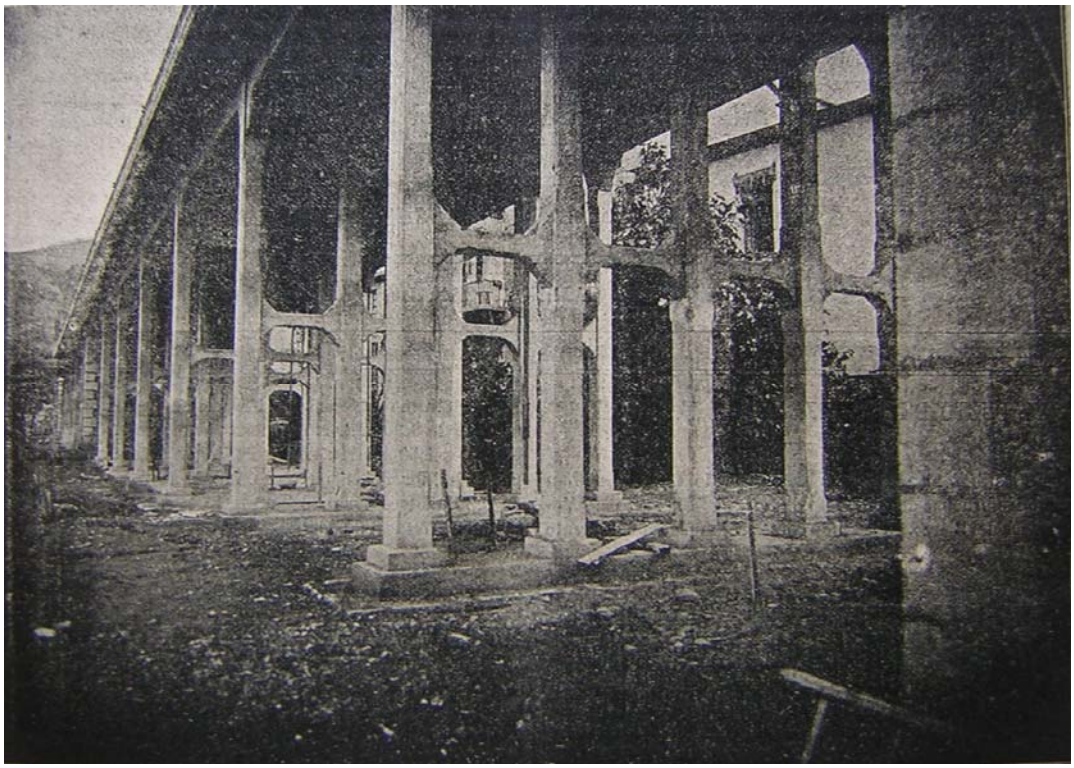


Figura 73. Palizadas del viaducto de Villafranca del Bierzo. 1908. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

En cuanto a los puentes en arco, hizo en estos años algunos de los más importantes de toda su carrera. Por ejemplo, el Viaducto del Barranco Hondo, para la carretera de Santa Cruz de Tenerife a La Orotava. Combinaba tres tramos rectos con un arco central de 30 m de luz[122].

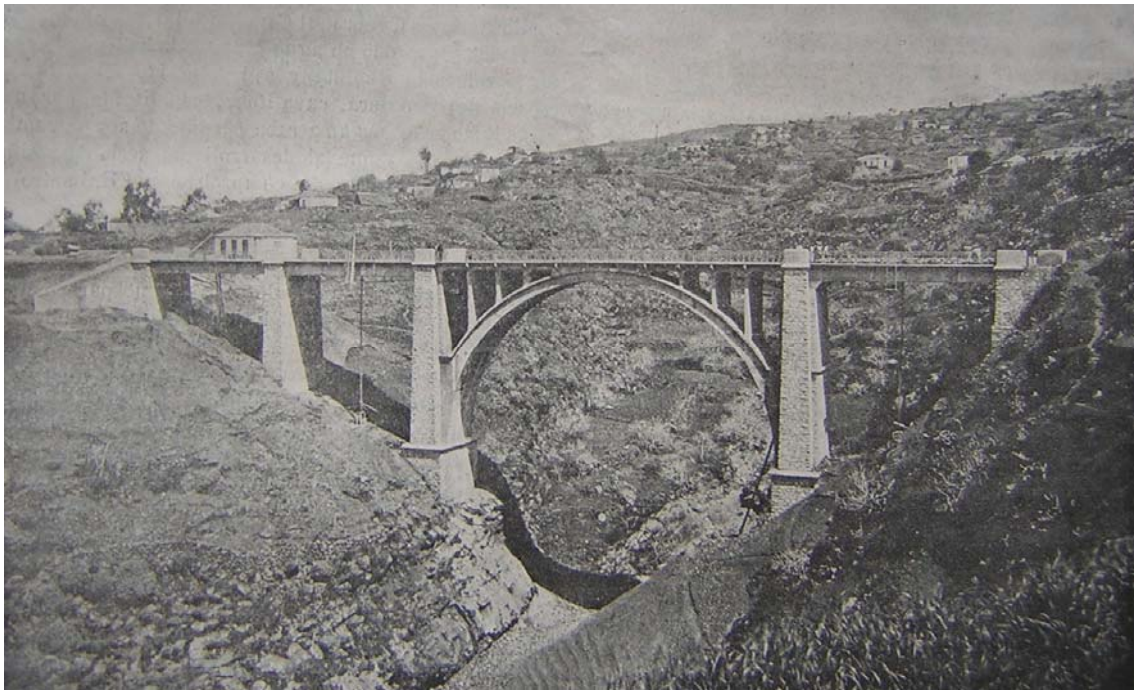


Figura 74. Viaducto de Alfonso XIII en el Barranco Hondo (Tenerife). 1909. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

En Valencia de Don Juan (León) construyó un puente sobre el río Esla, formado por cuatro bóvedas de 33 m de luz. Para su cimentación Ribera utilizó por primera vez en España cajones de aire comprimido, hechos también con hormigón armado[123].

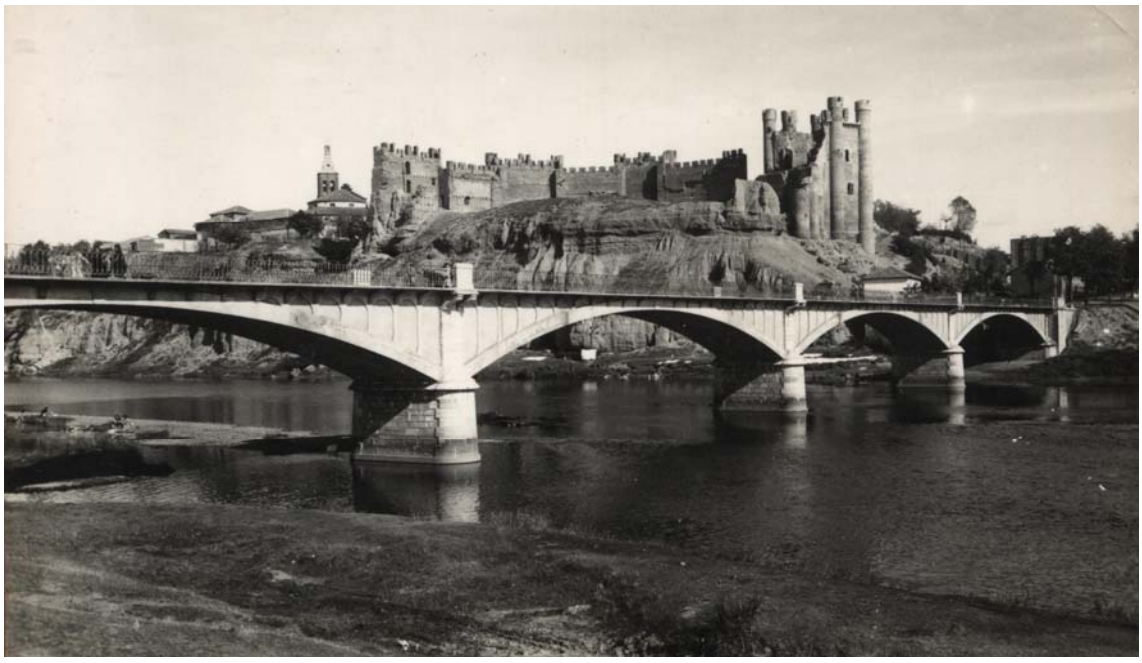
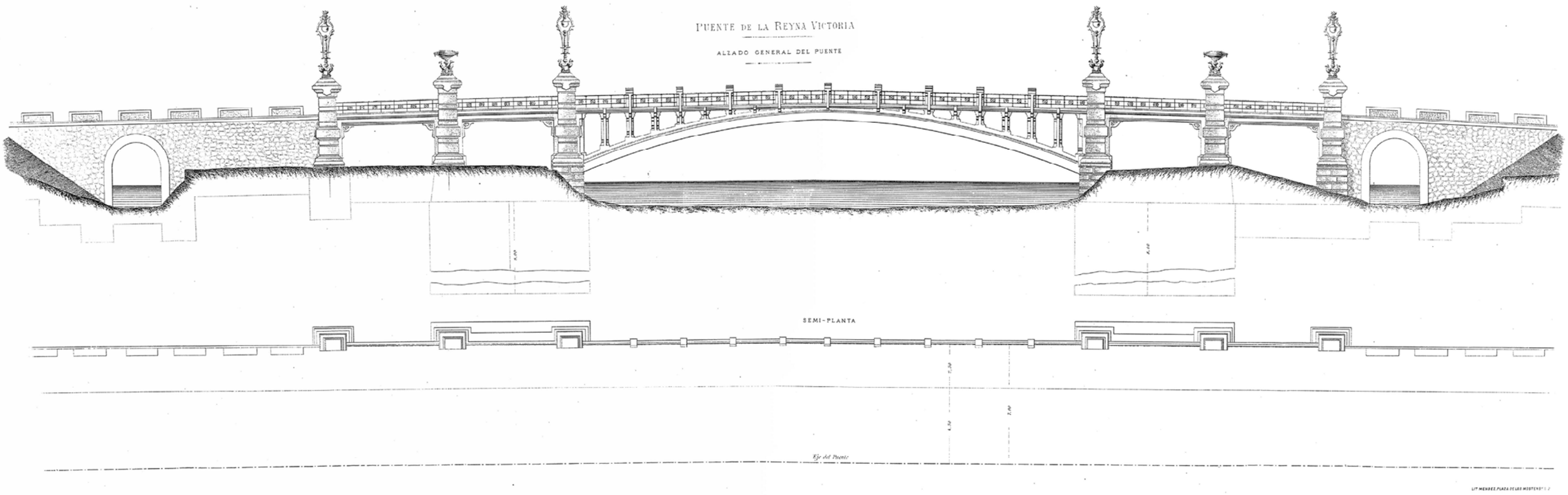


Figura 75. Puente de Valencia de Don Juan (León). 1909. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos.

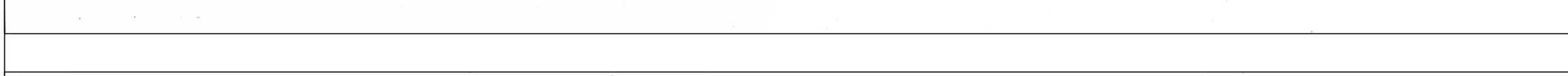
Revista de Obras Públicas.

PUENTE DE LA REYNA VICTORIA

ALZADO GENERAL DEL PUENTE



SEMI-PLANTA



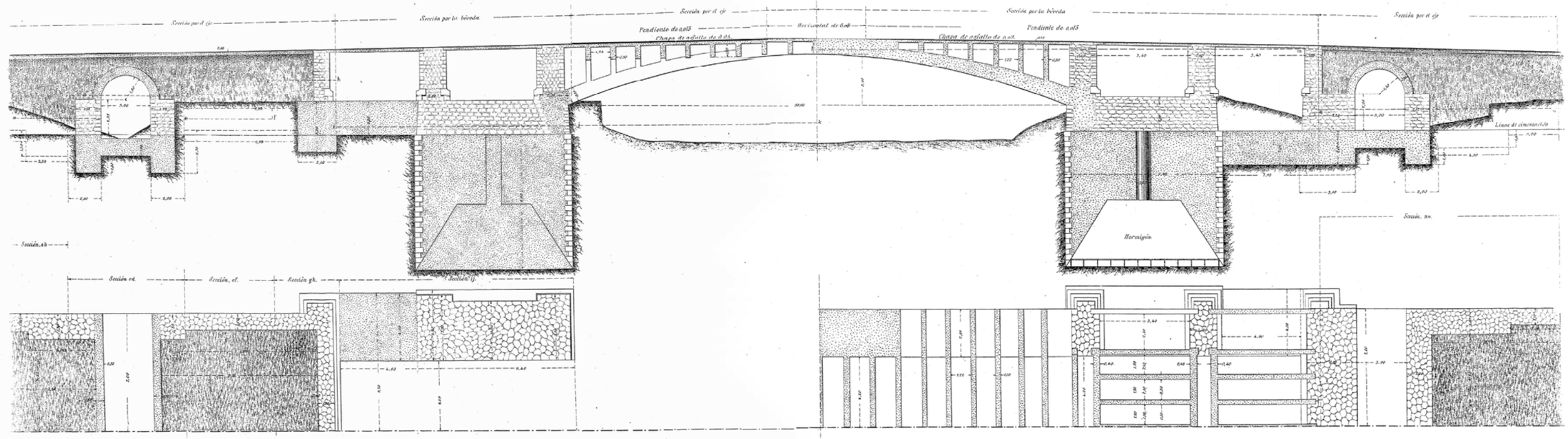
Eje del Puente

LIT. MENDEZ. PLAZA DE LOS MOSTENSES 2

Revista de Obras Públicas.

PUENTE DE LA REYNA VICTORIA

SECCIÓN LONGITUDINAL DEL PUENTE Y SEMI-PLANTA.



LIT. MENDEZ. PLAZA DE LOS MOSTENSES 2

Por otro lado, también seguiría recibiendo en estos años encargos para construir puentes monumentales. En 1907 el rey Alfonso XIII, le encomendó el proyecto del que habría de unir la isla de Cortegada con la localidad de Carril (en la costa de Pontevedra). Ribera lo planteó en cinco tramos, siendo levadizo el central y los cuatro restantes resueltos con su característica configuración de tablero superior sobre bóvedas rebajadas. Su decoración, inspirada a gusto del monarca en la arquitectura civil alemana de la Edad Media, corrió a cargo del arquitecto Luís Bellido. Este puente, sin embargo, no llegó a ejecutarse[124].

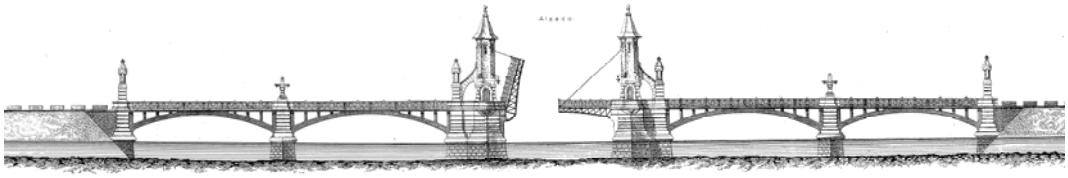


Figura 76. Proyecto de puente de la isla de Cortegada. J. Eugenio Ribera, ingeniero de caminos y Luís Bellido, arquitecto. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Sí que se construyó, en cambio, el puente de la Reina Victoria sobre el río Manzanares, en Madrid. Se formó con una bóveda central de treinta metros de luz y dos tramos rectos en los extremos. Para poder ejecutar la cimentación Ribera tuvo que recurrir de nuevo la técnica de los cajones de aire comprimido que ya había empleado con éxito en el puente de Valencia de Don Juan[125]. Otro importante condicionamiento fue que al tratarse de un puente urbano se tuvo que cuidar especialmente la ornamentación; por ello Ribera volvería a recurrir su tradicional colaborador el arquitecto Julio Zapata.



Figura 77. Puente de la Reina Victoria (Madrid).1910. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos y Julio Zapata, arquitecto.

Tras el desastre del Tercer Depósito, la empresa de Ribera se había orientado netamente hacia la construcción de obras de ingeniería. A consecuencia del accidente, prácticamente se dejó de utilizar el hormigón armado en edificios, particularmente en los de iniciativa privada. La paralización alcanzó a toda España, exceptuando las regiones del Norte, Cataluña y Levante. Su incidencia fue especialmente acusada en Madrid, donde durante bastante tiempo quedaría relegado a un uso testimonial[126].

Ribera había perdido así un importante campo de actividad, antaño pilar fundamental de su empresa. Se veía obligado de este modo a centrarse en el campo de las obras públicas, por otra parte su ámbito natural de actuación como ingeniero de caminos.

No obstante, todavía participaría en una obra singular de edificación. En 1910 su antiguo colaborador Luís Bellido, ahora arquitecto municipal de Madrid, requirió su colaboración para la construcción del nuevo Matadero y Mercado de ganados de Madrid. Se trataba de un vasto conjunto de edificios con diversas instalaciones auxiliares, que debían responder a muy variadas exigencias. Por eso el arquitecto adoptó diferentes soluciones estructurales, eligiendo en cada caso la más apropiada a su objeto. De este modo lo confesaba el arquitecto en la memoria del proyecto: *los pisos en general se proyectan de viguetas de hierro forjado, con bovedillas aparentes de ladrillo; pero en algunos edificios, como el secadero de pieles, estercolero y otros en que esta muy indicado el cemento armado por sus singulares condiciones de resistencia, solidaridad, impermeabilidad, etc lo he adoptado de preferencia* [127].

Ribera colaboraría en la construcción de estos forjados y otras instalaciones, como el gran depósito elevado que forma parte del complejo[128].



Figura 78. Matadero y Mercado de ganados de Madrid. 1910. Luís Bellido, arquitecto. José Eugenio Ribera, colaborador. Colegio de Arquitectos de Madrid.

A pesar de todo, la empresa de Ribera estaba definitivamente consolidada y su prestigio como ingeniero y constructor en todo lo alto. Sus construcciones suscitaban el interés de las más altas autoridades de la nación, que asistían a las inauguraciones. Así ocurrió, por ejemplo, en las pruebas de recepción del puente sobre el río Jarama en Arganda (Madrid), que se celebraron en enero de 1910 con la presencia del rey Alfonso XIII y del ministro de Fomento[129].

Al mismo tiempo empezaba a darse a conocer en el exterior. En 1911 su empresa se presentó en la Exposición de Buenos Aires, recibiendo el gran premio del certamen por su instalación de proyectos y obras ejecutadas. Coincidiendo con este evento se le encargó *"el estudio de varios proyectos de importancia para uno de los estados del Brasil, entre otros dos teatros, varios puentes y depósitos de agua"*[130]

Los años siguientes verían llegar otro de los puntos de inflexión en su trayectoria profesional. Dejaría el protagonismo en la construcción con hormigón armado en manos de una nueva generación de técnicos, ya formados académicamente en el nuevo material. Desde su empresa constructora, que a partir de 1915 pasó a denominarse Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles, S.A., siguió impulsando firmemente el desarrollo del hormigón armado en nuestro país. En ella dieron sus primeros pasos ingenieros de la talla de Eduardo Torroja, Ildefonso Sánchez del Río o José Entrecanales, figuras señaladas de la ingeniería civil española de la primera mitad del siglo XX.

Ribera, no obstante, seguiría realizando importantes proyectos de obras civiles con hormigón armado, como los puentes de Gózquez y del río Perales, ambos en la provincia de Madrid, el puente de Mora en Tarragona, el cargadero del puerto de Musel, en Gijón y el viaducto de la Gaznata en Ávila. Sin embargo, quizás pusiera más interés en proyectos singulares como el Puente Colgante sobre el Ebro en Amposta (cuya cimentación tuvo que resolver de nuevo con la técnica de cajones de hormigón armado y aire comprimido[131]) o en las obras de su famoso Viaducto de Pino (Zamora), terminado finalmente en 1914[132].

Asimismo, serían objeto preferente de su atención los grandes programas de infraestructuras, como el que la sociedad "Gran Kursaal Marítimo" impulsó en San Sebastián. Se trataba de una ambiciosa operación urbanística que comprendía la construcción de un casino y un barrio residencial sobre terrenos ganados al mar frente a la playa de Gros, en la desembocadura del Urumea. Ribera se haría cargo de la planificación de las obras de urbanización general, encauzamiento del río y defensa del mar[133].



Figura 79. Ordenación de la desembocadura del Urumea (Gran Kursaal). José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. San Sebastián, 1918.

También formaba parte del programa de actuaciones la construcción de un nuevo puente en la misma desembocadura del río, sometido por tanto al fuerte oleaje del Cantábrico. En colaboración con el ingeniero industrial Víctor Arana lo proyectó con cuatro tramos rectos de veintidós metros de luz y veinte de anchura[134].

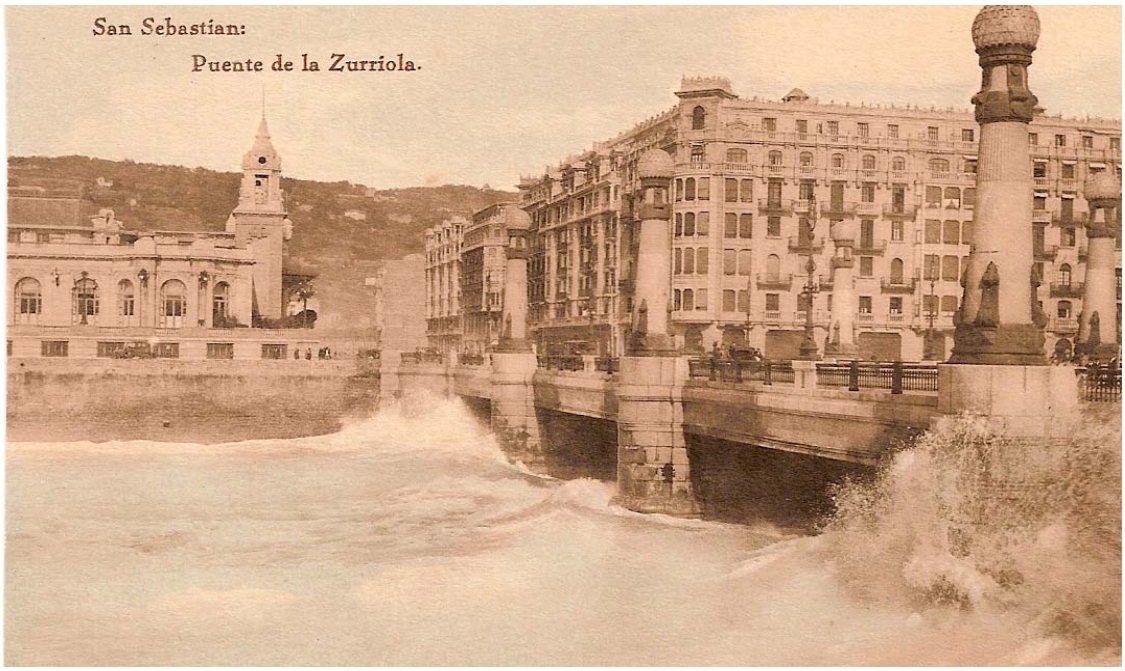


Figura 80. Puente de la Zurriola (o del Kursaal) sobre el río Urumea. San Sebastián, 1918. J.E. Ribera y Víctor Arana, ingenieros.

La ejecución de este puente entrañó serias dificultades. Las pilas de este puente se tenían que levantar sobre cajones de hormigón armado, construidos en seco. En el primer intento de llevarlos al emplazamiento (flotando) el fuerte oleaje empujó uno de ellos contra el

muro de encauzamiento del río y se rompió. El otro tuvo que hundirse tras renunciar la contrata a su utilización[135].Tampoco se pudieron utilizar las cimbras tradicionales, teniendo que recurrirse a unas cerchas fijas en las cuales se suspendieron los moldes de vigas y forjados.

En la segunda década del siglo XX Ribera iba a trabajar con gran intensidad en el Protectorado Español de Marruecos. Su primera intervención tuvo lugar en 1910, con ocasión de la construcción del Puente sobre el Rio de Oro en Melilla. Construcciones Hidráulicas y Civiles llevó la contrata de este puente recto de tres vanos, proyectado por el ingeniero de caminos Manuel Becerra[136].

Otros trabajos destacados en Marruecos fueron la estructura del Teatro Cervantes de Tánger, completada un año después[137] o la reparación del Puente del Mogote sobre el río Martín que se realizó entre 1917 y 1918[138].

De 1914 data otra de sus construcciones más originales, el faro de Punta Nador, en Larache. Ante la heterogeneidad del terreno de cimentación y la fuerte incidencia de los temporales en el punto de emplazamiento (la torre tendría una altura de 33 m), Ribera consideró que "*el sistema de cimentación y alzado más apropiado consistía en solidarizar la torre con el edificio de los torreros y almacenes distribuidos simétricamente en su base, consiguiéndolo mediante un entramado general de hormigón armado. Pero aún así, esta elevada torre hubiera necesitado grandes espesores y fuertes armaduras en sus muros".* Para evitarlo, ideó una disposición original y económica: formar la torre *"con dos prismas octogonales de altura diferente, ambos empotrados en la solera general de hormigón armado que forma el cimiento de la torre y edificios"*[139]

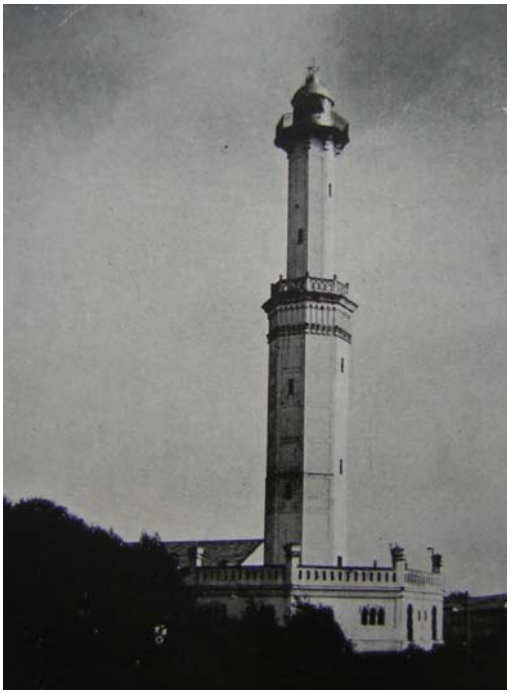


Figura 81. Faro de Punta Nador. Larache (Marruecos), 1918. J.E. Ribera, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

La culminación de sus trabajos en Marruecos llegaría en 1915, cuando la Compañía General Española de África le encomendó la supervisión del proyecto y construcción de la parte española de la línea de ferrocarril de Tánger a Fez. Inicialmente comprendía el estudio de trazado, la planificación de los reconocimientos y estudios previos para la redacción del proyecto y una estimación del presupuesto y duración de las obras[140].

Más adelante se haría cargo sería nombrado director general adjunto de la compañía, haciéndose cargo de la redacción del proyecto de la parte española (noventa kilómetros de trazado) y asumiendo personalmente la dirección de las obras, que comprendían "*un gran número de tramos rectos bajo carriles […], muchos pasos superiores y depósitos de agua y la mayor parte de edificios de estaciones*"[141].



Figura 82. Edificio de viajeros y muelle de mercancías de la estación de Fez. José Eugenio Ribera, ingeniero (y otros). En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Los últimos años de su carrera los consagraría sobre todo a la enseñanza. En 1918 pasó a formar parte de la Escuela de ingenieros de caminos[142], como profesor responsable de la asignatura "Puentes de fábrica y de hormigón armado". La experiencia acumulada en su dilatada trayectoria profesional le permitió ejercer la docencia con brillantez hasta su jubilación en 1931. En este periodo escribió su tratado "Puentes de fábrica y de hormigón armado", obra básica de la bibliografía española de ingeniería civil.

Otra de sus últimas grandes contribuciones fue la colección de modelos de puentes de fábrica para carreteras de tercera orden, realizada por encargo de la Dirección de Obras Públicas en junio de 1926. Mientras que al también ingeniero de caminos Juan Manuel de Zafra se le encomendaron los puentes de tramos rectos de hormigón armado y al ingeniero industrial Domingo Mendizábal los metálicos, a Ribera, por su gran experiencia en ese campo, le correspondieron los puentes de fábrica con bóvedas[143].

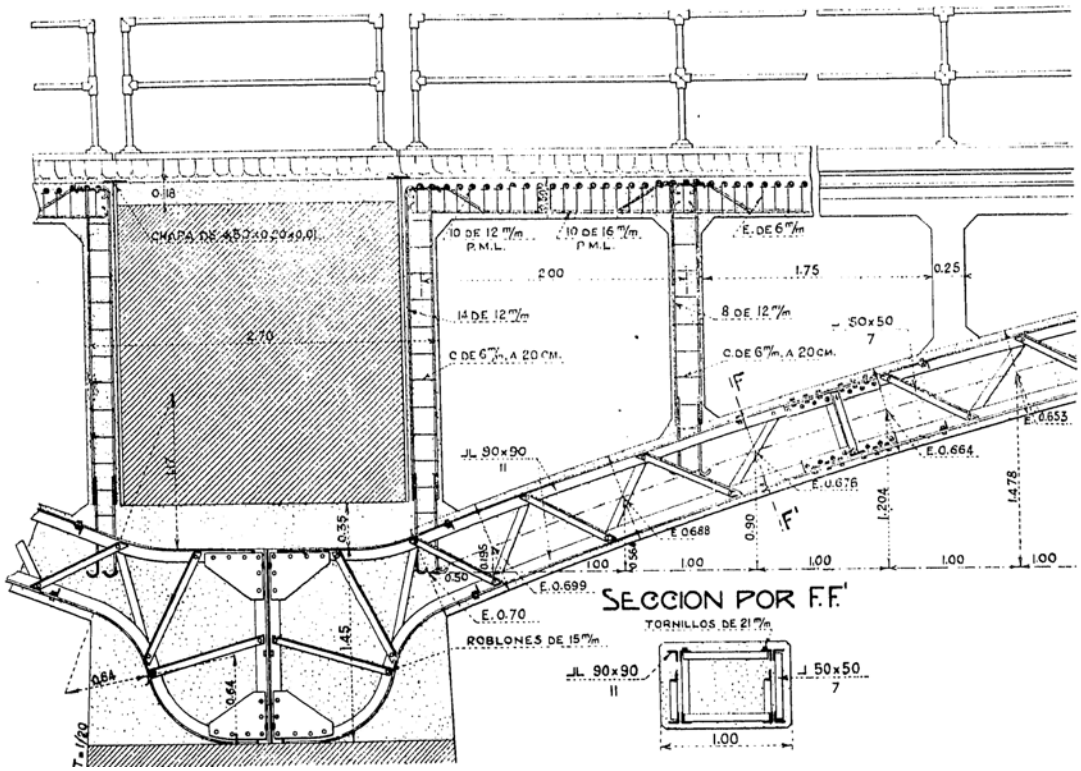


Figura 83. Detalle de la colección de modelos oficiales de puentes en arco para carreteras y caminos vecinales. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

No obstante, aún contaba en los años veinte con la energía suficiente para emprender dos proyectos excepcionales, distintivos de la ingeniería civil española del primer tercio de siglo: el Puente de San Telmo sobre el Guadalquivir en Sevilla y el Dique Seco de Carena de Cádiz. Este último, proyectado junto con el también ingeniero Vicente Morales, es una de las más grandes obras de hormigón armado construida hasta la fecha en España. Su construcción se prolongó hasta 1941.

José Eugenio Ribera no llegaría a ver terminada esta obra, pues falleció el 17 de mayo de 1936.

4) La organización Hennebique en España.

La organización Hennebique tuvo un papel trascendental en la introducción del hormigón armado en España, cuya importancia no se ha valorado convenientemente. Tras los enfrentamientos de François Hennebique con algunos de los técnicos más reconocidos de nuestro país la imagen que de él ha trascendido es la de un advenedizo sin preparación técnica y movido exclusivamente por intereses económicos. Todavía prevalecen en la historiografía técnica visiones de él como la de Juan Manuel de Zafra, que en el primer tratado español de hormigón armado lo describía como *"cantero en su juventud, contratista después, hombre de gran inteligencia y, sobe todo, de un maravilloso talento comercial […] sabe comunicar su entusiasmo a ingenieros y contratistas, y aprovechar en beneficio propio los resultados de la inteligencia e iniciativa de estos; y, merced a un constante y hábil sistema de anuncios y autobombos, llega a ser tenido por la mayoría por el verdadero inventor del hormigón armado, y a realizar enormes ganancias a expensas de sus numerosos concesionarios"*[144].

Esta imagen, sin embargo, no hace justicia a la trayectoria de François Hennebique ni a la de su empresa en nuestro país. Responsable de las primeras construcciones relevantes, la importancia de la firma francesa se acrecienta si se tiene en cuenta que en ella se formaron casi todos los grandes protagonistas de los orígenes del hormigón armado en España.

Creada a principios de la década de los noventa, en los últimos años del XIX la organización de François Hennebique estaba mostrando un empuje extraordinario. Sus realizaciones de hormigón armado se multiplicaban en Francia, el país de origen de la firma, encontrando una aceptación que intentaba trasladar al extranjero.

Para su expansión, Hennebique ideó una acertada estrategia empresarial, que en pocos años le llevaría a la primacía mundial en la construcción con hormigón armado. Básicamente, su organización era una empresa consultora de arquitectura e ingeniería. Tenía sus oficinas centrales en París, y desde ellas coordinaba una red de agencias o delegaciones nacionales de la empresa, encargadas únicamente de cuestiones técnicas y de difusión y propaganda del sistema.

La ejecución de las obras se dejaba para los concesionarios, empresarios locales que, a cambio de un porcentaje de los beneficios, tenían los derechos para la explotación de la patente en una determinada región. Los agentes de Hennebique les brindaban todo el apoyo técnico que necesitaran, pero no participaban en la ejecución de las obras.

Una de las claves de la fulgurante expansión de la organización Hennebique fue el acierto en la elección de colaboradores, tanto para la función de agentes como la de concesionarios. Se reclutaban entre técnicos de probada competencia (como Ribera) o

empresarios con iniciativa, en muchas ocasiones por intervención directa del fundador de la compañía[145].

España fue uno de los primeros objetivos de la firma Hennebique en su expansión. Probablemente a partir de los primeros contactos con Ribera, ya comentados, estaría intentando crear una infraestructura en nuestro país.

Para ello era fundamental dar conocer el sistema y sus ventajas. La presencia de Ribera entre sus filas le abriría sin duda muchas puertas y así, en 1897, la *Revista de obras Públicas,* órgano oficial de los ingenieros de caminos, dedicaba dos artículos a las *"construcciones de cemento armado, sistema Hennebique*"[146].

El 8 marzo de 1898, por medio de su representante Elzaburu, quedaba registrada la patente del sistema Hennebique en España[147]. Para difundirlo publicó algunos meses más tarde un folleto, en el que figura el empresario Manuel Balbás como agente general para España[148].

Desde su puesto de agente general, Balbás podía gestionar contratas en toda la Península. Una de las primeras fue un almacén para la "Azucarera de Padrón"[149], en la provincia de La Coruña, que se hizo en 1900. Le seguirían un hospital municipal en Bilbao[150] y unas cocheras en Madrid[151], ya en 1901.

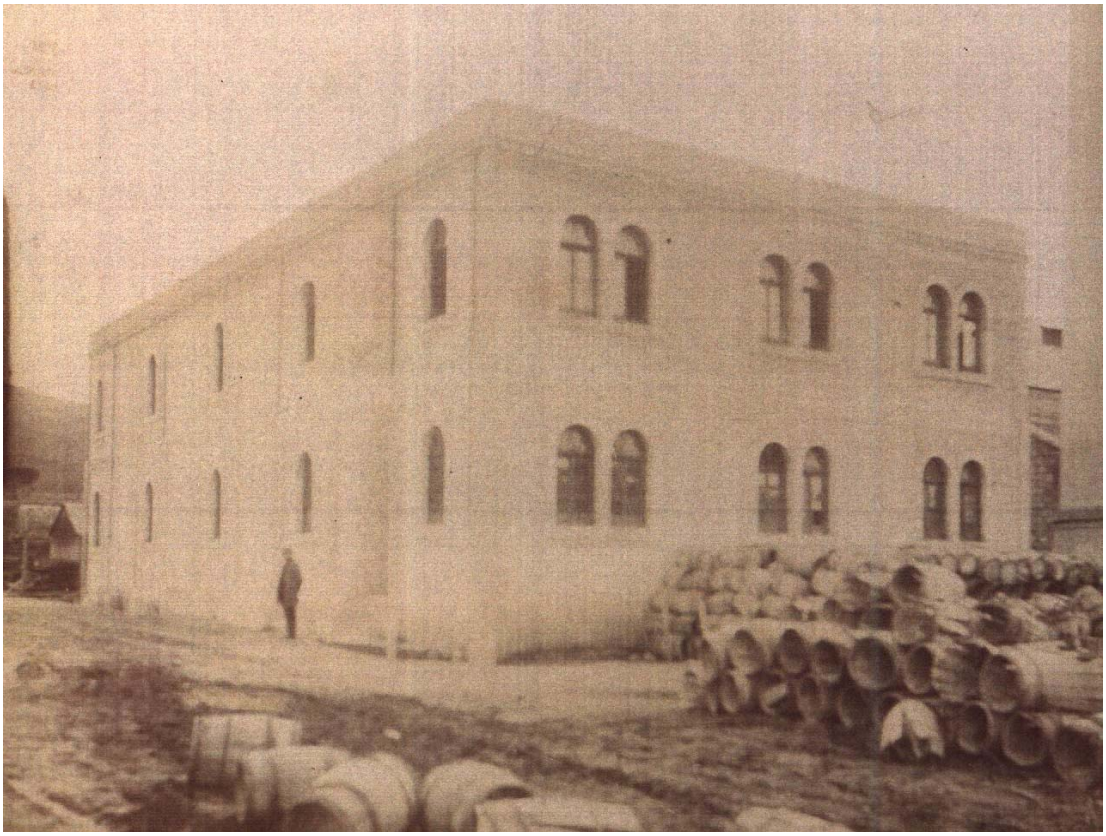


Figura 84. Almacén de azúcar en Padrón. 1900. Villaja, arquitecto. Balbás, contratista. Institut Français d'Architecture. Direction des Archives de France. Centre d'Archives d'Architecture du XXe siècle.

En estos primeros momentos colaboraría con la firma el ingeniero militar Ricardo Seco de la Garza, uno de los primeros técnicos españoles que se interesaron por el nuevo material. Él se encargaría de redactar la memoria con la que el sistema Hennebique se presentó oficialmente en nuestro país[152].

Los primeros concesionarios españoles de Hennebique fueron Ribera en Oviedo y Manuel Cano de León, otro teniente coronel de ingenieros, en Madrid[153]. De la importante contribución del primero al progreso del sistema Hennebique en España ya se ha dado cuenta en capítulo aparte. Por su parte, Cano de León mostró cierta actividad hasta 1901, con un depósito en Villaverde[154], la cubierta para una fábrica en Calatrava (Ciudad Real)[155] y un puente para el tranvía de vapor de Madrid a Vallecas[156] como sus principales contratas.

En abril de 1900 se incorporó el empresario Eugenio Grimal[157], quien sería uno de los concesionarios más activos hasta su marcha de la empresa en julio de 1902. Asentado en Sestao, desplegaría la mayor parte de su actividad en las provincias de Vizcaya y Santander. Sin embargo, no desdeñaría la posibilidad de trabajar en otros puntos como Madrid, donde compitió por la ejecución de una pasarela y unas cocheras, para los cuales solicitó un anteproyecto a la oficina técnica central de París[158]. Su primer trabajo constatado fue la caja fuerte del Banco de Santander[159], ciudad donde después realizaría las cimentaciones para los altos hornos de la Sociedad "Nueva Montaña"[160], la panificadora "La Económica"[161] y los forjados del edificio del obispado (proyecto del arquitecto Rucoba)[162]. Entre sus obras bilbaínas destacan un depósito elevado[163], la ampliación del depósito municipal[164], la cimentación de la Iglesia de San Antón[165] y las escuelas musicales de Tivoli[166].

En diciembre de 1900 pasó a formar parte de la organización Domingo Fort[167]. Este Maestro de Obras bilbaíno, ayudante del Arquitecto Municipal Enrique Epalza y con notable poder dentro del sector de la construcción en Bilbao[168], se convirtió en uno de los baluartes de Hennebique en el norte de España. Su influencia sería muy importante en la adjudicación de varias obras del ayuntamiento de la gran urbe vizcaína, entre las que destacaba la nueva Alhóndiga Municipal[169]. Sin embargo, como se verá más adelante esta importante obra no la llevaría a cabo la empresa Hennebique.

Fort también recibió valiosos encargos de particulares, como las cubiertas de dos chalets en Las Arenas, según proyecto del arquitecto Gotilla o los forjados para una villa de lujo para la familia Letona[170]. También construyó para esta familia un almacén en Usansolo[171]. Aunque quizás su trabajo más importante fue la fábrica de la compañía *Harino-Panadera* para el empresario Juan José Irala[172]. En la construcción de este edificio también participó el ingeniero Ribera[173], en uno de los que debieron ser sus últimos trabajos con la casa Hennebique.

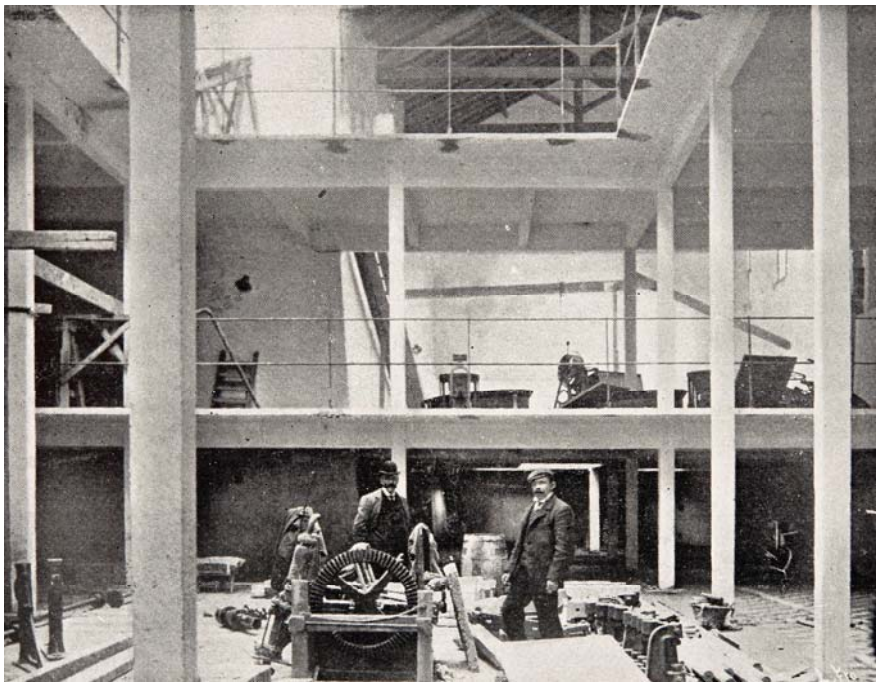


Figura 85. Fábrica Harino-Panadera de Irala. Bilbao, 1901. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos y Domingo Fort, maestro de obras. En *Los progresos del hormigón armado en España.* Biblioteca Nacional de España.

Pero no sería este el primer edificio industrial construido con hormigón armado en Bilbao. Tal distinción le corresponde a la Fábrica Ceres, una de las más famosas construcciones de la organización Hennebique en España.

En el proyecto de esta fábrica de seis plantas, con estructura *enteramente realizada en hormigón armado* fue determinante la contribución del joven ingeniero de caminos Ramón Grotta[174], quien en algún momento entre 1899 y 1900 había asumido la dirección técnica de la Agencia Hennebique de Madrid. Además del proyecto, Grotta también se hizo cargo de la dirección de las obras, que se llevaron a cabo en 1900.

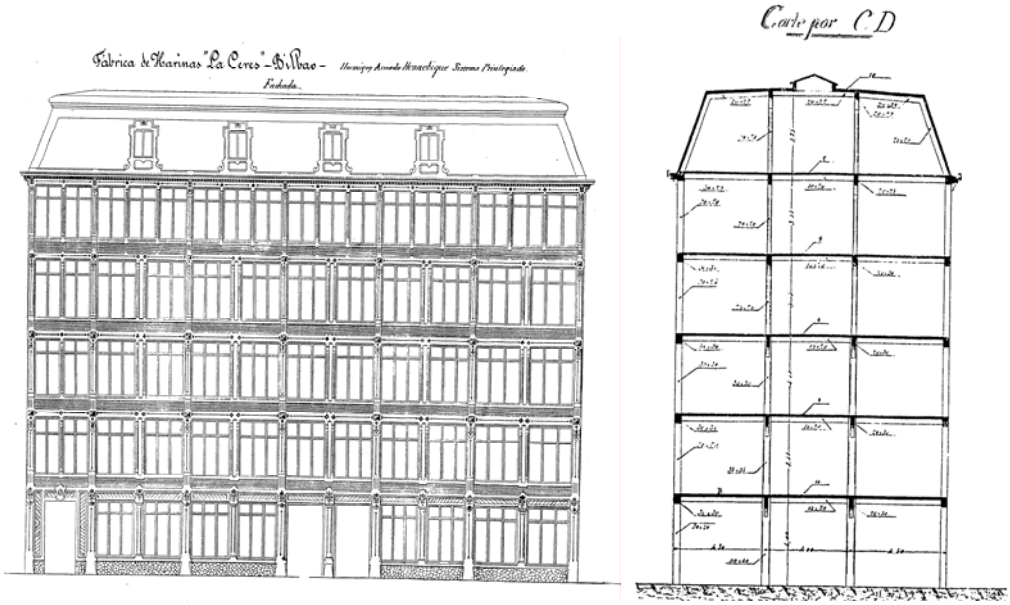


Figura 86. Alzado y sección transversal de la fábrica Ceres de Bilbao.1899. Ramón Grotta, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Publicas.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Grotta se había dado a conocer con un artículo sobre la resistencia al fuego de las construcciones Hennebique publicado en la *Revista de Obras Públicas*[175]. Poco después proyectó los pisos de la *Fábrica de Electricidad de Chamberí* en la calle Palafox de Madrid, primera ocasión en que se utilizó el hormigón armado en la capital[176]. Desgraciadamente, su prematuro fallecimiento, ocurrido a principios de 1901, vino a truncar tan prometedora carrera.

Tres años después de su implantación, la firma había conseguido una amplia aceptación en Asturias, Cantabria y, sobre todo, el País Vasco. Sin embargo, eran contadas las realizaciones de Hennebique en el resto del país. No obstante, desde 1900 empezó a tener una presencia significativa en el Sur.

El primer trabajo documentado de la organización Hennebique en Andalucía fue una fábrica de harinas en Écija, provincia de Sevilla[177]. Contemporánea de las de la Viuda de Ayala en Badajoz y la Ceres en Bilbao, *"La Giralda"* es una de los primeros edificios construidos con hormigón armado en España.



Figura 87. Fábrica de harinas "La Giralda". Écija (Sevilla). 1900.

El emplazamiento de este edificio en una zona inundable junto al río Guadalquivir supuso un importante reto técnico, que vino a sumarse a la complejidad que suponía el empleo de un nuevo sistema estructural de pilares y jácenas de hormigón armado. Para la cimentación se utilizaron pilotes hincados de madera.



Figura 88. Fábrica de harinas “La Giralda”. Écija (Sevilla). 1900. Estructura de hormigón armado sistema Hennebique.

Asumiendo como inevitable que la planta baja podía quedar anegada en las crecidas del río se construyó una pasarela para acceder directamente a la primera planta desde un antiguo molino que quedaba fuera de la zona inundable en las grandes avenidas. Está formada por dos vigas rectas de unos quince metros de luz[178].



Figura 89. Pasarela en viga recta para la fábrica de harinas “La Giralda” de Écija. 1900

La configuración de la fábrica responde al nuevo estilo de edificio industrial de pisos con cubierta plana que Hennebique había introducido con las Hilaturas Tourcoing de Lille. La adopción de este innovador diseño en Andalucía podría ser debido a la presencia del ingeniero francés de artes y manufacturas J. Martínez.

No se ha podido determinar con seguridad qué relación tenía Martínez con nuestro país. Tal vez era un español emigrado a Francia o bien un francés con ascendencia española. Lo cierto es que hasta entonces había ocupado una posición señalada entre los técnicos de la organización Hennebique en Francia. En 1895 había sido el encargado de presentar el sistema Hennebique ante el Congreso de Arquitectos de Francia[179], por lo que cabe suponer que estaría en la organización desde sus comienzos. Era miembro del comité de publicidad de la empresa y también formaba parte del equipo de Dumesnil, el concesionario de París, donde habría tenido la oportunidad de participar en proyectos muy importantes. En definitiva, como reconocería *Le Béton Amé* a su muerte, era uno de los más antiguos y *mejores colaboradores de la Maison Hennebique*[180]

Así que debería tener fuertes vínculos con Cádiz, que le movieran a abandonar esta destacada posición en Francia para implicarse en la incierta tarea de promover la utilización del hormigón armado en el sur de España.

No hay constancia de que participara en la construcción de la fábrica "La Giralda". La primera señal de actividad de la organización Hennebique en Cádiz se remonta a finales de 1900. En diciembre de este año tuvo lugar en Jerez de la Frontera una "*experiencia de resistencia de una plancha armada del sistema Hennebique"*[181], posiblemente dirigida por Martínez. Su primera intervención contrastada fueron las cubiertas y forjados del hospital Moreno Mora de Cádiz, obra de cuya contrata se hizo cargo Dumesnil a finales de 1900.



Figura 90. Hospital San José (Hospital Moreno Mora). Cádiz. 1904. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Se trataba de un importante complejo hospitalario que incluía diversas edificaciones. Al edificio del hospital propiamente dicho se le sumaban varios pabellones para enfermos contagiosos, capilla, almacenes, etcétera, todos ellos comunicados por galerías. Se construyeron con el sistema Hennebique *"los pisos y azoteas del Hospital, y los pies derechos de la galería del cuerpo de edificio que une los pabellones centrales".* Estos forjados se calcularon para resistir una sobrecarga de 400 kilogramos por metro cuadrado[182].

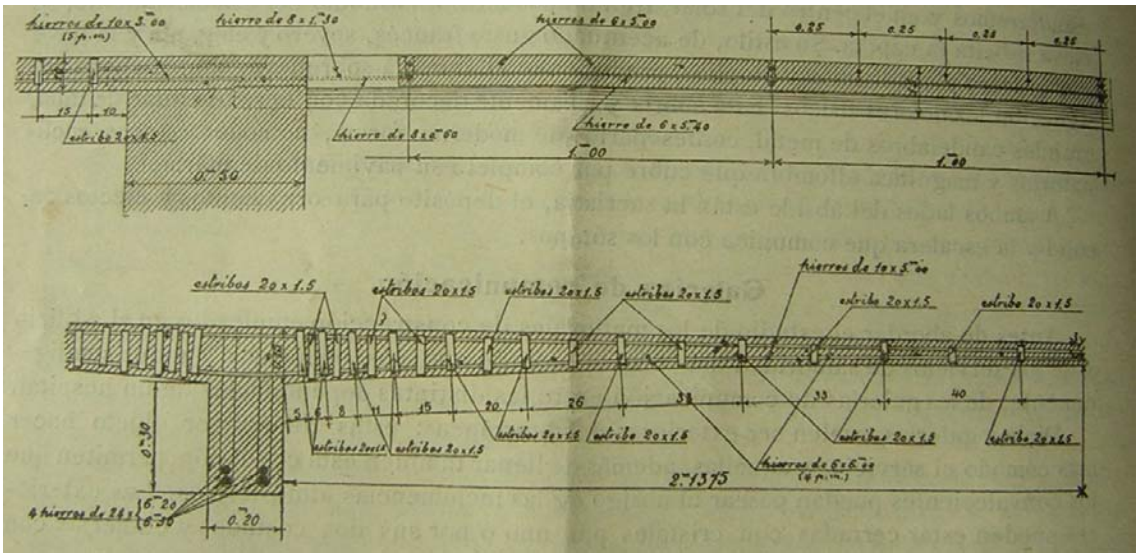


Figura 91. Detalles de los forjados del Hospital San José (Hospital Mora). Cádiz. 1904. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Su construcción tuvo lugar a lo largo de 1901. El 31 de enero de 1902, cuando ya se llevaban construidos más de siete mil metros cuadrados de forjados, se realizó una prueba de carga de una de las cubiertas, cuyos resultados fueron totalmente satisfactorios[183].

Siguiendo la estrategia habitual de la empresa Hennebique, el magnífico comportamiento del hormigón armado en esta obra fue ampliamente difundido en la prensa local con objeto de conseguir nuevos contratos. Así, Martínez pronto recibiría el encargo del Ayuntamiento de Chiclana para redactar el proyecto de un puente que sustituyera a otro antiguo de madera.

Al mismo tiempo, no se escatimaban esfuerzos cuando se trataba de captar la atención de los profesionales de la construcción. En 1901, el ingeniero de caminos Enrique Martínez y Ruíz de Azúa fue comisionado por la Dirección General de Obras Públicas para estudiar las construcciones de hormigón armado. Este analizó los sistemas más utilizados hasta la fecha, pero *"no habiendo podido examinar más que las obras ejecutadas por el sistema Hennebique[…] y por haber visitado durante algún tiempo las oficinas de este eminente ingeniero"* dedicó una especial atención al de Hennebique[184]. De esta forma, después lo adoptaría para los anteproyectos de dos puentes que se le habían encargado en la carretera de segundo orden de Cádiz a Málaga. El primero de ellos, sobre el río Guadarranque, estaba formado por siete arcos rebajados de 22 m de luz. Para el otro, que debía salvar el caño Zurraque, adoptó en cambio una solución con ramos rectos de catorce metros de luz.

A lo largo del año 1901 la organización Hennebique consiguió formar una importante red de concesionarios en Andalucía, principalmente gracias a los esfuerzos de Martínez, el hombre que "*había llevado con éxito la bandera del hormigón armado hasta los confines meridionales de España"*[185]. En septiembre, la revista oficial de Hennebique, *Le Béton Armé*, daba cuenta de ella: Martínez llevaba la representación en Cádiz, los hermanos Francisco y José Hernández Quintero eran los concesionarios en Huelva y Córdoba, respectivamente; en esta última provincia también actuaba el empresario García Vázquez, mientras que en Sevilla hacía lo

propio Bravo y Ferrer. Por último, Domingo Bustos se ocupaba de la provincia de Almería[186]. Algo más tarde se uniría a la organización Vicente Vilches como concesionario de Granada[187].

Los concesionarios andaluces se mostraron especialmente activos en ese año de 1901. José Hernández construyó en Córdoba unos forjados y la cubierta de un edificio[188], además de un depósito elevado para la *Sociedad de Utensilios*[189]; mientras que su hermano Francisco se hacía con la contrata de un almacén de alcohol para la empresa *Duro Hermanos* en Málaga[190]. Por su parte, García Vázquez construía diversas obras en varias localidades de la provincia de Córdoba: un azud en Villa del Río[191], un depósito en Montoro y los forjados de una fábrica de electricidad para la compañía Carbonell en una población no localizada llamada Las Casillas[192].

Sin embargo, el prometedor arranque de la organización Hennebique en Andalucía quedaría muy pronto sin continuidad. Es probable que Martínez enfermara, pues falleció a principios de 1904. Privados los concesionarios noveles de su liderazgo, en 1902 sólo siguieron trabajando a buen ritmo los hermanos Hernández. Entre sus construcciones de este año destacan dos fábricas, una de electricidad[193] y otra de harinas[194], situadas en Jabugo (Huelva). Ambas fueron encargo del ingeniero naval Román Talero y Muñoz, gerente de la *Sociedad Anónima de Electricidad Santa Teresa*. El empleo del hormigón armado en la fábrica de harinas, situada en la estación ferroviaria de *El Repilado* vino sin duda condicionado por el empeño del ingeniero de la compañía del ferrocarril, que impuso que *"en la cubierta del edificio no podrá emplearse material alguno de fácil combustión"*[195].

Además de las de Jabugo, los hermanos Hernández consiguieron ese año los contratos de otras dos fábricas en Málaga, una de pianos[196] y otra de sombreros[197].

Entre 1901 y 1902 la organización Hennebique vivía sus mejores momentos en España. Ribera había dejado definitivamente la empresa en septiembre de 1901, pero el resto de concesionarios seguían consiguiendo contratos a buen ritmo, sin que se notara de momento su marcha.

En el departamento técnico se había producido una novedad importante. Grotta falleció repentinamente a principios de 1901. Así que otro joven ingeniero de caminos, Gabriel Rebollo, se tuvo que hacer cargo de la dirección del despacho técnico central de España[198]. Desde este puesto tendría una intervención decisiva en la que quizás sea la construcción más importante de la casa Hennebique en España, el puente de la Peña sobre el río Nervión, encargado por la *Sociedad de tranvías eléctricos de Bilbao a Durango*.

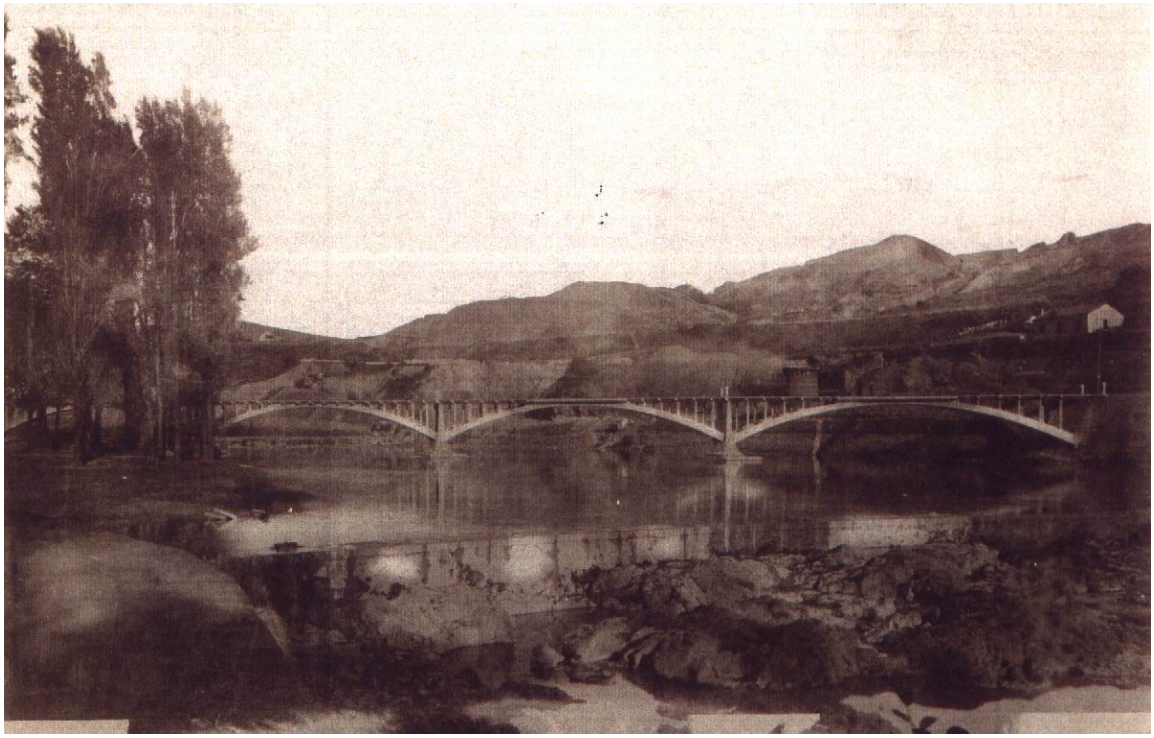


Figura 92. Puente de la Peña sobre el río Nervión (Bilbao). 1902. Gabriel Rebollo, ingeniero de caminos. Institut Français d'Architecture. Direction des Archives de France. Centre d'Archives d'Architecture du XXe siècle.

Con esta sociedad Hennebique firmó un jugoso contrato, que incluía, además de este famoso puente, los de Uresundi y Pozohondo, los pontones de Arrigorriaga, Lemona y Montorra y un paso superior en Arizbarrena[199]. Unos meses después construiría cuatro pasos superiores más en Bilbao[200]. De todas estas obras se hizo cargo el concesionario Jover, del que no se tienen más noticias.

Por su parte, en la zona centro Manuel Balbás se hizo cargo en julio de 1901 de un depósito enterrado en Madrid, según proyecto del arquitecto Luís Landecho, mientras que Valeriano de Madrazo construía varias cubiertas planas en Guadalajara y Azuqueca de Henares[201].

Hasta mediados de 1902 mantendría Balbás una actividad apreciable, llevando a cabo obras en los pabellones del Laboratorio de Artillería[202], un acueducto en Palazuelos, un depósito en Madrid y un almacén de azúcar en La Poveda. Fuera de Madrid, construyó el puente sobre la Rambla de Yecla (Murcia), según proyecto del arquitecto Aracil[203].

Pero a pesar de los progresos en Andalucía y Madrid, seguía siendo el País Vasco la zona donde mayor implantación había conseguido la casa Hennebique. En Bilbao Domingo Fort seguía consiguiendo buenos contratos, como las terrazas de un asilo[204] y una "galería incombustible" proyectada por el arquitecto Epalza[205].

En Haro (La Rioja) Fort construyó las bodegas de Felipe Ugalde en menos de dos meses. En este edificio, los muros exteriores eran *"de construcción corriente, siendo sólo el piso y las pilastras de cemento armado, con unas dimensiones generales de 23x11 metros"*[206].

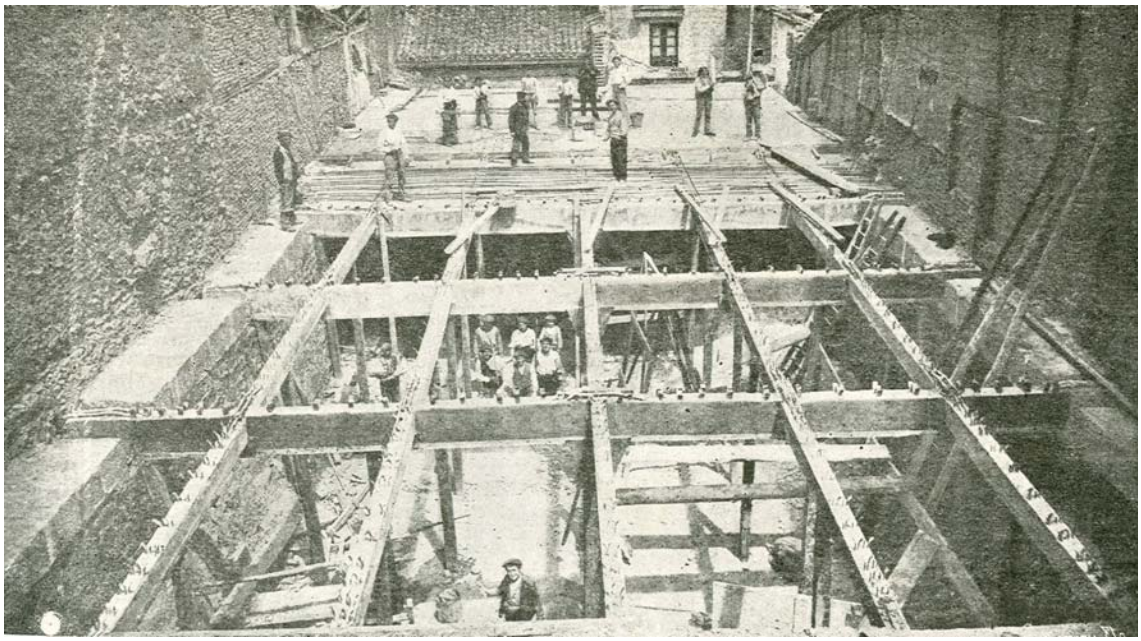


Figura 93. Construcción de las bodegas de F.Ugalde en Haro (La Rioja). 1902. Eugenio Grimal, constructor. En Seco de la Garza, *Cemento armado, cálculo rápido.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Por su parte, Grimal estaba ocupado en Santander con las oficinas de la sociedad *Nueva Montaña*, además de algunos forjados para un chalet en Bilbao[207], y un depósito circular con cubierta en forma de cúpula para el lavadero del Sr. Palacios en Bilbao[208].

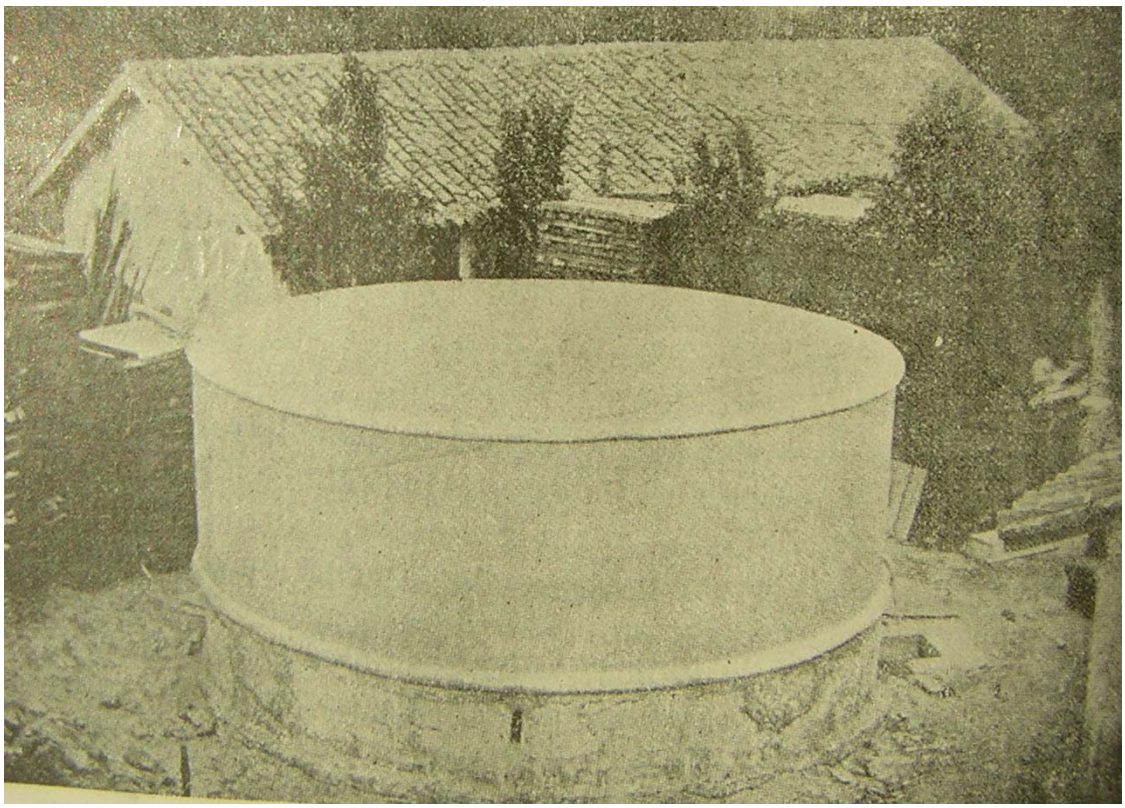


Figura 94. Depósito de agua para el lavadero del Sr. Palacios. Bilbao, 1902. Sistema Hennebique, construido por Eugenio Grimal. En *El Cemento Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Sin embargo, en 1902 ya eran notorias las graves repercusiones que la marcha de Ribera había tenido para la casa Hennebique. Completamente desplazada del mercado asturiano, su antiguo feudo, tenía que vérselas en el resto de España con un vigoroso competidor que además contaba con importantes apoyos entre los estamentos técnicos y la administración.

Pero las cosas todavía irían a peor a mediados de ese año, cuando otro de sus mejores concesionarios, Grimal, dejó la empresa para constituir la *Compañía del Hormigón Armado de Sestao*, otro rival si cabe todavía más duro que Ribera. Entre ambos dieron el golpe de gracia a la organización Hennebique, que prácticamente desapareció de nuestro país. En 1903 todavía se mantenía cierta apariencia de actividad, pero lo cierto es que las obras realizadas eran prácticamente testimoniales.

No obstante, uno de los antiguos concesionarios, del que por su importancia no se ha hablado hasta ahora, mantendría la actividad por espacio de diez años más, con una dilatada lista de realizaciones. Se trataba de Miguel Salaverría, el representante de Hennebique en San Sebastián y otro de los grandes personajes en los comienzos del hormigón armado en España.

Salaverría era un industrial guipuzcoano dedicado a la fabricación de mosaico hidráulico. Al parecer, ya desde 1896 había tenido contactos con la organización Hennebique, en la construcción de los hornos de la cementera de Bedua[209]. Sin embargo, hasta principios de 1901 no se incorporaría a ella definitivamente como su concesionario en San Sebastián[210].

Se estrenaría como tal con diversas obras realizadas en la capilla del Colegio que los Maristas tenían en la capital guipuzcoana: pisos, coro y edificio de unión con el colegio[211]. Unos meses más tarde conseguiría el contrato de la terraza de un chalet[212] y la cubierta de un edificio de la sociedad Viuda de la Torre e Hijos, ambas obras en San Sebastián[213]. Ya en 1902 construiría en Fuenterrabía las terrazas del Hotel y Baños “Peñón del Cantábrico”, una galería para la Unión de Artesanos[214], dos terrazas más para la vivienda del señor Torralba[215], y el coro de la Iglesia de Vidania[216]. En San Sebastián, los balcones de la casa particular del General Calleja[217]. Y un año después se encargaría de los forjados en la Plaza de toros de Azpeitia[218].

También encontraría muy buena aceptación en los establecimientos industriales y sus construcciones complementarias. En este campo su obra más importante quizás sea la gran fábrica de harinas de los Ugalde en Rentería, que fue construida, junto con sus silos de trigo, en 1902[219]. También hizo ese año la cámara de turbinas de una fábrica de electricidad en Vera (Navarra)[220].

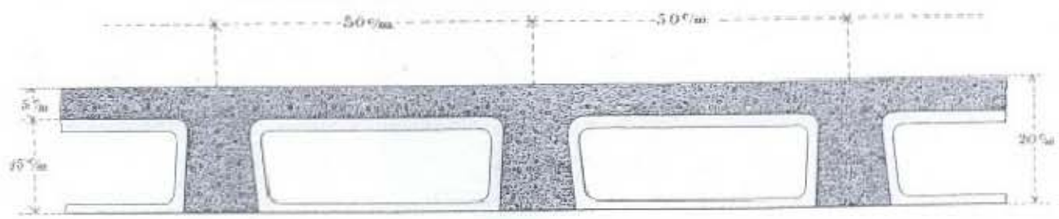
Los elementos de edificación residencial constituían la mayor parte de su actividad en 1906, cuando ya era el único concesionario que la casa Hennebique conservaba en España. Frente a la durísima competencia de Ribera y la Compañía de Sestao, Salaverría se hizo fuerte en Guipúzcoa, provincia en la que llevó a cabo un notable número de construcciones[221]. Sólo

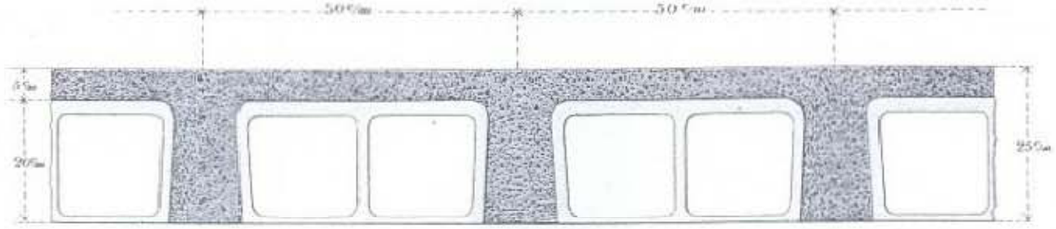
CONSTRUCCIONES EN HORMIGON ARMADO

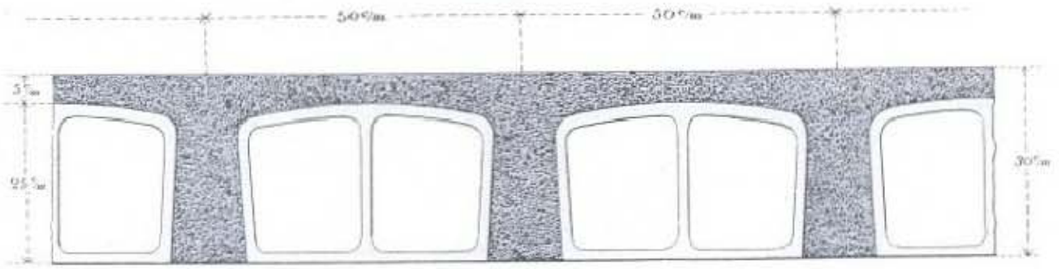
SISTEMA Hennebique PRIVILEGIADO
A PRUEBA DE INCENDIOS

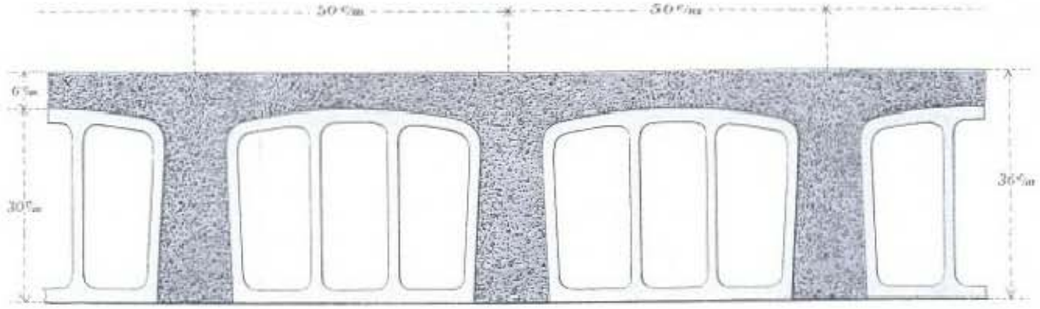
CONCESIONARIO
MIGUEL SALAVERRIA
CALLE DE SAN BARTOLOMÉ—ALDAPETA
SAN SEBASTIÁN

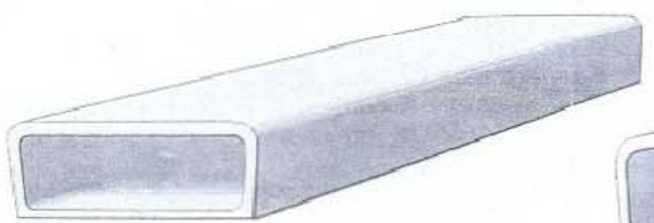
NUEVO SISTEMA, PRIVILEGIADO
DE
PISOS HUECOS DE HORMIGÓN ARMADO CON CONTRAMOLDES

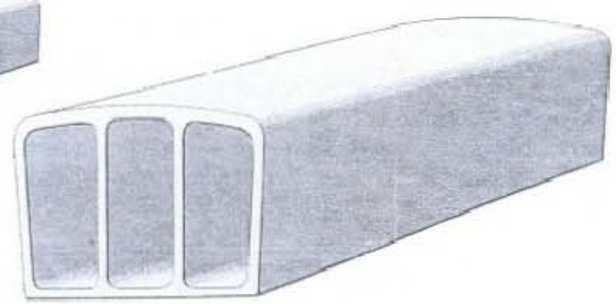


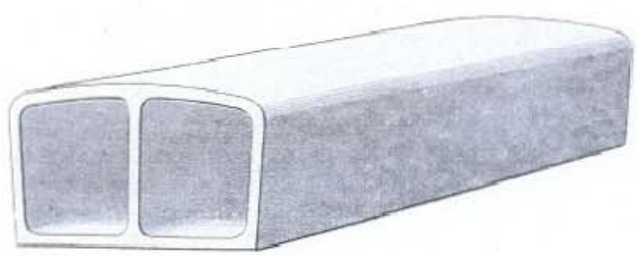












Sistema de forjados aligerados de Miguel Salaverría.1906.

Bibliteca del Col.legi d'Arquitectes de Catalunya

en San Sebastián tendría ese año diez obras de edificación; construcción de forjados y cubiertas en la mayoría de las ocasiones, pero también la estructura completa de varias casas particulares.

Su gran experiencia en edificación le llevó a presentar en 1908 un sistema de *Pisos huecos de hormigón armado con contramoldes*. Era una inteligente adaptación de las losas nervadas de hormigón armado usadas hasta entonces como forjados, de difícil aplicación en edificios de viviendas. Con el nuevo sistema de Salaverría se conseguía, mediante bloques perdidos de mortero de yeso o de cal, un forjado con la cara inferior plana, que además era *"perfectamente incombustible, insonoro, mal conductor de calor e inalterable a los agentes atmosféricos"* a lo que se unía "*su precio económico y rapidez de ejecución*"[222]. Es el principio de los modernos forjados unidireccionales construidos in situ..

Pero además de los elementos estructurales, en el ámbito de la arquitectura residencial Salaverría se ocupaba de otras partes del edificio, como los cerramientos o la ornamentación. Por ejemplo, en colaboración con el arquitecto Ramón Cendoya, construyó unos modillones para los balcones de la casa de Don Cayetano Setién en Fuenterrabía.

En 1906 participó en la construcción del Mercado de Vergara, realizada según proyecto del arquitecto Ramón Cortázar, con quien también trabajaría en el chalet de D. Félix García en San Sebastián[223].

Más intensa sería la actividad con Luis Elizalde. Para este arquitecto, compañero de promoción del anterior, construyó diversos elementos estructurales y decorativos en edificios de San Sebastián y Pamplona (cubiertas planas, forjados, pilares,…).

De la colaboración entre Elizalde y Salaverría resultaría el que casi con toda certeza sea el primer edificio de habitación concebido íntegramente de hormigón armado en nuestro país. Se trata de un inmueble de viviendas de San Sebastián. Además de la estructura, se hicieron con hormigón armado gran parte de los elementos decorativos. En la fachada se utilizaron bloques de piedra artificial y placas de hormigón de portland.

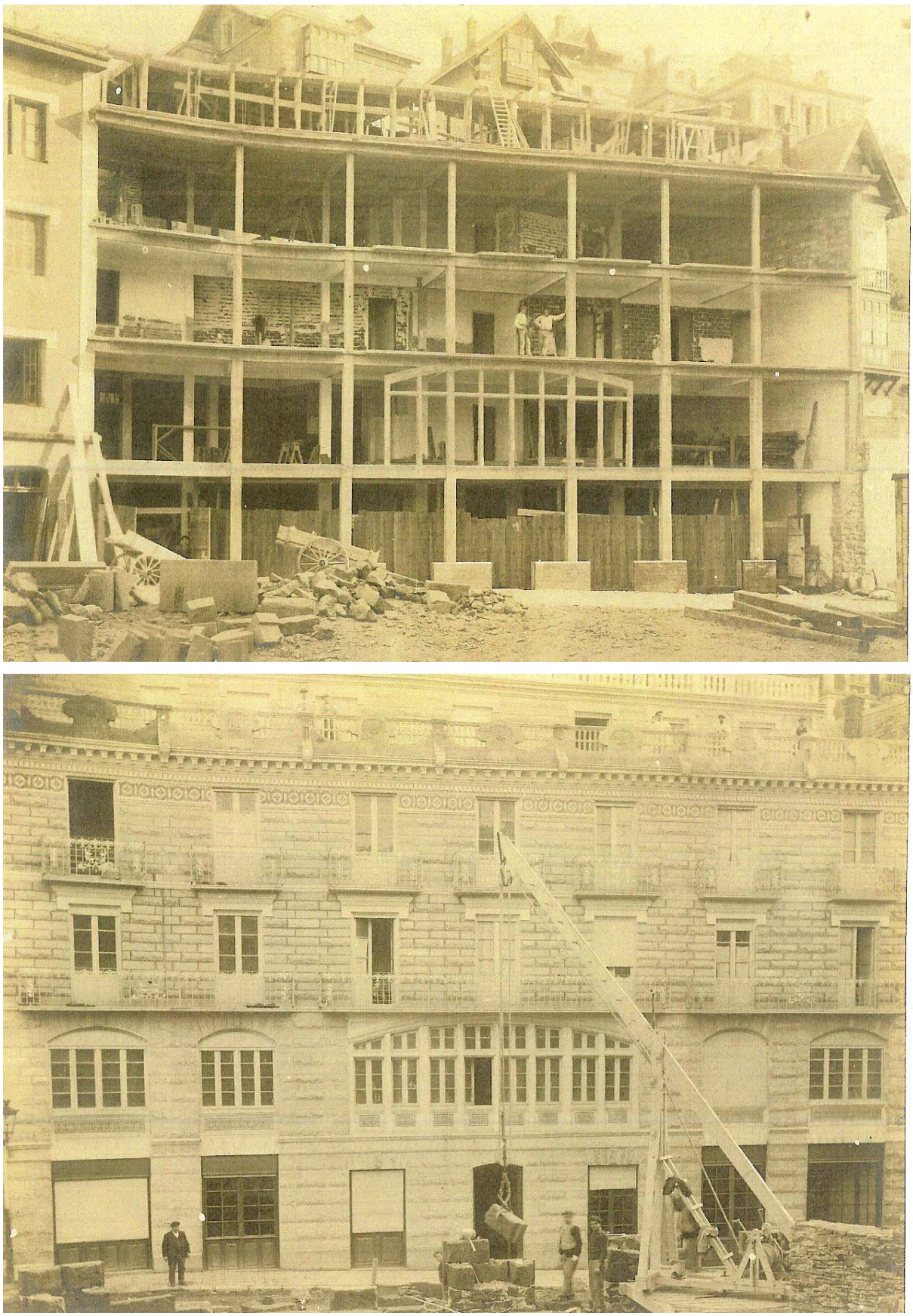


Figura 95. Edificio de viviendas en San Sebastián. Luís Elizalde, arquitecto y Miguel Salaverría, constructor. 1906. Institut Français d'Architecture. Direction des Archives de France. Centre d'Archives d'Architecture du XXe siècle.

La extraordinaria actividad que desarrolló en el ámbito de la edificación deja en un segundo plano otra esfera de actuación fundamental en la trayectoria de Salaverría, los puentes. De octubre de 1901 data su primer puente, de cinco metros y medio de luz, construido para la fábrica de Rezola en San Sebastián[224]. Más adelante construiría otros de viga recta como el de Andoaín, reutilizando las pilas del antiguo puente de cantería.

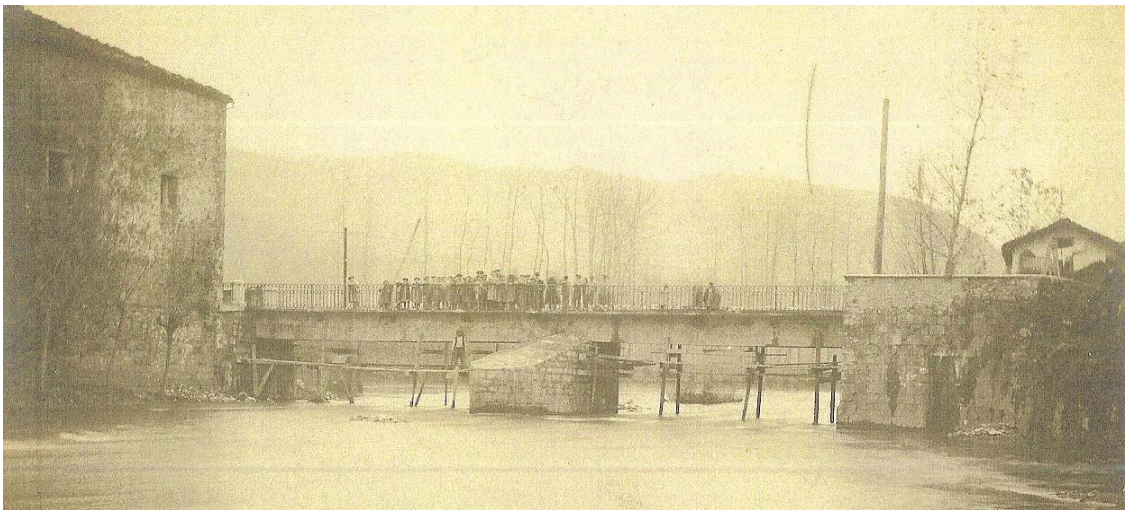


Figura 96. Puente de Andoaín (Guipúzcoa). M. Salaverría, constructor. 1906. Institut Français d'Architecture. Direction des Archives de France. Centre d'Archives d'Architecture du XXe siècle.

En colaboración con el ingeniero Manuel Echave construyó una pasarela en Villabona, y con el ingeniero Luis Zavala un puente en Mondragón[225]. Más adelante se hizo cargo de los puentes del ferrocarril de Pamplona a Sangüesa[226].

Para el puente de Cestona sobre el Urola y el de Tolosa eligió la tipología de arco. Estos dos puentes, de dieciocho y veinticinco metros de luz respectivamente, muestran un avanzado diseño, con tablero superior apoyado mediante tabiques sobre un arco de gran ligereza.

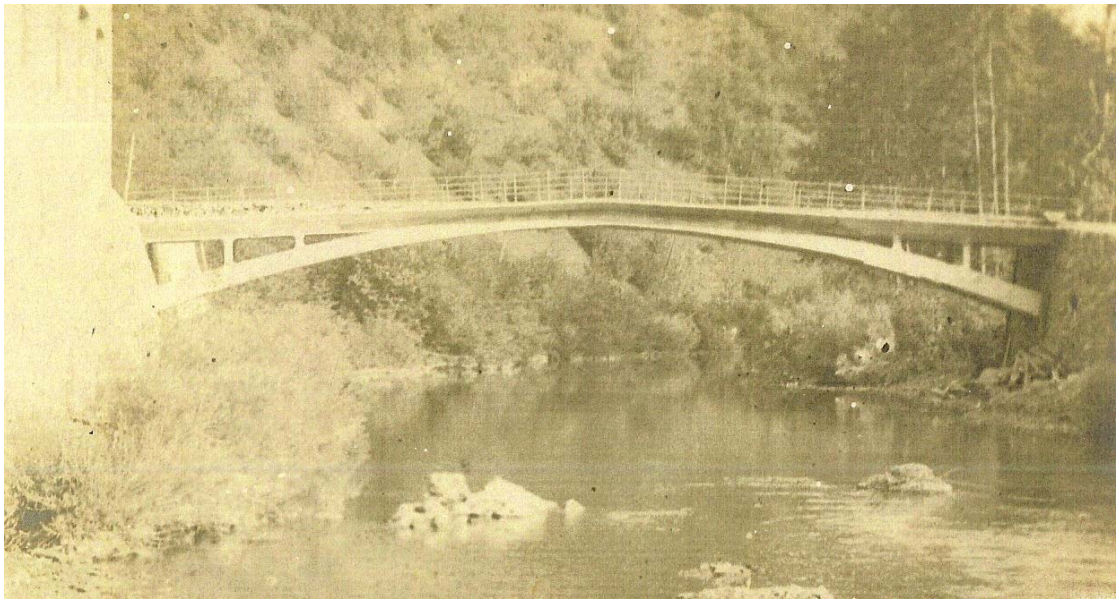


Figura 97. Puente de Tolosa (Guipúzcoa). Miguel Salaverría, constructor. Hacia 1906. Institut Français d'Architecture. Direction des Archives de France. Centre d'Archives d'Architecture du XXe siècle.

En el campo de las instalaciones industriales también tendría construcciones destacadas, como un depósito elevado y una conducción de aguas de la fábrica de Lizarriturry.

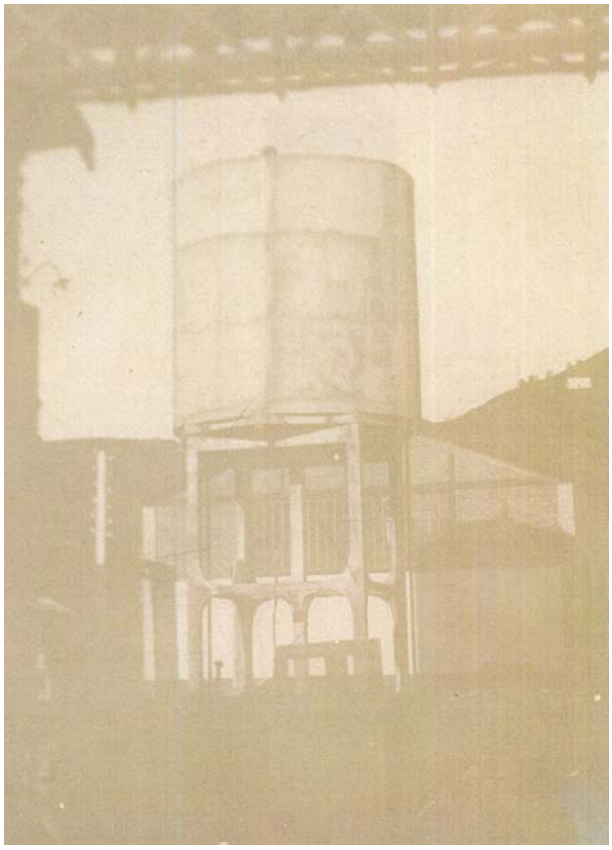


Figura 98. Depósito elevado de la fabrica de Lizariturry (Guipuzcoa). Miguel Salaverría, constructor. Hacia 1906. Institut Français d'Architecture. Direction des Archives de France. Centre d'Archives d'Architecture du XXe siècle.

Otra conducción más realizaría en Oquillegui (Navarra), de ochenta centimetros de diámetro y diseñada para resistir una presión de cuatro atmósferas.



Figura 99. Tubería de Oquillegi (Navarra). Miguel Salaverría, constructor. Institut Français d'Architecture. Direction des Archives de France. Centre d'Archives d'Architecture du XXe siècle.

Precisamente una compleja instalación industrial, la cuba para gasómetro de la fábrica municipal de gas de San Sebastián, sería la última de sus actuaciones conocidas. Proyectada por el ingeniero Wenceslao Aguirrebengoa, esta soberbia construcción constaba de un depósito cilíndrico de veinticuatro metros de diámetro y ocho de altura, sobre el que se sustentaba una estructura metálica decorativa[227]. Se construyó entre 1908 y 1910.

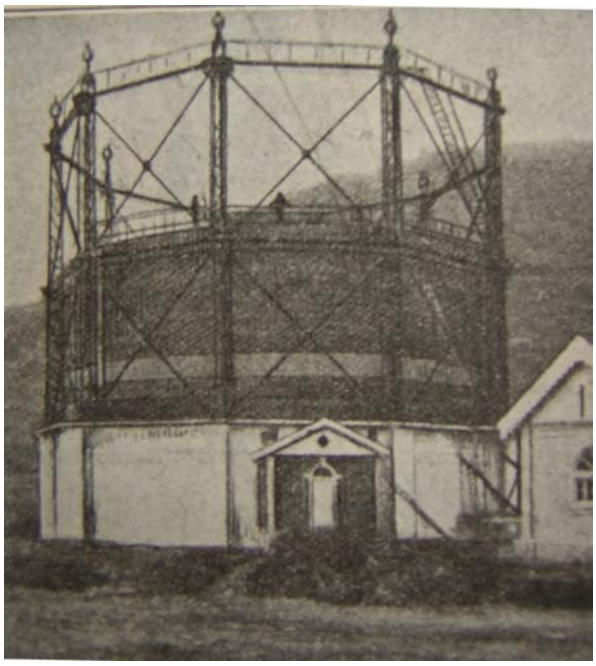


Figura 100. Cuba para gasómetro de la fábrica de gas de San Sebastián. W. Aguirrebengoa, ingeniero; M. Salaverría, constructor. San Sebastián, 1910. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Salaverría continuaría en actividad al menos hasta 1913, año en que todavía figura en la relación de concesionarios de Hennebique en España. Le acompañaban los ingenieros Ceferino Cándido y Joaquín T. Ribeiro en Vigo, junto con la sociedad Construcciones y Pavimentos en Barcelona, Madrid y Valencia[228].

Un año después, como representante de la Agencia Técnica para España aparecía el ingeniero Gabriel Gouyand[229]. Es la última noticia que se tiene de la empresa Hennebique en España.

5) Ricardo Martínez Unciti.

En la etapa inicial, la construcción con hormigón armado fue desarrollándose impulsada en la mayoría de los casos por intereses comerciales. No obstante, también había entre los pioneros quienes, al margen de estos intereses, del todo legítimos por otra parte, propugnaban con entusiasmo su utilización, convencidos de que se trataba de un inmejorable sistema de construcción. Entre estos divulgadores destacó el ingeniero militar Ricardo Martínez Unciti.

El 31 de enero de 1901 veía la luz *El Cemento Armado,* una revista técnica dedicada íntegramente al nuevo material de construcción. Su director, Martínez Unciti, explicaba en el número inicial las razones que le habían movido a lanzar esta publicación: *"convencidos de la importancia extraordinaria que han alcanzado ya en el extranjero las novísimas construcciones de cemento armado y, visto que por fortuna también en España van consiguiendo no pequeña aceptación, nos hemos propuesto publicar mensualmente una revista ilustrada que se ocupe exclusivamente de los materiales y obras cuyo grandioso éxito ha sido proclamado en la Exposición Universal de París de 1900"*[230].

No se sabe cuando y como tuvo el primer contacto con el nuevo material. Tal vez visitara la exposición de París y quedara fascinado por las grandes construcciones de hormigón armado que en ella se habían realizado. O quizás tuviera noticias de él a través de la prensa y las publicaciones técnicas, de las que siempre dio muestras de estar bien enterado.

Lo cierto es que Martínez Unciti se impuso a sí mismo la misión de impulsar el desarrollo del hormigón armado en nuestro país, tarea que emprendería en una doble vertiente. Por un lado, tenía que divulgarlo entre los técnicos. Aquí la revista tendría una función esencial. Todos los técnicos españoles interesados encontrarían en ella un medio para dar a conocer sus experiencias y obras. También procuró la colaboración de algunos de los más prestigiosos especialistas extranjeros, como Harel de la Noë o Armand Considère.

Pero consciente, por otro lado, de que la implantación del hormigón armado, además de su difusión entre los técnicos, exigía la formación de obreros especializados abrió en 1901 un taller de experiencia y enseñanza. Estaba situado en Madrid, en la calle del Rollo, aunque al año siguiente lo trasladaría a la calle Méndez Álvaro. Con la misma intención se dedicaría desde el primer momento a dar charlas y conferencias expresamente dirigidas a ellos, como la que tuvo lugar a principios de 1901 en el Ateneo Instructivo del Obrero de Guadalajara[231].

Atento a todas las novedades bibliográficas, para ampliar sus conocimientos tampoco dudó en viajar al extranjero para conocer de primera mano los avances con el nuevo material, al que prefería llamar cemento armado. De este modo, en 1902 viajó por Francia, Alemania, Bélgica y Rusia, entrevistándose con Hennebique, Edmond Coignet, Piketty o Coularou. Visitó las obras de Berlín y de la Exposición de Dusseldorf, así como el Laboratorio de la Escuela de

Puentes y Caminos de Rusia y las principales obras de cemento armado de San Petersburgo y Moscú[232].

Por otro lado, Martínez Unciti compaginaba esta intensa actividad de divulgación con diversas actuaciones como proyectista y consultor especialista en obras de hormigón armado. La primera de la que se tiene noticia es una colaboración de principios de 1901 con el ingeniero de caminos Álvaro Villota en las obras del muelle de Maliaño (Santander), construido con pilotes de hormigón armado sistema Hennebique. Martínez Unciti proyectó la solera del muelle, una losa de hormigón de siete centímetros y medio de espesor, armada con *Metal Deployé*, que se apoyaba sobre una tablazón de madera dispuesta sobre los pilotes[233].

De mayor entidad fue su participación en la cubierta del Almacén-Depósito de Tabacos de la capital cántabra. Tras la destrucción en un incendio de los almacenes que la *Compañía Arrendataria de Tabacos* tenía en el puerto, se encargó al ingeniero Mauro Serret el proyecto de ocho nuevos grandes pabellones. Martínez Unciti colaboró en el diseño de las cubiertas, formadas en todos los casos por una losa de hormigón de tres centímetros de espesor armada con Metal Deployé. Entre todos los edificios sumaban una superficie de cubierta de diez mil metros cuadrados. Su resistencia al fuego sin duda fue determinante para adoptar la solución de hormigón armado en lugar de las tradicionales cubiertas de tablas y bovedillas de rasilla, estando la función estructural confiada a una estructura de correas y cerchas metálicas[234].

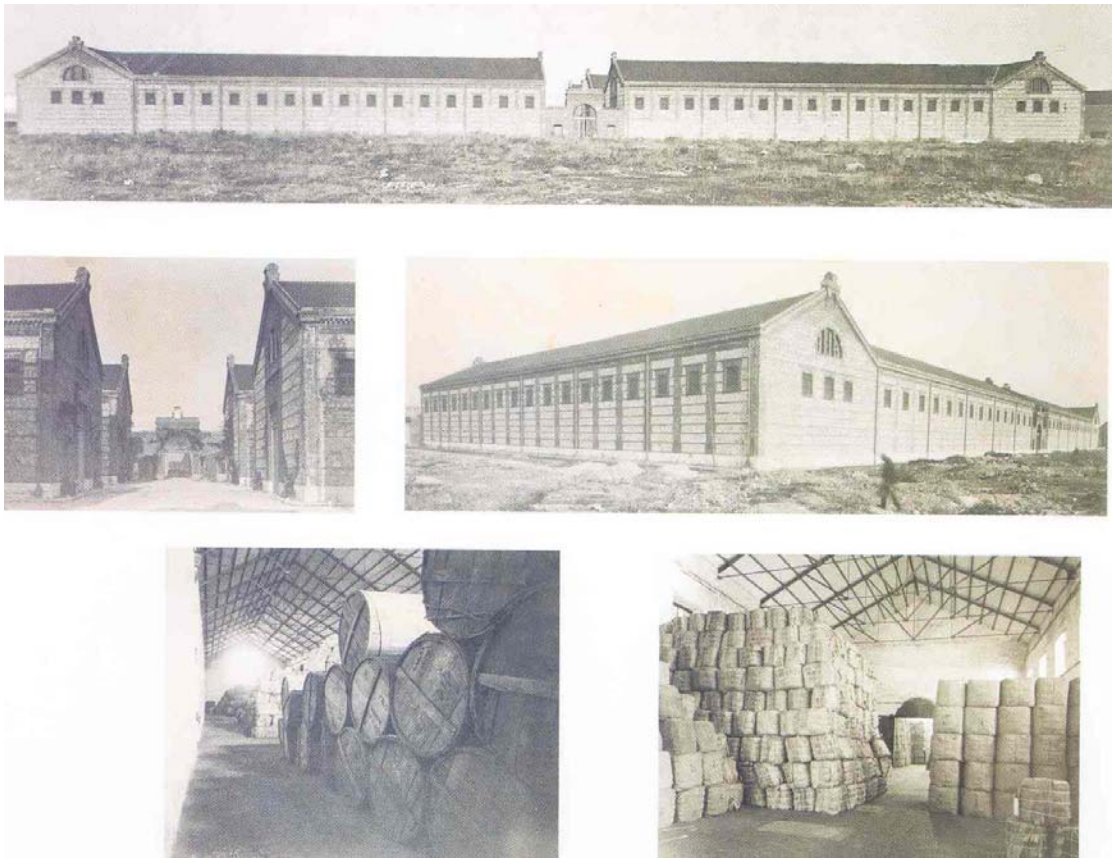


Figura 101. Pabellones del Depósito-Almacén de Tabacos de Santander. 1902. Mauro Serret, ingeniero. Cubierta de hormigón armado sobre viguetas metálicas diseñada por Ricardo Martínez Unciti

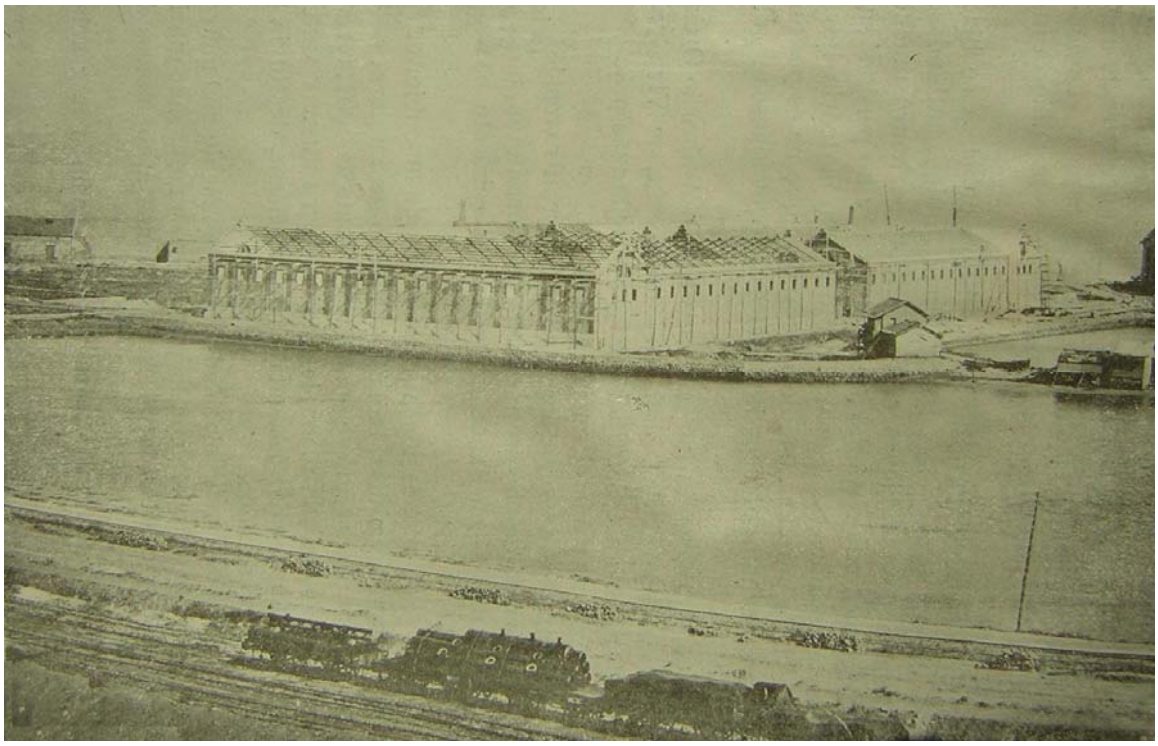


Figura 102. Almacén – depósito de tabacos de Santander. Construcción de la cubierta. Ricardo Martínez Unciti, ingeniero militar. 1901. En *El Cemento Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

En 1902 se ocuparía de varias obras en Madrid y sus alrededores. Para la *Fábrica de Electricidad del Mediodía* proyectó unas cimentaciones para maquinaria pesada. Parecido encargo recibió de la *Sociedad de Construcciones Metálicas*, la cimentación de unos grandes motores de 18.000 kg de peso, que resolvió con losas nervadas de hormigón y armadura de barras de acero. Para esta sociedad también se hizo cargo de otras construcciones auxiliares: cerca de la fábrica, pabellón de retretes, cielos rasos y pisos de los locales de estufas, etc[235].

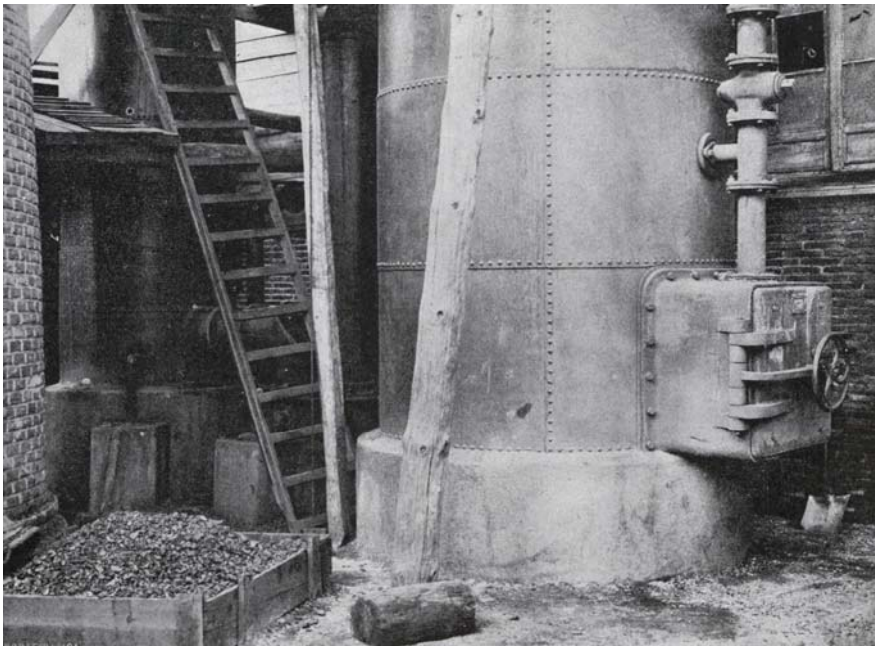


Figura 103. Instalaciones de hormigón armado para la Fábrica de Electricidad del Mediodía, Madrid, 1902. Placa de cimentación para los generadores de gas. R. Martínez Unciti, ingeniero militar. En Martínez Unciti, *Le ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.



Figura 104. Instalaciones de hormigón armado para la Fábrica de Electricidad del Mediodía, Madrid, 1902. Depósito de agua. R. Martínez Unciti, ingeniero militar. En Martínez Unciti, *Le ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Simultáneamente fue desarrollando diversas aplicaciones industriales del hormigón armado, que registraría a finales de 1901. La primera patente fue por *"un resultado industrial consistente en acueductos portátiles, regueras, hincos y postes eléctricos de cemento armado".* Después añadiría otras relativas a postes eléctricos, traviesas de ferrocarril y cierres higiénicos para nichos y panteones[236].

Entre 1902 y 1903 tendría ocasión de aplicar sus elementos prefabricados de hormigón armado en diversos encargos. Por ejemplo, para la finca del ingeniero de Montes Sáenz de Santamaría en Haro (La Rioja) construyó un depósito cilíndrico de 78.000 litros de capacidad, una canalización con acueductos portátiles, doce pesebres y una cerca con postes y bloques tubulares; en la finca del Conde de Villanueva en Fuente el Saz (Madrid) construyó asimismo dos depósitos cilíndricos de 42.000 litros de cabida cada uno, dos arquetas receptoras y cuatro distribuidoras para las norias y depósitos, una gran canalización con acueductos portátiles y la casa de guarda de una viña[237] .

Como industrial de prefabricados de hormigón armado recibió el importante apoyo de la Compañía Madrileña de Urbanización, que por entonces estaba promoviendo las obras de la *Ciudad Lineal* en Madrid. Con gran entusiasmo, esta recomendaba *"eficazmente todos los inventos del Señor Unciti, en la seguridad de que con ellos se han de beneficiar la higiene, la economía y la solidez en las construcciones de la Ciudad Lineal"*[238]*.* Y efectivamente se usaron en ella, como atestigua el pago de 161,30 pesetas realizado en diciembre de 1903 a Unciti por setenta metros de acueducto portátil y postes[239].

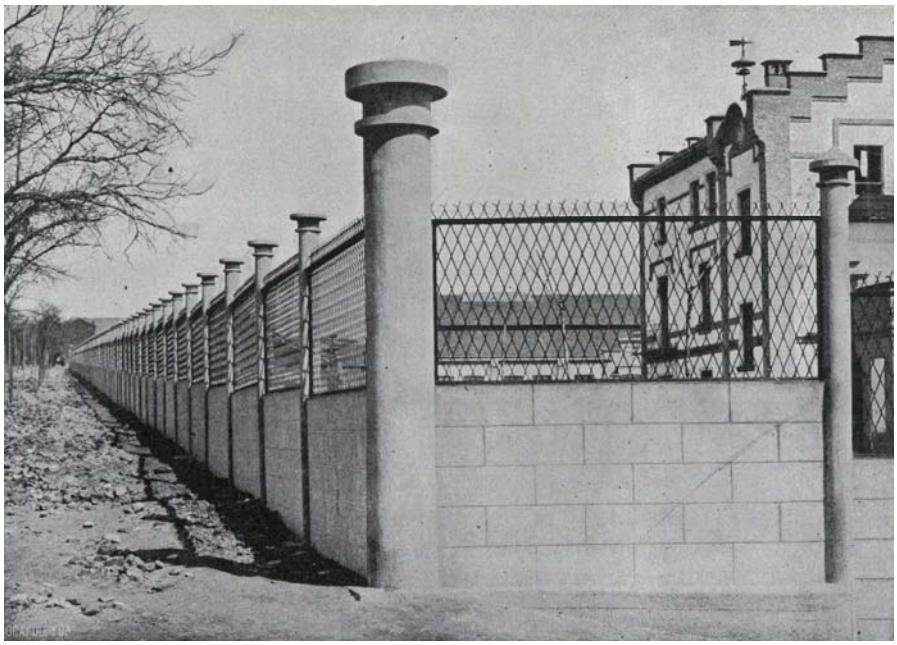


Figura 105. Cerramientos de hormigón armado en la fábrica de la Sociedad Española de Construcciones Metálicas. Madrid, 1902. R.Martínez Unciti, ingeniero militar. En Martínez Unciti, *Le ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

A finales de 1903 terminaría una de sus obras más destacadas, un puente sobre el río Henares en Torrejón de Ardoz (Madrid). Era un arco rebajado de de veinticinco metros de luz, cuya estructura se simplificó *"suprimiendo los largueros (el forjado hace su papel) y las cruces de San Andrés que en una viga metálica serían precisas para arriostrar los traveseros, arcos y pilares que sostienen el tablero"*[240].



Figura 106. Puente sobre el río Henares en Soto de la Ciudad. Madrid, 1903. R.Martínez Unciti, ingeniero militar. En Martínez Unciti, *Le ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

En abril de 1904 se celebró en Madrid el VI Congreso Internacional de Arquitectos. Martinez Unciti no dejaría pasar la oportunidad de difundir las excelencias del nuevo material de construcción entre los asistentes al evento. Para ello contaría con la ayuda de lo aruitectos Mauricio Jalvo y Alberto de Palacio, el cual llegó a realizar una memoria sobre el sistema Unciti donde lo ensalzaba como *"una de las aplicaciones más racionales y prácticas entre los diversos sistemas de construcción con cemento armado, con aplicaciones desarrolladas en número e importancia en España desde 1900"*[241].

En esa memoria aparecían, funcionando con normalidad, los talleres de prefabricados de hormigón que Martínez Unciti tenía en Madrid. En ellos se fabricaban todos los objetos de cemento armado que tenía patentados.

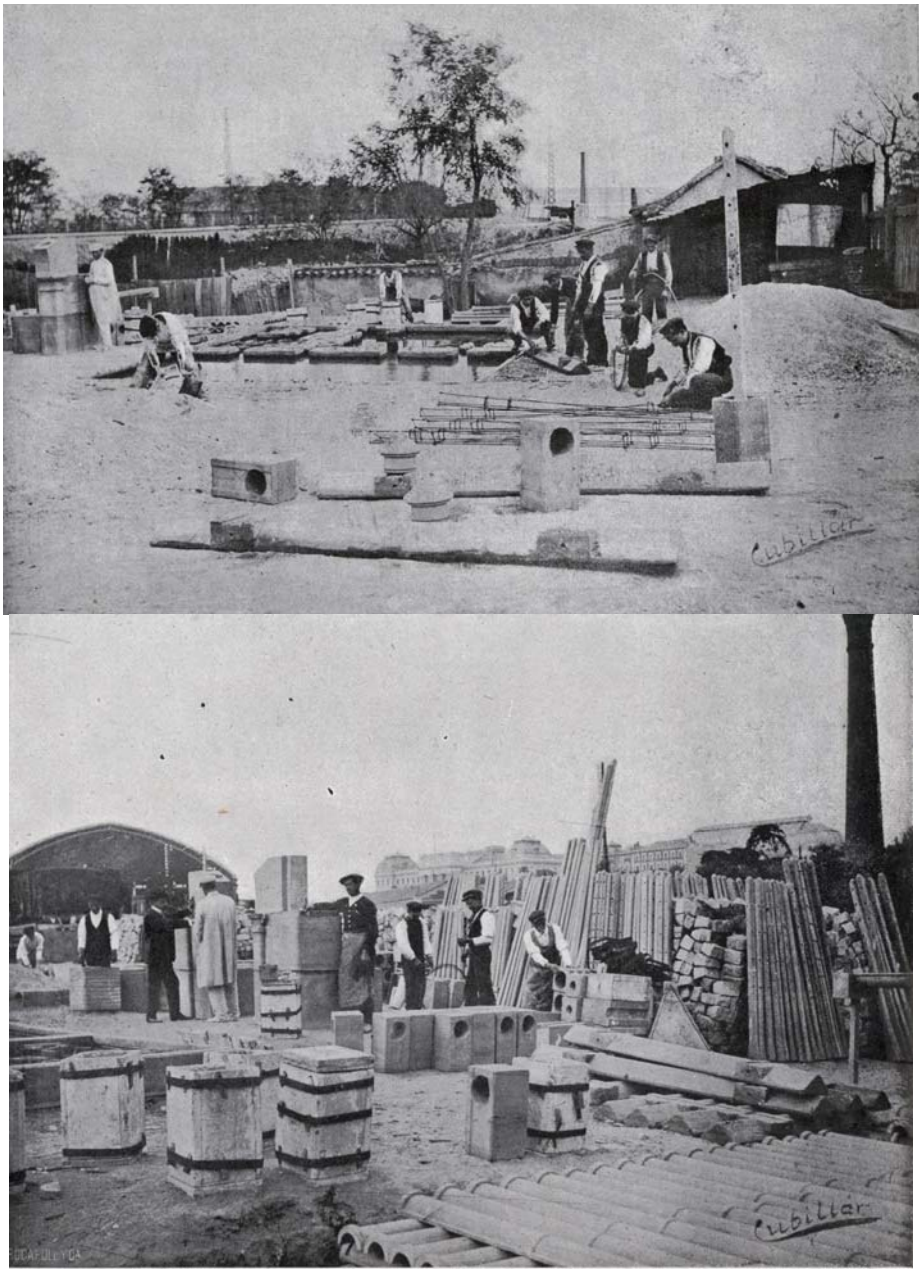


Figura 107. Talleres de R. Martínez Unciti en Madrid. 1904. R. Martínez Unciti, ingeniero militar. En Martínez Unciti, *Le ciment armé.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Su revista *El Cemento Armado* continuaba publicándose sin novedad. Sin embargo, en el mes de junio de ese año 1904 se anunció la suspensión temporal por seis meses[242], que luego resultaría definitiva. No se han podido encontrar más referencias sobre Martínez Unciti, por lo que se puede aventurar que cayera enfermo y falleciera por esas fechas.

6) La Compañía del Hormigón Armado de Sestao.

En octubre de 1901 un ingeniero francés llamado Joseph Blanc solicitó patente de invención en España para *"un nuevo procedimiento o sistema de construcción de cemento armado denominado Poutre-Dalle".* Su principal característica era que la armadura de los forjados estaba estrechamente enlazada con la de las vigas sobre las que estos se apoyaban. De este modo, según su inventor, se formaba un conjunto viga-forjado (*poutre-dalle* en francés) imposible de deformar[243].

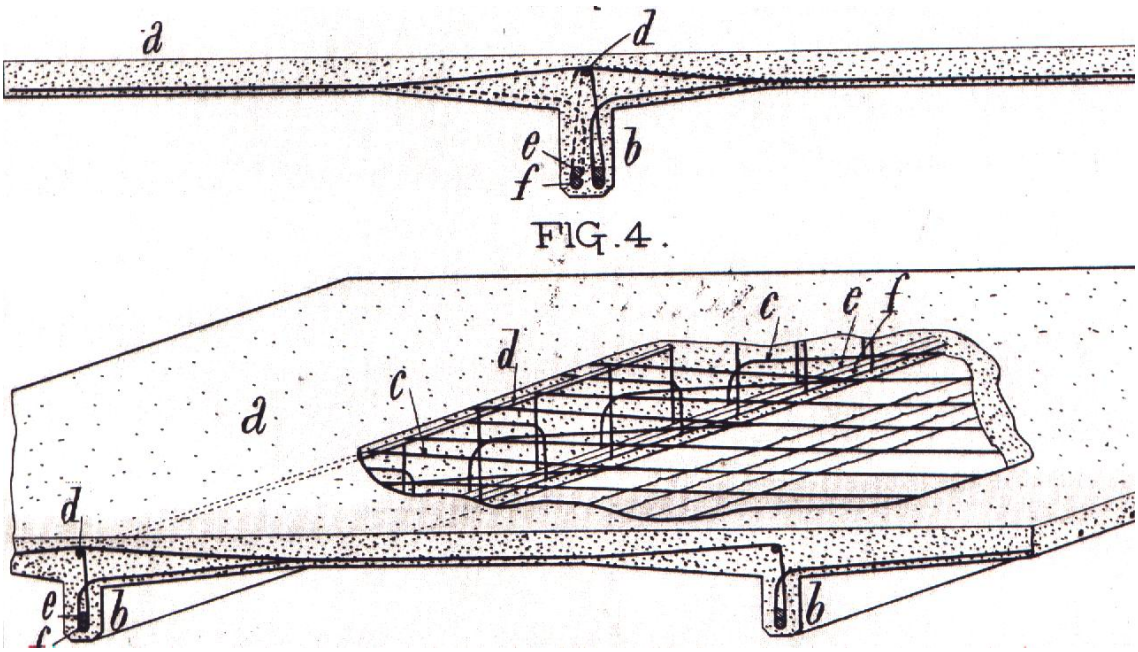


Figura 108. Sistema Blanc "viga-forjado" .Patente española de 1901. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas

Las vigas tenían una armadura longitudinal superior e inferior, siguiendo de forma más o menos racional la ley de momentos flectores. Ambas se conectaban con unos alambres en lugar de estribos.

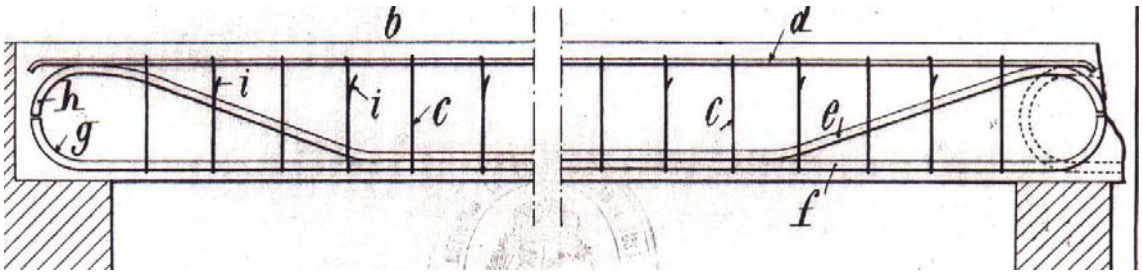
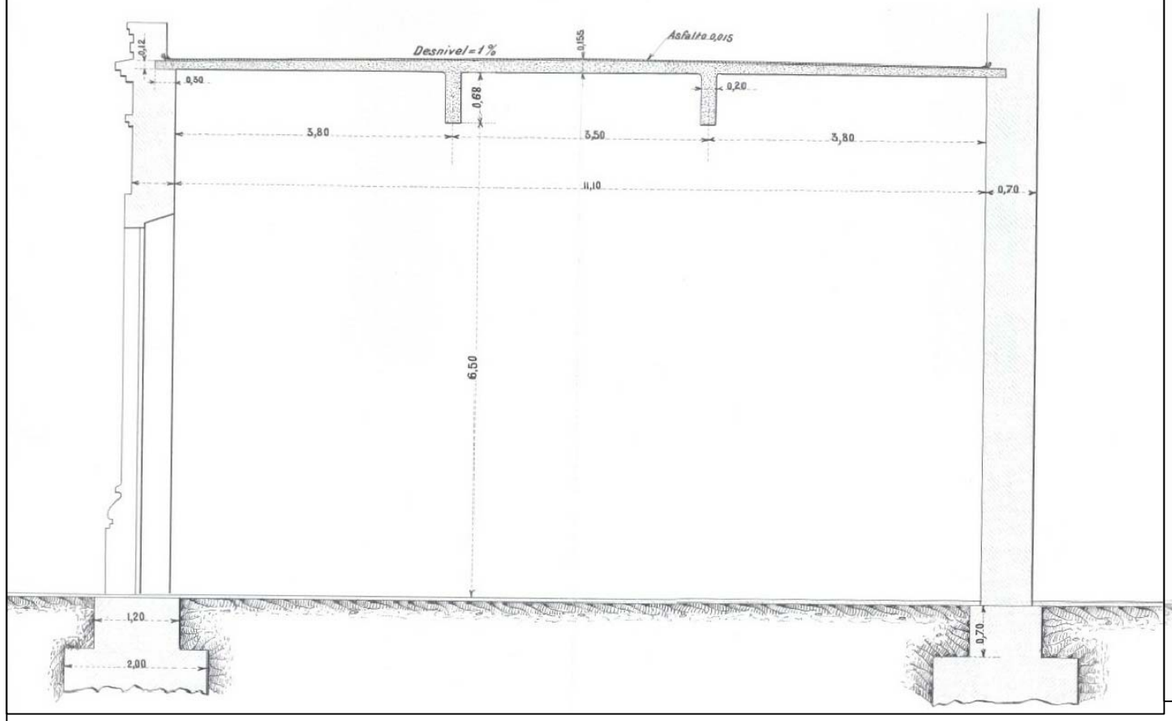
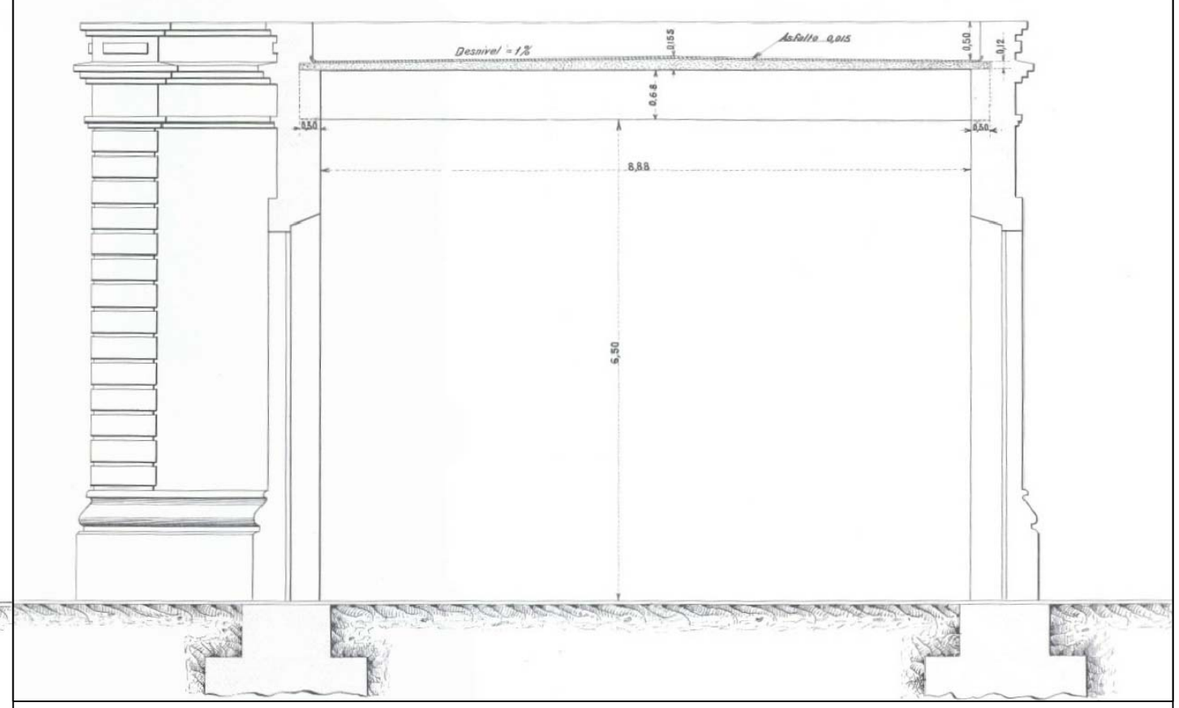


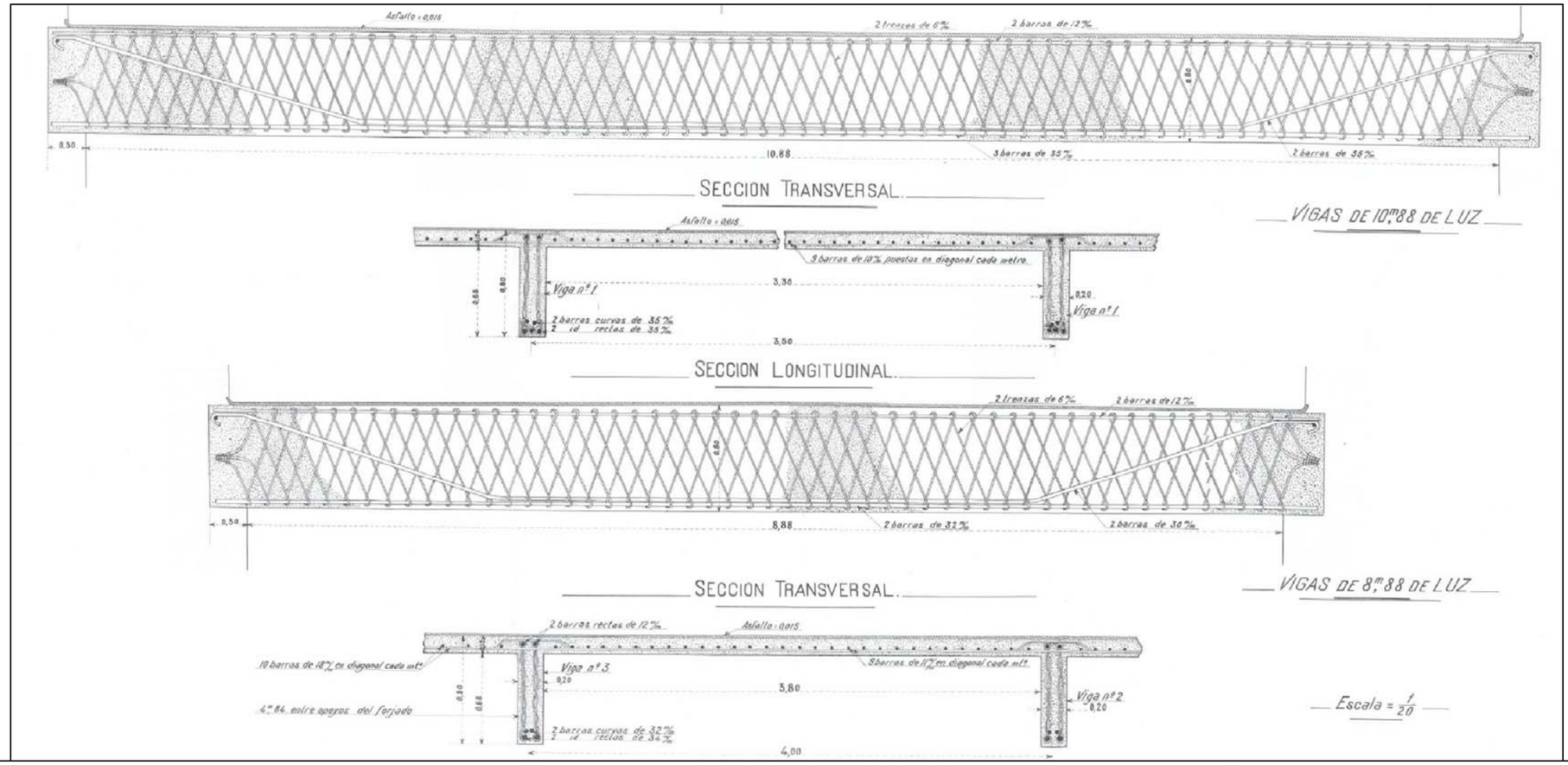
Figura 109. Vigas de hormigón armado sistema Blanc. Patente española de 1901. Fuente: Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas

SECCION POR C.D.



SECCION POR A.B.





Algunos meses después introdujo unas mejoras en el sistema, que principalmente consistían en enlazar las barras principales de las vigas mediante un tejido de alambres.

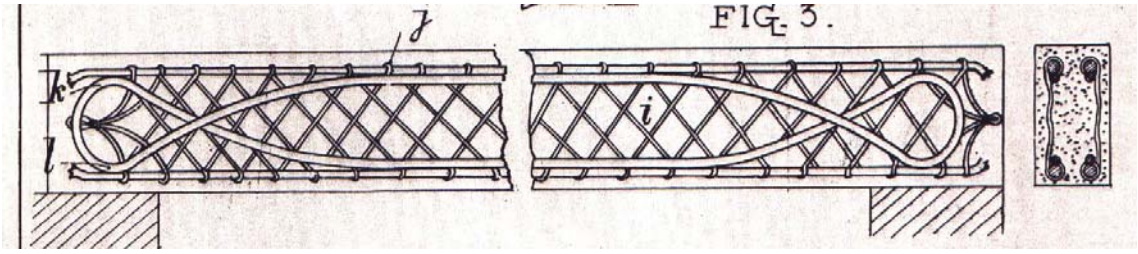


Figura 110. Vigas sistema Blanc. Mejoras a la patente de 1901. Fuente: Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

El sistema de Joseph Blanc pasó completamente desapercibido en Francia (no se ha encontrado la menor referencia a él en los manuales franceses de hormigón armado de la época). Sin embargo, en España tendría gran aceptación como consecuencia de un afortunado encuentro entre su creador y Eugenio Grimal, un empresario vasco de origen francés.

A principios del siglo XX, Grimal estaba vinculado con la "*Société Générale des Ciments Portland*", una empresa de capital francés asentada en Sestao (Vizcaya) que al menos ya desde 1899 se dedicaba a la fabricación de cemento con escorias de alto horno[244]. Al mismo tiempo, era uno de los más señalados concesionarios del sistema Hennebique en España.

A mediados de 1901 se estaban construyendo los pisos y cubierta de la *Panificadora La Económica* en Santander, cuya contrata había conseguido Grimal poco antes[245]. En esta obra tuvo la ocasión de colaborar estrechamente con Joseph Blanc, que por entonces debería trabajar como especialista dentro de la organización Hennebique.

La experiencia acumulada en la firma francesa habría permitido a Blanc desarrollar su propio sistema de hormigón armado, que dio a conocer en *El Cemento Armado* en diciembre de 1901, mientras todavía dirigía obras de la *Panificadora La Ecónomica*[246].

Grimal vería en el sistema de Blanc la oportunidad de librarse de Hennebique y lanzarse a la construcción con hormigón armado a gran escala por todo el país. Contaba para ello con el importante respaldo financiero de la *Société Générale des Ciments Portland de Sestao*, que a finales de 1901 constituyó una empresa filial con esa intención.

La dirección de esta nueva *Compañía Anónima del Hormigón Armado de Sestao–Bilbao*, fue encomendada, lógicamente, a Grimal. Por su parte, Blanc se hizo cargo del departamento técnico, incorporando al prometedor ingeniero de caminos Enrique Colás Arias.

Siguiendo las estrategias que tan bien le habían funcionado a Hennebique (Grimal las conocía bien, no en vano había sido uno de sus mejores concesionarios) la Compañía de Sestao no tardó en poner en marcha una fuerte campaña de divulgación, insertándose

artículos sobre el nuevo sistema de hormigón armado en importantes revistas técnicas como "*El Cemento Armado*" [247] y la "*Revista de Obras Públicas*"[248].

Para demostrar la resistencia y estabilidad de las construcciones hechas con el nuevo sistema se realizaron diversos ensayos de rotura, a los que se invitaba a la prensa técnica para darles la mayor difusión posible. En un folleto descriptivo del sistema publicado a mediados de 1902 se describen dos: una viga de cuatro metros de luz apoyada en muros de ladrillo y una losa de forjado de treinta y seis metros de superficie, sostenida por dos vigas[249].

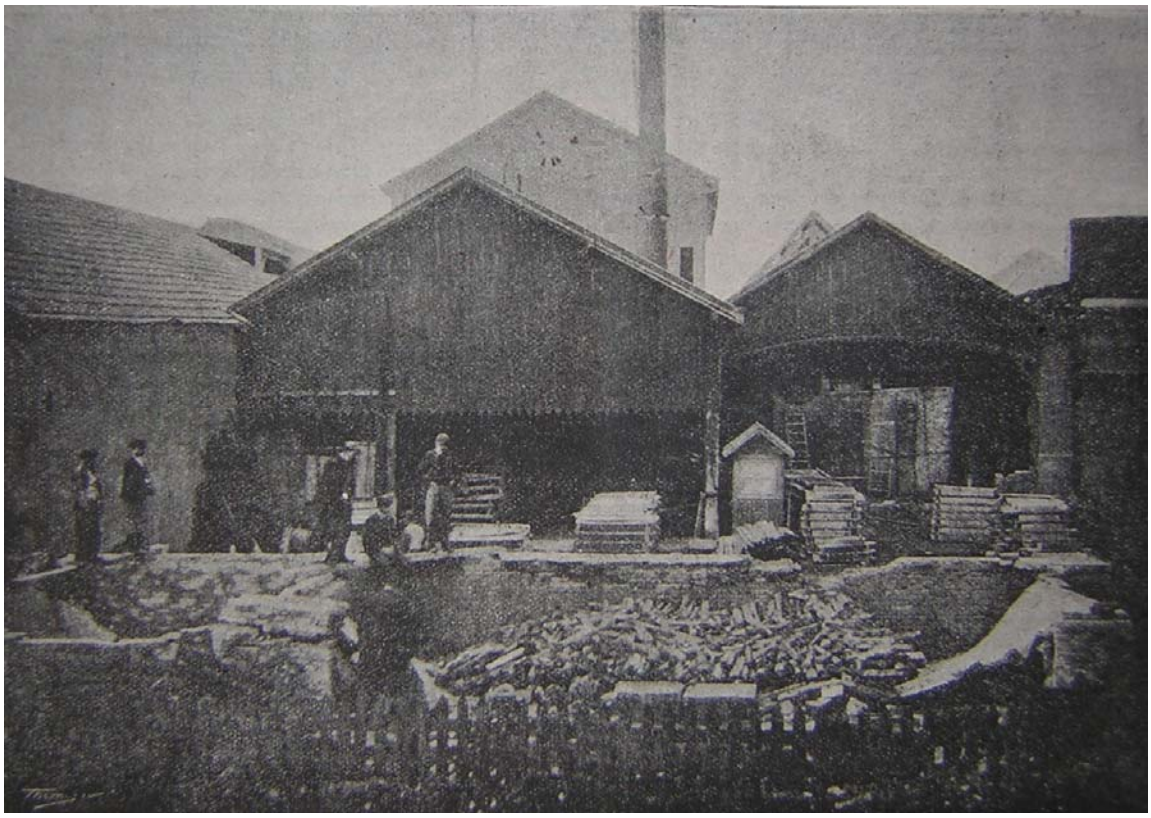


Figura 111: Ensayo de rotura de una losa de hormigón armado sistema Blanc. 1902. *Revista de Obras Públicas*

Bajo la supervisión de Enrique Colás se llevaría a cabo, un par de meses más tarde, otro de estos ensayos, en un solar de la calle Alfonso XII de Madrid consistió en cargar hasta la rotura una losa de treinta centímetros de canto apoyada sobre cuatro pilares[250].

Al mismo tiempo se divulgaban las pruebas de recepción de construcciones realizadas con el sistema Poutre-Dalle, como las de realizadas en un inmueble situado en la Alameda de Mazarredo de Bilbao, propiedad de los señores Echevarrieta y Larrinaga. Los forjados de este edificio, proyectado por el arquitecto Severino Achúcarro, serían uno de los primeros encargos de la Compañía de Sestao, que enviaría a sus ingenieros Blanc y Colás a controlar las pruebas.

La culminación de estos esfuerzos por la divulgación sería el lanzamiento de la revista *"El Hormigón Armado"*, replica a *"Le Béton Armé"* de la organización Hennebique. Concebida como órgano de los agentes y concesionarios del sistema privilegiado Blanc, se publicó en la primera década del siglo XX.

La nueva empresa constructora iba a irrumpir con fuerza en el mercado español del hormigón armado, dominado hasta entonces por la firma Hennebique. Sus primeros clientes serían los que Grimal tenía como concesionario de Hennebique. Por ejemplo, los trabajos en la Alhóndiga de Bilbao, inicialmente contratados por la compañía francesa, serían continuados por la Compañía de Sestao.

No tardaría sin embargo en captar nuevos clientes, la mayoría particulares, siendo los forjados, cubiertas y placas de cimentación sus encargos más frecuentes. Por ejemplo, para las casas del señor Luís Ocharán, en Bilbao, se construyeron cuatro mil quinientos metros cuadrados de forjados.

Otra importante partida de su lista de realizaciones la constituía la ornamentación de edificios con elementos de hormigón (armado y en masa). Entre los trabajos de este tipo se incluían balaustradas (Establecimiento de Baños del Sardinero, en Santander), faldones y cornisas (casa de José María Olavarri, en Bilbao), remates de chimeneas (Santo Hospital Civil de Bilbao) o revestimientos de columnas (nuevo edificio del Banco de Vizcaya, Bilbao).

Y también contaba con valiosos encargos para la construcción de depósitos y conducciones de agua, como los 2500 metros de tubería que se hicieron para la *Electra del Besaya* en Bárcena, provincia de Santander[251].

Recién establecida, tenía su zona de actuación centrada en las provincias de Vizcaya y Santander. Sin embargo, la *Compañía de Sestao* estaba decidida a apostar en firme por el hormigón armado en toda España, y así, en agosto de 1902, cuando todavía no había transcurrido todavía un año desde su creación, ya contaba con los medios necesarios para acudir al trascendental concurso de la cubierta del Tercer Depósito del Canal de Isabel II en Madrid, la que hasta la fecha sería la mayor construcción de hormigón armado del mundo.

Los técnicos de la compañía presentaron una solución para esta cubierta a base de losas planas sobre jácenas y pilares. Fue bien considerada en el concurso, pero no consiguió la adjudicación, que fue para la proposición de la *Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles*[252].

Seria este el primero de los muchos encontronazos que a lo largo de la primera década del siglo XX iba a tener con la empresa de Ribera, dando lugar a un enfrentamiento que sobrepasaría los límites de la competencia normal entre empresas, llegando a tomar en ocasiones tintes de gran enemistad.

El siguiente episodio de esta disputa tendría lugar a finales de 1902, por la construcción del Puente de Ganzo, que fue adjudicado de nuevo a Ribera por una diferencia de veinticinco pesetas. La *Compañía de Sestao* acusó al ayuntamiento de cometer irregularidades en la resolución, afirmando que "*el otro concurrente presentó el día del remate su proposición sin precio y rebajó 25 pesetas de la que nosotros habíamos presentado*"[253].

Aunque lleva la firma de Grimal, tal vez fuera este proyecto una de las últimas colaboraciones del ingeniero Blanc, que fallecería poco después.

Su expansión por otras zonas de la geografía española comenzaría en la ciudad de Valladolid, cuyo Ayuntamiento le haría varios encargos a partir de diciembre de 1902. El primero fue la renovación del tablero de un puente sobre un brazo del río Esgueva. La Compañía presentó un proyecto para este puente, conocido como "Puente Encarnado", formado por cinco tramos rectos con una luz máxima de cuatro metros y medio, que se ejecutaría al año siguiente. Las pruebas de recepción, consistentes en el paso de *"un carro de dos ruedas con siete mulas, cargado con 6380 kilogramos"* tuvieron lugar en octubre de 1903, con resultados satisfactorios[254].

Nicolás Hermosilla, representante de la compañía en Valladolid, también conseguiría en la primavera de ese año la adjudicación de una placa de cimentación para un nuevo monumento a Cristóbal Colón. Grimal tuvo que emplearse a fondo para convencer al arquitecto municipal, Juan Agapito y Revilla, que si bien había admitido sin problemas el hormigón armado para el "Puente Encarnado", no las debía tener todas consigo en este nuevo proyecto, pues impuso en su pliego que *"la compañía constructora queda responsable en absoluto de todos los accidentes que se pudieran originar por la construcción de la placa de cimentación, y que esta no podrá ser recibida definitivamente hasta un año después que se haya construido de todo punto el monumento y esté terminado en absoluto, siendo de cuenta de la casa constructora las reparaciones que por tal placa se originasen en el monumento o alguno de sus detalles"*[255]. Estos temores del arquitecto resultaron, no obstante, infundados. La placa de cimentación funcionó sin problemas, quedando recibida por parte del ayuntamiento en junio de 1903.

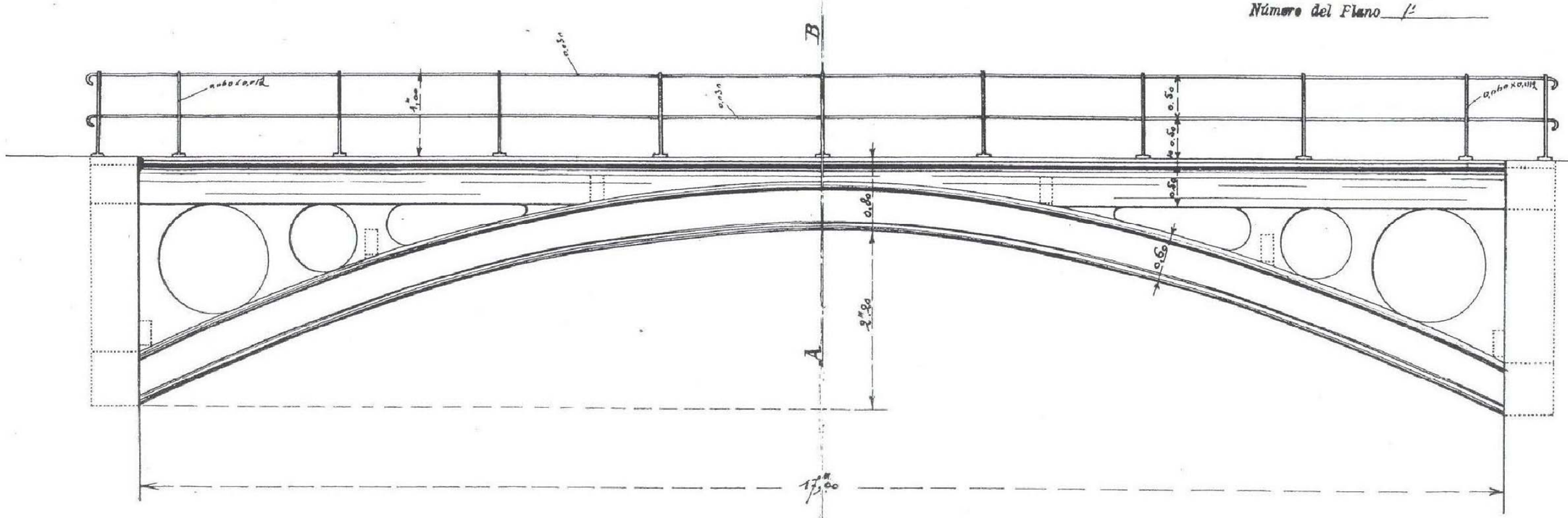
Puente de Ganzo

Alzado.

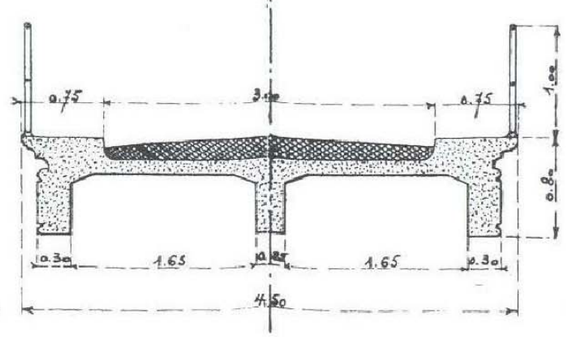
COMPAÑIA ANONIMA
DEL HORMIGON ARMADO
SESTAO-BILBAO

ESPECIALIDAD DE OBRAS
DE CEMENTO Y DE HORMIGÓN ARM.

Número del Estudio 317
Número del Plano 1º



Corte por AB



Escala 1/50

Sestao-Bilbao 27 de Noviembre 1902

E. B. [illegible]

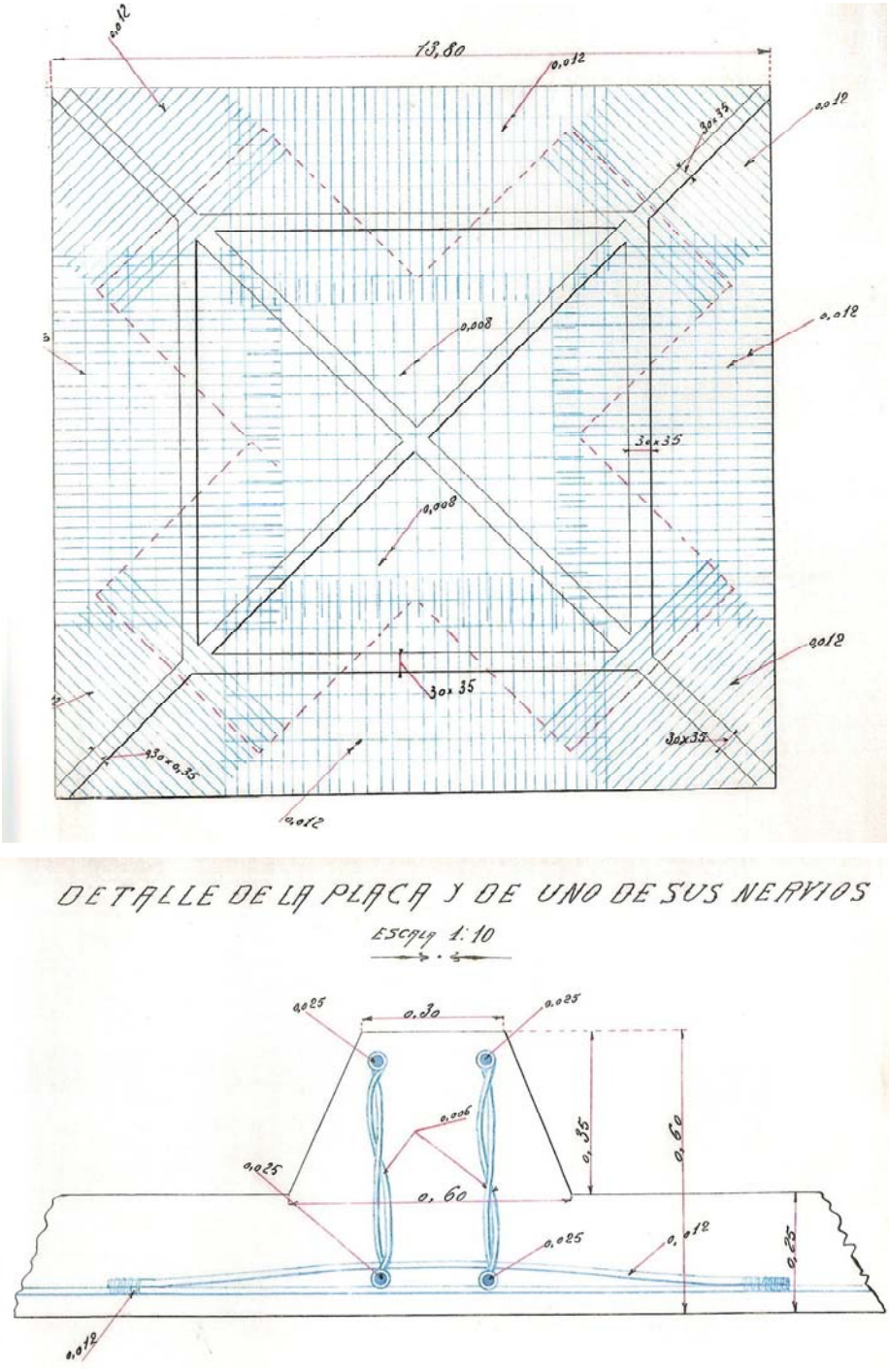


Figura 112. Proyecto de placa de cimentación para el monumento de Cristóbal Colón en Valladolid. 1903 Compañía Anónima del hormigón armado de Sestao. Archivo Municipal de Valladolid.

Por esas fechas la *Compañía de Sestao* volvería a pujar por la adjudicación de un proyecto de envergadura, el Sifón del Sosa. En vano presentaría hasta cuatro proposiciones al concurso, en el que de nuevo resultó adjudicataria la empresa de Ribera. La reiterada preferencia de la Administración por este último empezaba a levantar suspicacias, llegando a afirmarse en la prensa técnica que *"después del resultado de este concurso, pueden ahorrarse la molestia de presentarse a otros análogos gran número de sociedades constructoras"*[256].

Lógicamente decepcionados, los responsables de la Compañía recelarían de otros concursos convocados por la alta Administración. Así, ante la convocatoria que el Ayuntamiento de Madrid celebró en octubre de 1904 el para regular el empleo del hormigón armado en las obras municipales[257], Grimal manifestaba que *"no está suficientemente determinado el objeto de dicho concurso, faltando datos muy esenciales para que la Compañía que represento pueda acudir al llamamiento y poner sus patentes y medios de construcción frente a los de otros competidores"*[258].

Sin embargo, su empeño en convertirse en una gran empresa a escala nacional no tardaría en dar frutos. A mediados de la década ya había desarrollado una infraestructura técnica y empresarial que le ponía en condiciones de disputar a Ribera el liderazgo de la construcción con hormigón armado en España.

En 1905 amplió espectacularmente su cartera de pedidos, destacando entre sus principales clientes algunas de las más importantes compañías ferroviarias. Por ejemplo, para la *MZA* construyó la cubierta del edificio de viajeros de la estación de Cartagena[259]. Para la estación de Granada, de la compañía de *Caminos de Hierro del Sur de España,* presentaría un proyecto similar[260].

De la *Compañía* del *Ferrocarril Vasco Asturiano* recibiría un original encargo: las escaleras y una pasarela en la Estación de Oviedo[261].

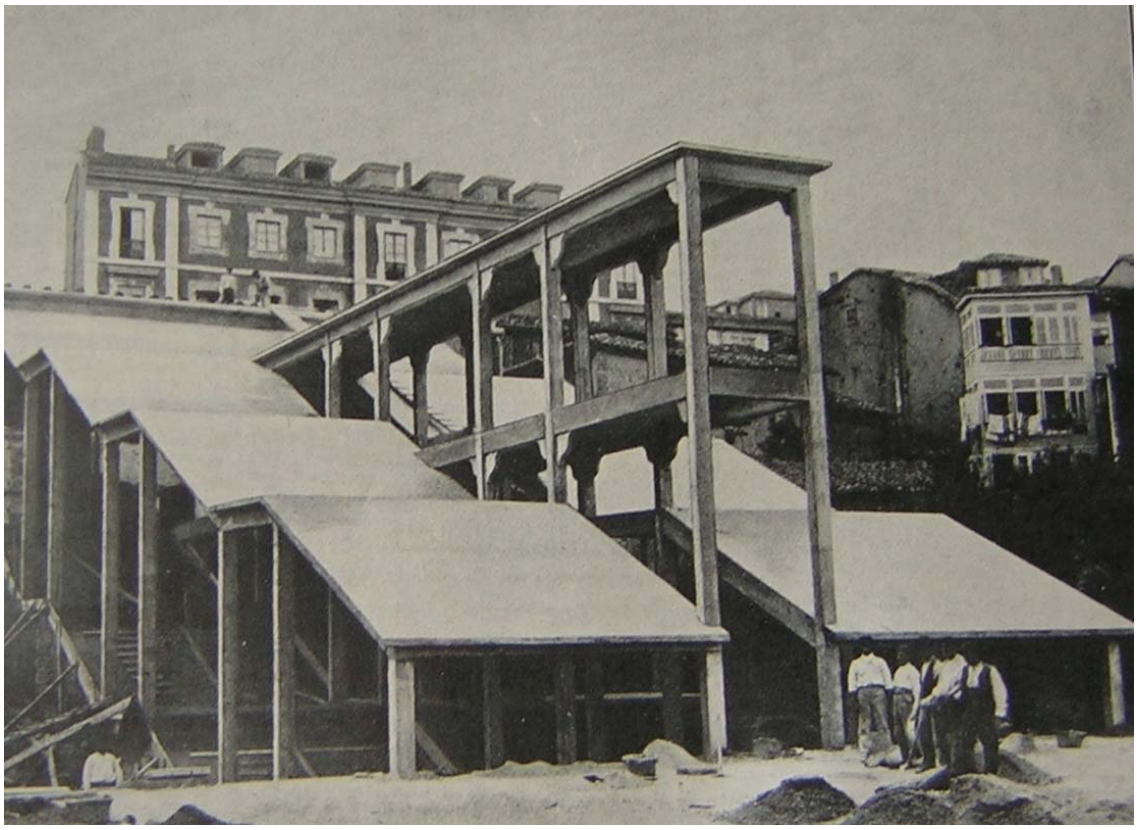


Figura 113. Escaleras y pasarela en la estación de Oviedo (Ferrocarril Vasco Asturiano). 1906. Compañía Anónima del Hormigón Armado de Sestao. En *El Hormigón Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid

También construiría para la misma compañía los depósitos de agua de Ablaña y Figueredo, ambos elevados y de sesenta metros cúbicos de capacidad[262].

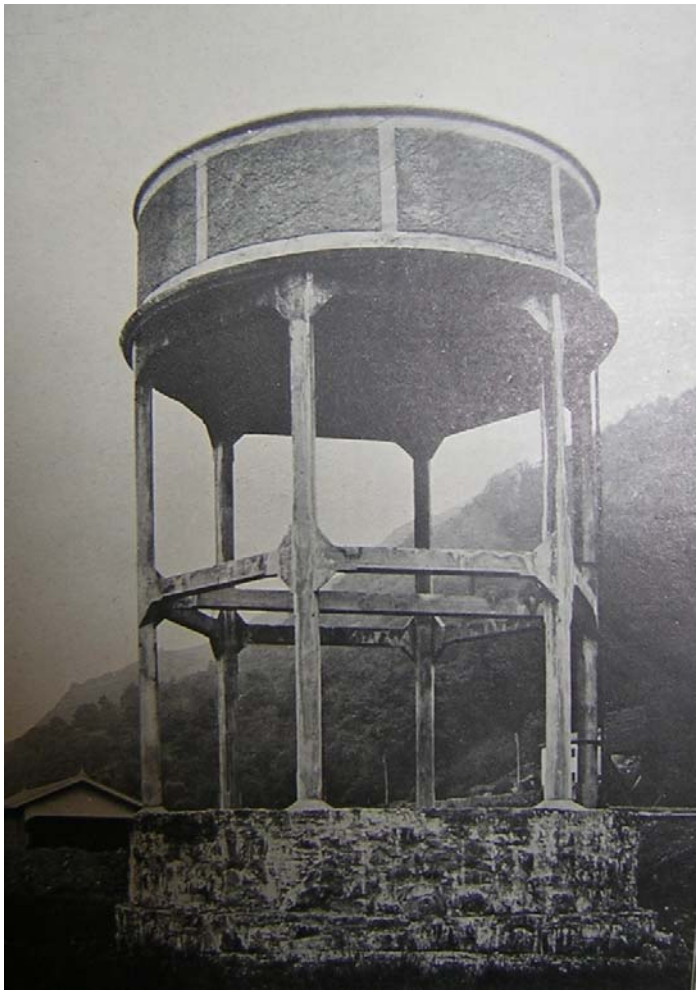


Figura 114. Depósito elevado de Figueredo, para el Ferrocarril Vasco Asturiano. 1905. Compañía Anónima del Hormigón Armado de Sestao. En *El Hormigón Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid

Para la *Cooperativa Eléctrica de Bilbao* construyó otro depósito similar de cincuenta metros cúbicos de capacidad. Se elevaba doce metros sobre el suelo mediante cuatro pilares de sección cuadrada apoyados en zapatas, construidas también con hormigón armado[263].

A finales de 1905 se le adjudicó, mediante concurso público, la construcción de la Casa para los servicios en la Barra del Puerto de Huelva. Se trataba de una edificación de dos plantas y un torreón, que incluía, además de una vivienda para el vigía y su familiar, un observatorio, una oficina y estancias para alojar al personal encargado de los sondeos de la canal de la Barra. Tanto su estructura como la cimentación, a base de pilotes, se construyeron con hormigón armado[264].

Mientras tanto, en Bilbao mantenía una fructífera relación con el arquitecto Ricardo Bastida, que se plasmaría en importantes encargos como las fachadas de las nuevas escuelas municipales[265], hechas con piedra artificial, otro de los productos señalados de la Compañía de Sestao.

Por encargo del Ayuntamiento de Bilbao, y también según proyecto del arquitecto Bastida, también construiría la Compañía el nuevo Lavadero Modelo de la Alameda de San Mamés. Se trataba e un edificio de dos plantas, la baja ocupada por las pilas de lavado y la alta destinada a secadero. Sus pisos y terraza fueron construidos con hormigón armado, así como un arco central y las marquesinas de la fachada[266].



Figura 115. Lavadero Modelo. Alameda de San Mamés, Bilbao. 1906. Ricardo Bastida, arquitecto. Construido por la Compañía del Hormigón Armado de Sestao. En *El Hormigón Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Pero sin duda la obra más importante en la que colaboraron el arquitecto Bastida y la Compañía de Sestao fue la Alhóndiga Central de Bilbao. Aunque esta obra había sido en 1901 encargada a Domingo Fort, concesionario de Hennebique, debieron de presentarse dificultades que impidieron su ejecución. De este modo, en febrero de 1906 se sacaron a subasta las obras, resultando adjudicataria la Compañía de Sestao[267].

El edificio, que ocuparía un solar de ocho mil ochocientos metros cuadrados, se distribuía en una planta sótano y tres sobre rasante, con una cubierta plana. Según las bases del concurso la estructura debía ser de hormigón armado, apoyada sobre una cimentación superficial mediante zapatas. Los cerramientos, no portantes, se harían con sillería, ladrillo y piedra artificial. Así que bien podía decir la Compañía, con justificado orgullo, que la Alhóndiga "*constituye hoy en día en España la aplicación más importante para almacenes destinados a mercancías y que hacen necesarios pisos capaces de resistir grandes cargas*"[268].

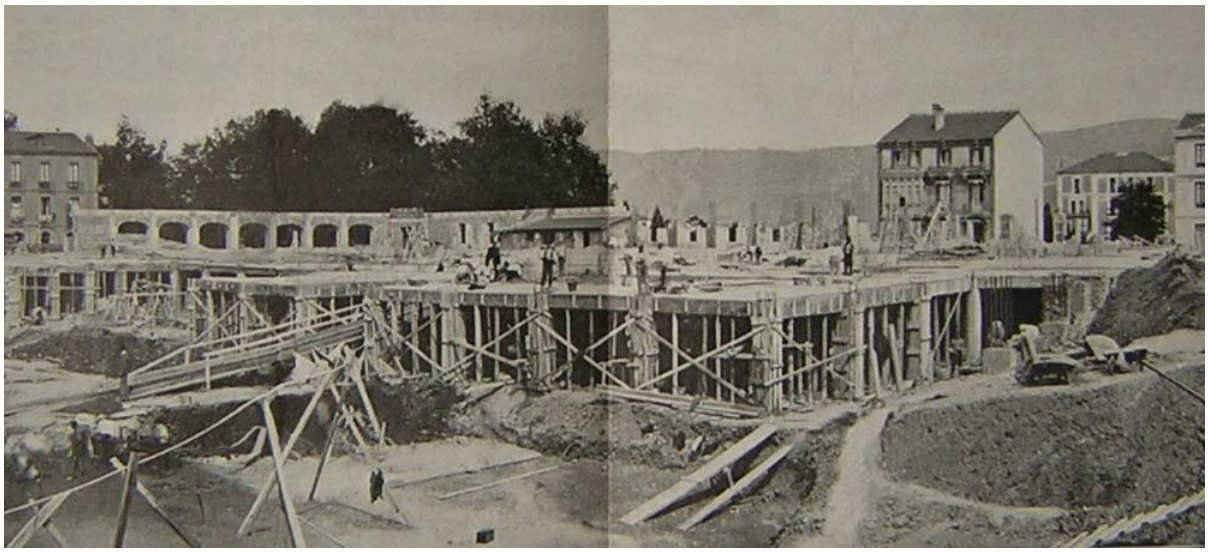


Figura 116. Construcción de la Alhóndiga Central de Bilbao. Estado de la obra en 1907. Ricardo Bastida, arquitecto. Compañía del Hormigón Armado de Sestao. En *El Hormigón Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

La ejecución de tan importante obra conllevaría no pocos problemas, que pondrían a prueba su capacidad técnica y constructiva. El más trascendente fue que el terreno de cimentación era muy heterogéneo, encontrándose zonas con una resistencia muy inferior a la considerada en proyecto. Los ingenieros de la Compañía, bajo la personal dirección de Enrique Colás, propusieron para esas zonas una solución a base de pilotes de hormigón armado de cinco metros de profundidad, manteniendo las placas de cimentación allí donde el terreno tenía suficiente capacidad portante.



Figura 117. Hinca de pilotes en las obras de la Alhóndiga Central de Bilbao. 1907. Compañía del Hormigón Armado de Sestao. En *El Hormigón Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Otras obras importantes de edificación industrial realizadas en esos años fueron la cubierta para la cubierta de un almacén para la Papelera Española en Rentería (cuyas pruebas de resistencia verificó Enrique Colás en agosto de 1906 [269]), la sala de hornos de la fábrica de ladrillo "La Progresiva Castellana" de Valladolid. En Granada se colocaron un importante número de postes para las líneas de la Sociedad de Tranvías Eléctricos[270.]

Por entonces se llevó a cabo una importante reestructuración de la compañía, que se fusionó con la empresa matriz, la *Societé Générale des Ciments Portland de Sestao*[271]. Tras la absorción, el capital de alcanzaba los dos millones de francos. El volumen de negocio era ciertamente importante, con una facturación de 1.956.955 francos en el ejercicio de 1907[272]. La dirección general y el despacho técnico se mantenían en Sestao, pero se abrió una oficina técnica en Madrid, a cargo del ingeniero de caminos Fernando Govantes. Contaba, además, con quince concesionarios y agentes repartidos por casi toda la geografía nacional, como los arquitectos Narciso Clavería en Madrid o Juan Jordana en Granada, el ingeniero industrial Manuel Somoza en Cáceres o el contratista Antonio Velasco en Valencia.

La Compañía de Sestao había alcanzado una especial capacitación en el ámbito de la arquitectura residencial e industrial, pudiendo ofrecer a los arquitectos la realización de prácticamente todas las partes del edificio, desde la cimentación y estructura hasta los cerramientos, ornamentación y cubiertas.

Este potencial le permitiría acometer encargos tan importantes como las obras de la nueva factoría de La Cristalera Española (filial de la empresa francesa Saint Gobain) en Arija, provincia de Burgos, donde había que partir desde cero para construir un implantar un amplio conjunto de edificios e instalaciones en la hasta entonces despoblada llanura de la Virga.

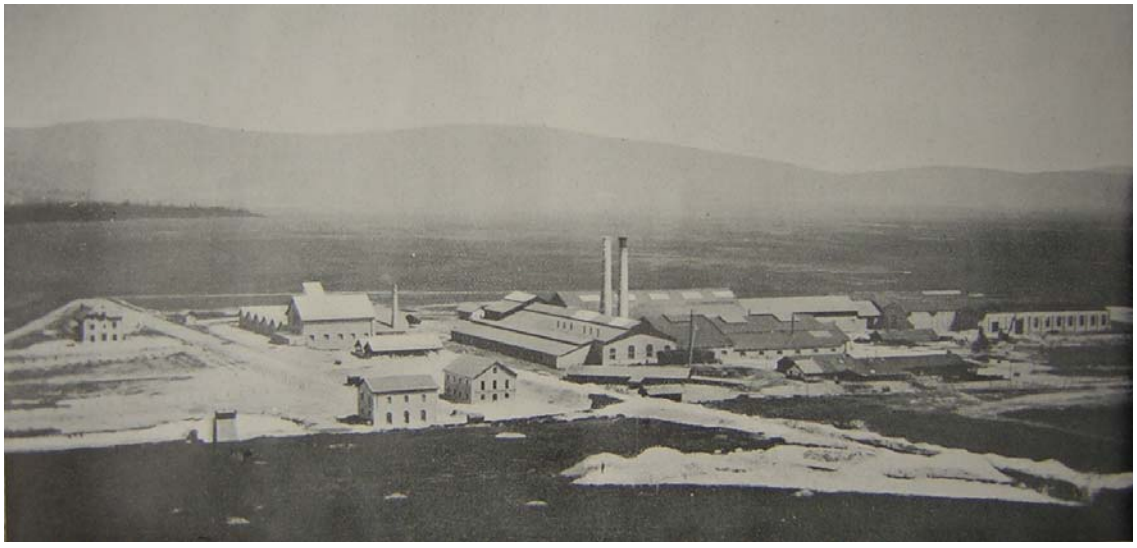


Figura 118. Factoría de la Papelera Española en Arija (Burgos).1907.Construida por la Société des Ciments Portland de Sestao. En *El Hormigón Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Desde mediados de 1906 hasta finales de 1907 la Compañía levantó la fábrica y diversos almacenes y otros edificios industriales, amén de varias obras especiales, como “un horno para cocimiento de piezas refractarias, mil quinientos metros de tuberías de saneamiento, cinco pozos sépticos, un depósito elevado de cien metros cúbicos de capacidad y tres chimeneas de veintitrés, cuarenta y seis y cincuenta metros de altura, respectivamente.

La construcción de esta factoría conllevó además formidables trabajos de ingeniería civil. Se tuvieron que mover del orden de cincuenta mil metros cúbicos de tierras, habilitar caminos y crear un ramal de la línea de ferrocarril de Bilbao a La Robla, cuyo apeadero terminal se apoyaba sobre una placa de cimentación de hormigón armado para siete vías, teniendo que soportar cada rail sesenta mil kilogramos.

Complicada fue también la cimentación del taller de desbaste y pulimento, que hubo que realizar a diez metros de profundidad en un terreno arenoso[273].

Aparte de las instalaciones industriales, tuvieron que construirse edificios de viviendas para los obreros y el personal de la fábrica. Los directivos dispondrían de hasta cuatro chalets con estructura de hormigón armado y fachadas de piedra artificial.

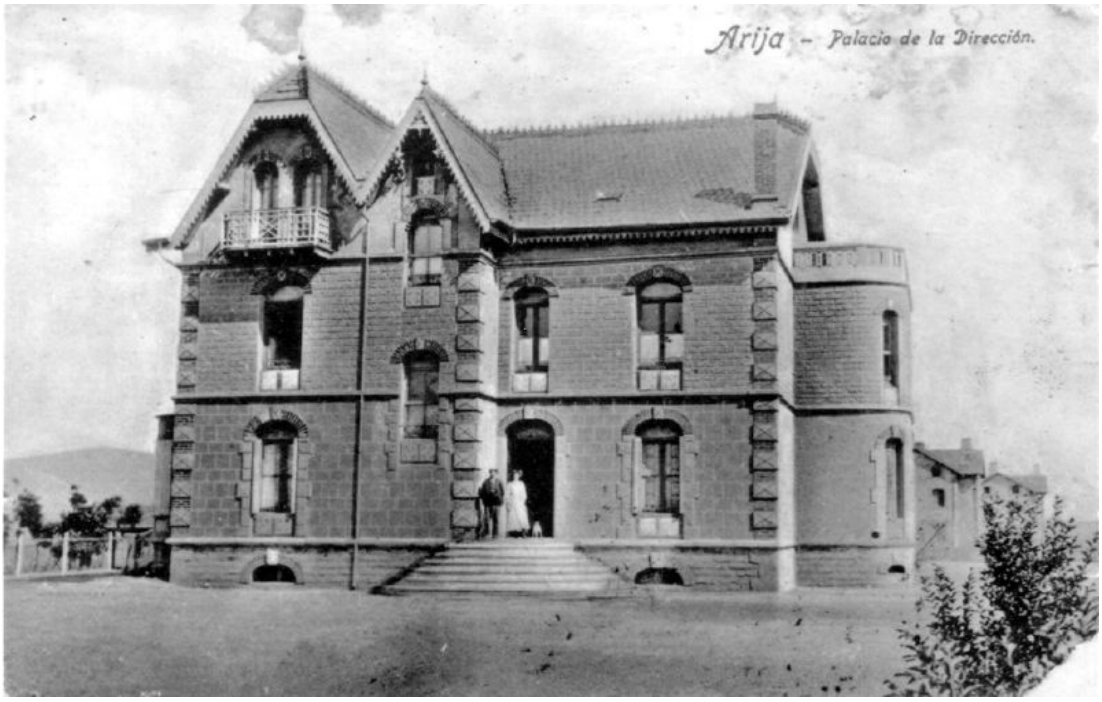


Figura 119. Chalet para directivos de la factoría de la *Cristalera Española* en Arija (Burgos). 1907. Construido por la Société des Ciments Portland de Sestao.

La culminación de sus trabajos en el ámbito de la arquitectura fueron dos actuaciones muy originales que se llevaron a cabo entre 1907 y 1908. El primero de estos hitos fue la nueva iglesia y el monasterio de Viaceli en Cóbreces (Cantabria). De tendencia historicista tan habitual en la época, la iglesia combinaba elementos de hormigón armado con fábricas de mampostería y sillería. El monasterio se componía de diversas dependencias (hospedería, noviciado,..) además de un claustro también de de inspiración historicista. Las obras se

desarrollaron según proyecto del arquitecto catalán Salvador Oller, aunque la Dirección Facultativa corrió a cargo del el también arquitecto Federico de Ugalde[274] por el fallecimiento de aquel. Ugalde ya estaba familiarizado con el hormigón armado, pues había intervenido algunos años atrás en la construcción de la fábrica Ceres[275].

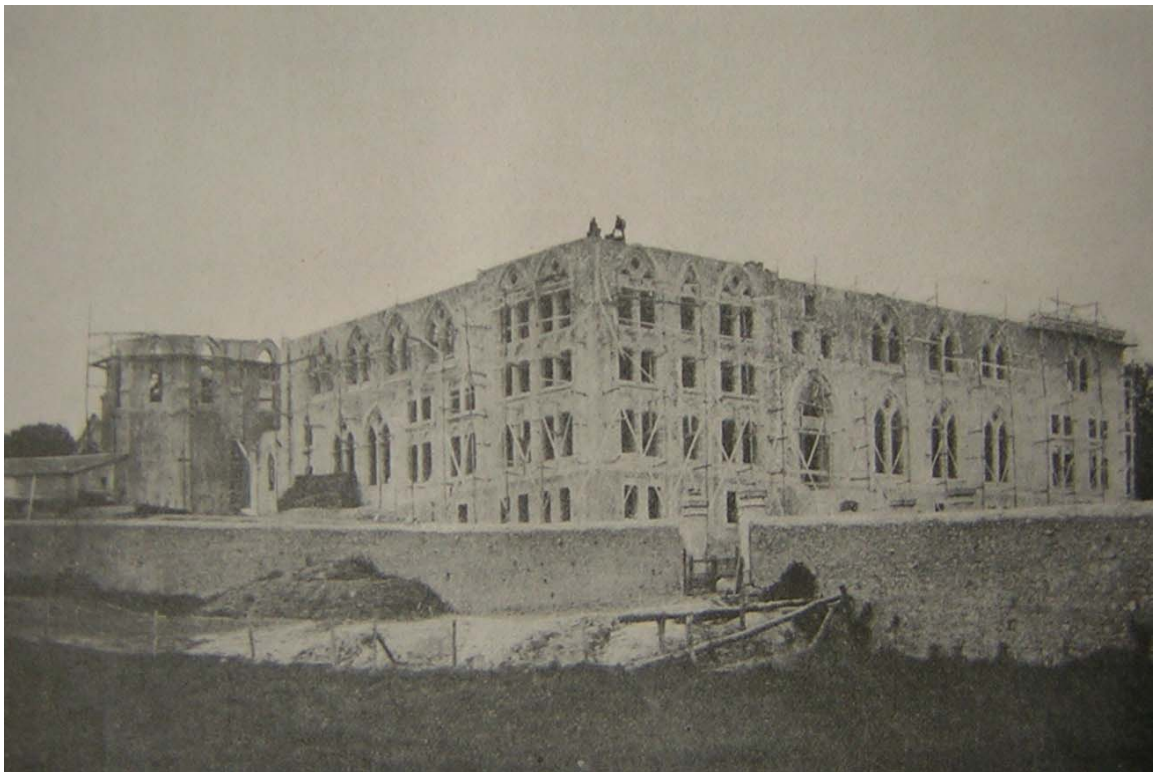


Figura 120. Obras de construcción del Monasterio de Viaceli en Cóbreces (Cantabria). 1907. Salvador Oller y Federico Ugalde, arquitectos. Construido por la Société des Ciments Portland de Sestao. En *El Hormigón Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

La otra gran realización de estos años (y quizás la más relevante en toda la trayectoria de la Compañía de Sestao) fue la Estación de los Ferrocarriles de la Costa, en Santander. Imbuido en el estilo de los pabellones de la Exposición Universal de París de 1900, el arquitecto Severino Achúcarro la diseñó en un estilo ecléctico que conjugaba elementos modernos y tradicionales[276]. Condicionado por el limitado espacio disponible, el edificio de viajeros, de planta cuadrada, se situaba en el extremo de las vías. Desde él arrancaban dos andenes, que desarrollaban toda su longitud a lo largo de las vías. Estructuralmente se resolvía con muros de carga de piedra artificial sobre una losa de cimentación de hormigón armado[277].



Figura 121. Estación de los Ferrocarriles de la Costa. Santander, 1908. Severino Achúcarro, arquitecto. Construida por la Société des Ciments Portland de Sestao

En lo que se refiere a las construcciones de ingeniería civil, a partir de 1905 la compañía de Sestao iba a experimentar una progresión significativa. Inicialmente, no cabe duda de que su condición de empresa nominalmente extranjera le había perjudicado en los grandes concursos. Tampoco le había favorecido, por otra parte, su enfrentamiento con Ribera, uno de los técnicos más reconocidos del momento. La presencia de otro ingeniero de caminos, Enrique Colas, al frente de la empresa contribuiría a superar poco a poco estas dificultades, cobrando un especial protagonismo en el campo de las obras públicas en los años finales de la década.

Entre los trabajos más señalados destacan, de partida, las obras portuarias. Para el Estado la Compañía ejecutó obras importantes en los puertos de Motrico y Zumaya; en concreto, en este último a principios de 1907 se realizaban *los preparativos necesarios para los dragados y la cimentación del muro del muelle*[278]

En el puerto de Santander, construyó una palizada para los muelles de embarque de la Fábrica de Hierro Sociedad Nueva Montaña. Se hizo a base de pilotes de hormigón armado de diez metros de profundidad. En total se hincaron, mediante un martinete de vapor colocado en una barca, ciento veinte pilotes de sección cuadrada de treinta y cinco centímetros de lado. Para la factoría de esta misma empresa se construyeron también las cimentaciones de los altos hornos, una tubería de ochenta centímetros de diámetro, pisos y terrazas de las oficinas y un paso sobre el Ferrocarril del Norte[279].

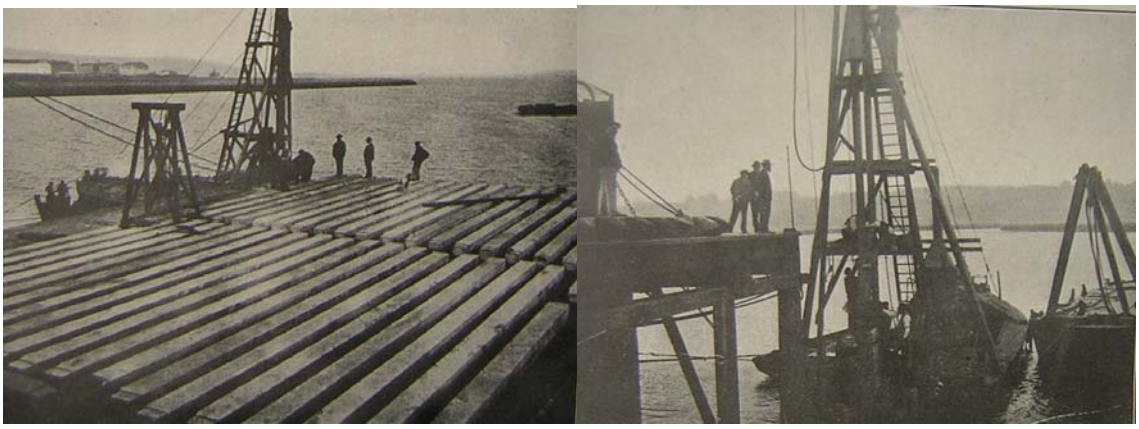


Figura 122. Hinca de pilotes en la palizada de la Sociedad Nueva Montaña del puerto de Santander. Izquierda, los pilotes preparados sobre el muelle; derecha, hinca de uno de lo pilotes. 1907. Compañía del Hormigón Armado de Sestao. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

A partir de 1905, la Compañía también fueron notables los progresos en la construcción de puentes. En ese mismo año se construiría el puente sobre el río Boeza en Bembibre (León), perteneciente a la carretera de tercer orden que uniría esa localidad con su estación de ferrcarril.



Figura 123. Puente sobre el río Boeza en Bembibre (León). 1905. Compañía del Hormigón Armado de Sestao. En *El Hormigón Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid

Estaba formado por tres tramos rectos de trece metros de luz, apoyados sobre pilas de mampostería. En la elección de esta solución de hormigón armado sin duda tendría una intervención decisiva Manuel Diz Bercédoniz como ingeniero jefe de la provincia. Firme partidario del hormigón armado, ya lo había adoptado en 1902 para su proyecto de ensanche y reforma del puente de Villafranca del Bierzo en la carretera de La Coruña, con ocasión de cuya construcción manifestaba que *"en muchas obras de esta provincia pensamos emplear este mismo sistema, y hemos de obtener, sin duda alguna, tan buenos resultados como en el caso*

presente. No vacilamos en proponerlo como solución general en la mayor parte de los casos, en la seguridad de que han de conseguirse notables economías"[280].Diz Bercédoniz estuvo presente en las pruebas de recepción del puente de Bembibre, que tuvieron lugar el doce de febrero de 1906[281].

Siguiendo en la provincia de León, al de Bembibre sucedería otro puente de mayor entidad, el del río Cea en Villaverde de Arcayos, para la carretera de Sahagún a las Arriendas. Se trataba de un arco de veinte metros de luz, constituido por tres nervios de sección cuadrada de medio metro de lado, empotrados en los estribos y unidos entre sí mediante un forjado en curva de veinte centímetros de espesor. El tablero, superior, se apoyaba en el arco por medio de seis pilares unidos entre sí por tabiques[282].



Figura 124. Puente sobre el río Cea en Villaverde de Arcayos (León). 1906. Compañía del Hormigón Armado de Sestao. En *El Hormigón Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Mucha más entidad tendría el puente sobre el río Ebro para la carretera de Calahorra a la localidad navarra de San Adrián, un proyecto de 1906 (aunque no se terminaría hasta 1909). Ante las suspicacias que todavía levantaba el hormigón armado, su autor, el ingeniero de caminos Enrique Colás[283], tendría que esgrimir buenas razones para justificar su adopción, y así argumentaría que *"no podía pensarse en construir un puente de mampostería y sillería porque las canteras más próximas están situadas a más de veinticinco kilómetros de la obra y la piedra no es muy a propósito; tampoco se podrá pensar en un puente de hierro, no sólo por su elevado coste de construcción, sino por lo difícil y costoso de la conservación y en cambio en el mismo río y en el mismo sitio de la obra se tienen los materiales indispensables para el hormigón, la arena y la gravilla, y estos de una calidad excelente*[…] *Por si esto no fuera razón suficiente para poder adoptar el moderno material de construcción para la construcción de este puente hay otra indudablemente de gran peso y es que por la naturaleza del terreno será necesario hacer una cimentación sobre pilotes y claro es que desechados ya casi por completo los de madera, estos deben hacerse de hormigón armado y para enlazar estos cimientos y dar*

a toda la obra una solidaridad y una unión prácticamente absolutos no hay más remedio que recurrir al hormigón armado con cuyo material se puede conseguir un verdadero monolito"[284].

En el emplazamiento del puente el río tenía una anchura que salvar de unos ciento treinta metros. Tras estudiar varios puentes de dimensiones análogas construidos en el extranjero (principalmente el de Soissons, en Francia), Colás lo resolvió con cuatro arcos escarzanos de de treinta y tres metros de luz, rebajados al diez por ciento.



Figura 125. Puente sobre el río Ebro para la carretera de Calahorra a San Adrián (Navarra). 1909. Enrique Colás, ingeniero de caminos. En Ribera, *Puentes de fábrica y de hormigón armado.* Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Buscando el monolitismo se decidió por dejar los arcos empotrados en los estribos y en las pilas, quedando las armaduras enlazadas mediante unas trenzas de celosía características, como el resto de las armaduras del puente, del sistema Blanc.

El tablero, una losa armada de quince centímetros de espesor, se apoyaba sobre los arcos por medio de cuatro vigas transversales, sostenidas a su vez en la clave y en seis montantes de sección rectangular.

Para el viaducto de la isla de la Toja, en cambio, se optó por una solución de tramos rectos de cinco metros de luz sobre palizadas de hormigón armado. Sus barandillas se hicieron con hormigón moldeado[285]. Las obras se llevaron a cabo entre 1908 y 1910, bajo la dirección del ingeniero de obras públicas bilbaíno Victoriano Lizundia[286].



Figura 126. Viaducto de la isla de La Toja. (Pontevedra).1908-1910. Compañía del Hormigón Armado de Sestao.

En 1907 la Compañía de Sestao ganó el concurso convocado por la Diputación de Navarra para la construcción de un puente sobre el río Irati en Liédena. El proyecto, hecho por Enrique Colás, presentaba una solución a base de dos arcos de treinta metros de luz, empotrados en los estribos. Durante su construcción, una crecida extraordinaria del río destruyó las cimbras de los arcos, que habían sido hormigonados cuatro días antes. El puente aguantó este descimbramiento brusco sin el más ligero deterioro[287].



Figura 127. Puente de Liédena (Navarra) sobre el río Irati. 1908. Enrique Colás, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

En constante crecimiento, la Compañía de Sestao vivió sus mejores momentos entre 1905 y 1909. A partir de ese año entraría, como todas las firmas pioneras del hormigón armado, en un prolongado declive, para el que se buscaban explicaciones circunstanciales, como la guerra de Melilla[288]. Lo cierto es que la técnica del hormigón armado ya tenía una sólida base teórica y reglamentaria. Superada la etapa de empirismo, la época de las patentes iba a quedar atrás definitivamente. Se iba a abrir paso una nueva generación de técnicos, formados en la materia y con una potente base teórica, que eran capaces de diseñar sus construcciones sin tener que apoyarse en ninguna patente. Al mismo tiempo, surgieron nuevas empresas adaptadas a esta realidad, que en la década siguiente iban a acaparar todo el protagonismo de la construcción con hormigón armado en España.

Enrique Colás ya percibía el cambio en 1909, en un artículo publicado en *La Construcción Moderna*: *"Entró, pues el hormigón armado en el dominio de la práctica guiado por los constructores y haciendo una brillante aparición; ya le ha recogido la ciencia con entusiasmo para hacerle crecer y progresar y ahora todos juntos, teóricos y prácticos, con el mismo deseo y con la misma fe […]han de conseguir el hacer obras que antes se consideraban imposibles, y los grandes saltos de agua con tuberías de gran diámetro, los puentes de ferrocarril y de carreteras que cruzan los grandes ríos, los colosales edificios que la industria moderna necesita, las casas que habitamos, los sitios de cultura y esparcimiento […], todos podrán hacerse con hormigón armado sin que nadie sospeche de su resistencia, sin que nadie tema ni catástrofes ni desgracias como no lo teme en los demás materiales, y todo ello será debido a que se sabrá que han desaparecido las fórmulas empíricas, y que ya no son los prácticos los que proyectan, sino que a estos se les ha dejado la no menos difícil labor de construir y construir bien, y que las obras se calculan por fórmulas científicas basadas en teorías exactas y comprobadas por la experiencia"*[289]

Las referencias a las realizaciones de la Compañía en la prensa especializada, tan frecuentes en el quinquenio anterior, desaparecen casi por completo a partir de 1910. No obstante, siguió trabajando con cierto vigor, presentando, por ejemplo, en mayo de ese mismo año, una proposición al concurso abierto por la Compañía de los ferrocarriles de Madrid a Cáceres y Portugal para la redacción y ejecución de paso superior de hormigón armado en el kilómetro 105 de la línea de Plasencia a Astorga. Esta proposición fue realizada por el ingeniero de caminos Cayetano Noguera[290].

También en 1910 el Ayuntamiento de Mieres solicitó a diversos constructores la redacción de un anteproyecto para la construcción de un puente sobre el río Caudal en las inmediaciones del pueblo de Ujo. Entre las diversas soluciones presentadas se decantó por la de la "*Société Génerale des Ciments Portland de Sestao, que propone un puente de hormigón armado con cuatro tramos de 16 mts de luz cada uno, dándole el ancho de 6 mts[…]el presupuesto del puente referido asciende a 70.000 pesetas*"[291]. No sería la única obra que la Compañía de Sestao llevaría a cabo en esa villa asturiana, tan adelantada en la utilización del

hormigón armado. En 1910 el Ayuntamiento aprobó el proyecto de construcción de dos puentes en su núcleo urbano, para salvar el río San Juan en las calles Ernesto Gilhou y Alejandro Pidal. Se trataba de dos tramos rectos sencillos, cuyo proyecto firmaba el ingeniero Carlos Ginovart. Costaron seis mil quinientas y cuatro mil trescientas pesetas, respectivamente. La Compañía de Sestao cedió al ayuntamiento a su encargado José Díaz durante la ejecución de la obra[292].

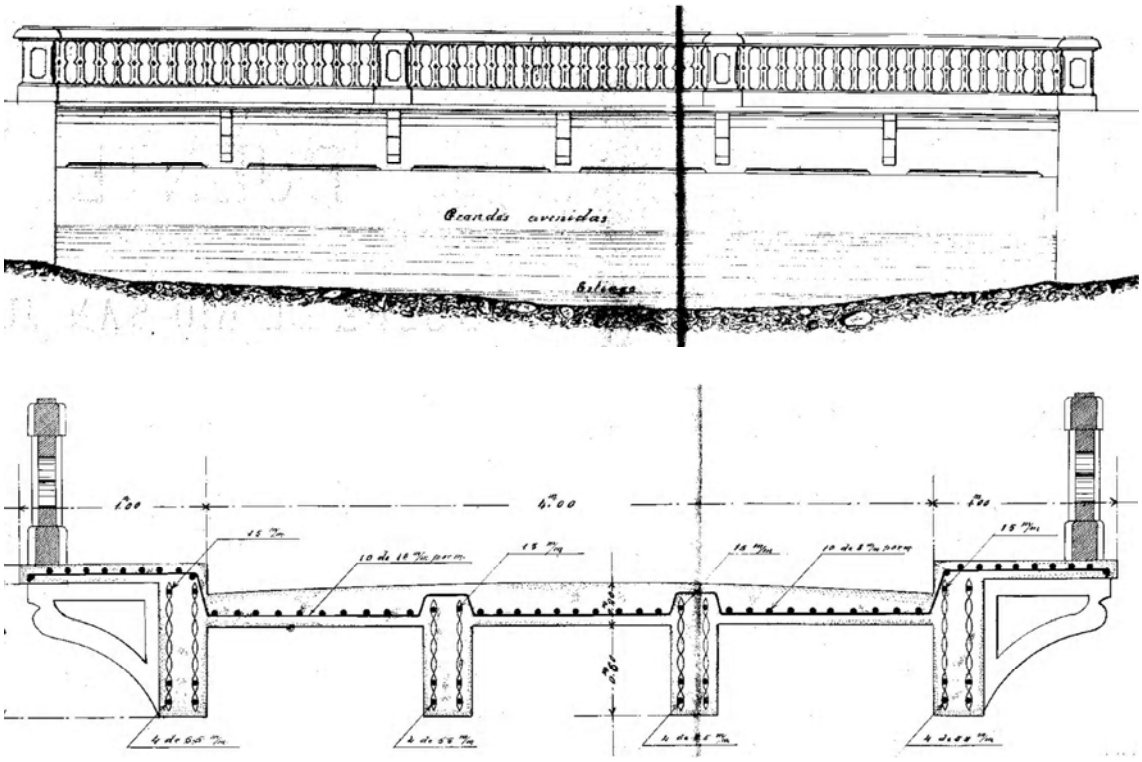


Figura 128. Puente sobre el río San Juan en la calle Ernesto Gilhou. Alzado y sección transversal. Mieres (Asturias), 1910. Carlos Ginovart, ingeniero. Construido por la Société Générale des Ciments Portland de Sestao. Archivo Municipal de Mieres.

Este proyecto lleva la firma de José Cadet, quien poco antes habría sustituido a Grimal como director general de la empresa.

En 1914 la Compañía de Ferrocarriles de Madrid a Cáceres y Portugal le encargó la construcción de un paso superior sobre la vía en Leganés, concretamente en el punto kilométrico 12,370 de la línea de Madrid a Cáceres. En el concurso para esta obra la Compañía de Sestao se impuso frente a otras tres proposiciones (Ribera, Mariano Luiña y Victoriano Lizundia)[293].

Dos años más tarde La Compañía de Sestao construiría toda la parte de hormigón armado para el nuevo teatro de la Comedia en Madrid. El proyecto era obra del arquitecto Luís Bellido. Las obras, que incluían todos los pilares, pisos, escaleras, armaduras de la cubierta y cielo raso de la sala se ejecutaron en dos meses y medio, con un coste de más de 400.000 pesetas[294].

Casi simultáneamente la Compañía de Sestao se haría cargo de la construcción de otro teatro madrileño, el Odeón, proyectado por el arquitecto Eduardo Sánchez Eznarriaga. Este edificio se hizo *"casi íntegramente de hormigón armado, siendo de dicho material todo el esqueleto, la totalidad de los entramados horizontales (cubierta y pisos) y los voladizos de los anfiteatros, escaleras, cúpula del torreón, tabiques de separación de palcos, etc"*. En febrero de 1917 tuvieron lugar las pruebas de resistencia, que fueron presenciadas, entre otros, por Eduardo Gallego Ramos y Enrique Colás. Los resultados fueron magníficos, estando siempre las deformaciones muy por debajo de los límites de seguridad[295]



Figura 129. Teatro Odeón. Madrid, 1917. Eduardo Sáchez Eznarriaga, arquitecto. Construido por la Société Générale des Ciments Portland de Sestao. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Otra de las grandes últimas obras de la Sociedad de Sestao también se llevó a cabo entre 1917 y 1918. Fue la construcción de la nueva plaza de toros de Sevilla, monumental edificación con capacidad para 23.000 espectadores. Se resolvió con una configuración estructural en la que los graderíos inclinados descansaban sobre pilares. Su inauguración estaba prevista para 1917, pero durante la realización de las pruebas de carga sufrió un accidente. En abril de 1918, una vez efectuadas las reparaciones, se procedió de nuevo a hacer los ensayos de resistencia bajo la supervisión de Juan Manuel de Zafra y de Carlos Gato, arquitecto y profesor de la Escuela Superior de Aquitectura. Esta vez la estructura se comportó de forma altamente satisfactoria, entrando en servicio la obra acto seguido[296].

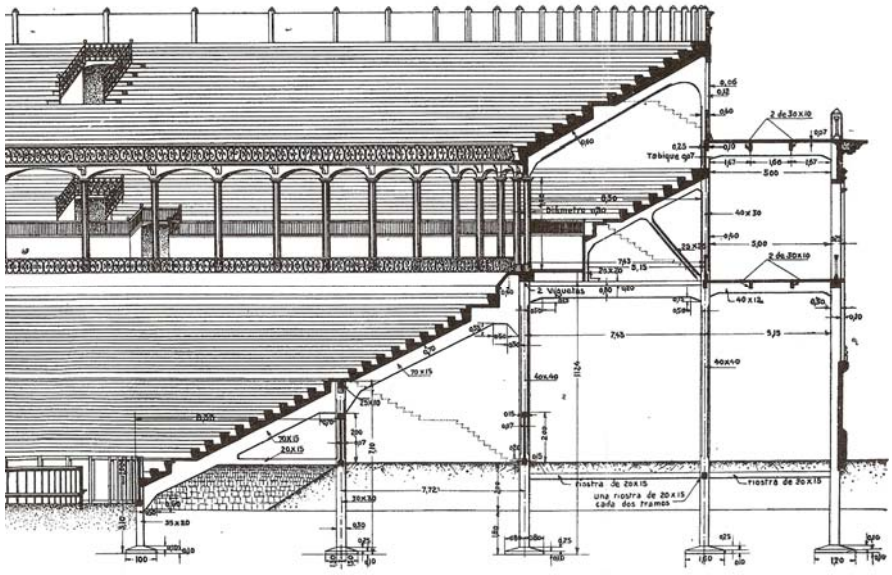


Figura 130. Plaza de Toros de Sevilla. Organización estructural. 1918. Construida por la Société Générale des Ciments Portland de Sestao. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Pero a pesar de estas importantes obras la Société Générale des Ciments Portland de Sestao fue paulatinamente abandonando la construcción, convirtiéndose la fabricación de cemento en su principal actividad productiva. Hasta 1921 se aprovecharía de la muy favorable coyuntura para la economía española, pero desde 1922 empezaron a reducirse sustancialmente sus ventas de cemento[297].

Un año después emprendería la construcción de la última de sus grandes estructuras, la del Monumental Cinema, según proyecto del arquitecto Anasagasti. De ella se hicieron cargo *"los notables ingenieros de la compañía Sres. Cadet, Cordovés y Gallego"*[298].

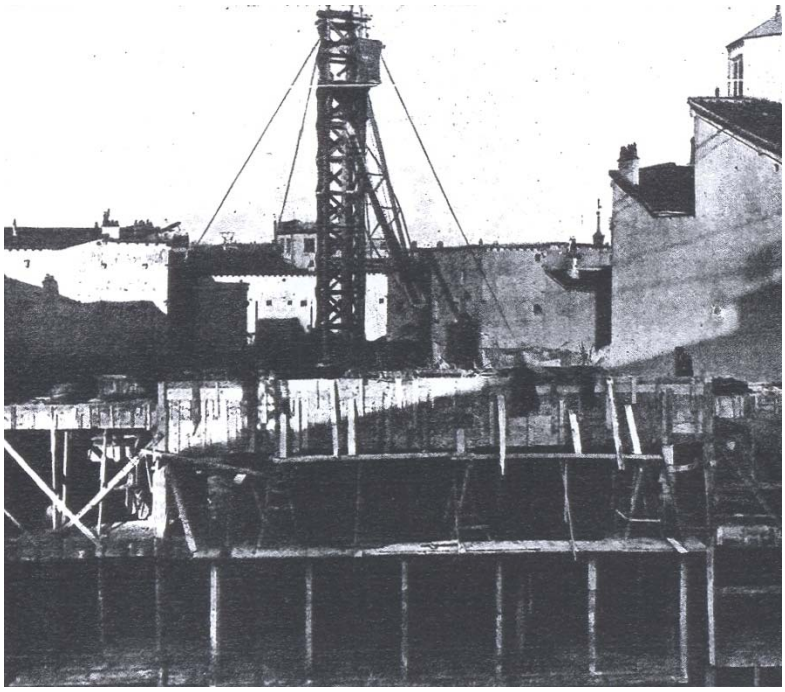


Figura 131. Construcción de la estructura del Monumental Cinema. Madrid, 1923 Anasagasti, arquitecto; Cadet, Cordovés y Gallego, ingenieros. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Por su parte, Enrique Colás continuó ejerciendo la profesión de forma independiente. Amigo de Juan Manuel de Zafra desde su juventud (eran compañeros de promoción[299]), colaboró con él en diversas actuaciones, como la comisión nombrada por el Ministerio de Fomento para "*proponer el formulario de proyectos de caminos vecinales, el pliego de condiciones de sus obras y la colección oficial de modelos de estas"*. Tras su disolución, en abril de 1912, ambos ingenieros recibieron una distinción honorífica[300].

En 1929, siendo profesor de la Escuela de Caminos, llevaría a cabo uno de sus últimos proyectos, el Puente sobre el río Tajo en Serradilla (Cáceres). En esta ocasión proyectó un puente formado con tramos rectos de hormigón armado, el central de treinta y dos metros de luz con una celosía tipo Howe (montantes estirados y diagonales comprimidas) y los dos laterales, de veinte metros de luz, de alma llena con un canto de ciento setenta centímetros. Las pilas y estribos se construían con mampostería de labra tosca y sillarejo.

Se adoptó esta solución *"no sólo por su menor costo, sino porque era más fácil evitar el peligro de los desperfectos que pudiera ocasionar, en el caso de arcos, un a rápida crecida, por la trabazón que hay que dar a las armaduras de acero en la unión con los apoyos, cosa que no ocurre en los tramos rectos, que se pueden construir con toda independencia aprovechando las épocas más propicias"*[301].



Figura 132. Puente sobre el río Tajo en Serradilla (Cáceres). 1929. Enrique Colás, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

7) Juan Manuel de Zafra.

Tanto en España como en el extranjero, los comienzos del hormigón armado estuvieron marcados por un fuerte empirismo. Hasta bien entrada la primera década del siglo XX no puede hablarse más que de *constructores*, a veces técnicos, a veces personas sin ninguna base teórica, que habían desarrollado unos procedimientos de construcción a partir de sus propias experiencias. En estos años se multiplicaron las construcciones de hormigón armado, a pesar de estar condicionadas por la existencia de patentes. Aunque atenuada en parte por sonados fracasos, el nuevo material iba a alcanzar una extraordinaria difusión en todos los ámbitos de la arquitectura y la ingeniería civil. De esta forma se propició el acercamiento de los *teóricos,* si se puede llamar así a los técnicos que formularon los principios racionales de su técnica de construcción, abriendo caminos a una nueva etapa en el desarrollo del nuevo material y superando la etapa inicial de las patentes. En nuestro país el principal responsable de esta evolución fue el ingeniero de caminos Juan Manuel de Zafra y Esteban (1869-1923).

Tras graduarse con el numero uno de su promoción, en 1892 Zafra, siguiendo la estela de su padre, empezó a trabajar en el puerto de Sevilla[302]. Allí empezaría a dar señales de su inteligencia y capacidad resolutiva, que le permitía aportar nuevas soluciones para los diferentes problemas que se le planteaban en el ejercicio de su profesión. Por ejemplo, en 1897 diseñó unas carretillas de mano especiales, de gran capacidad, ante "*la necesidad de efectuar un embarque importante de minerales de hierro de un modo provisional, ínterin se aprueba y ejecuta la instalación definitiva por medio de elevadores eléctricos*"[303]

Esta inquietud pronto le llevaría a interesarse por el hormigón armado, el nuevo material que con tanta fuerza venía abriéndose paso en el extranjero. Y aunque era la época álgida del empirismo y las patentes, Zafra siempre tuvo muy claro la base sobre la que había de apoyarse para desarrollarlo. *"En el puerto de Sevilla, donde estuve diez y seis años, desde que salí de la Escuela hasta que a ella volví de profesor, encontré ancho campo donde desarrollar mi afición a los problemas de Construcción y de Mecánica; allí empecé a estudiar teórica y prácticamente, a costa, en un principio, de trabajo, sinsabores y zozobras sin cuento, lo que más tarde me proporcionó honra y provecho y vino a polarizarme, por decirlo así, en mi carrera: el hormigón armado. Este maravilloso material constructivo, legado por el precedente siglo en forma tosca rutinaria, me sedujo desde el primer momento. Vi en él reunidas mis aficiones favoritas, la Mecánica y la Construcción, que estrechamente ligadas habían de producir fecundísima cosecha de obras grandes, nuevas, atrevidas,… Me lancé a construir y, aunque tímidas y modestísimas mis primeras obra, me enseñaron desde luego la apremiante necesidad de huir de la rutina que entonces imperaba, de tratar aquellos problemas de un modo más ingenieril, más científico*[304].

Así que, según confesión propia, venía estudiándolo desde 1898, construyendo sus primeras obras a partir de 1900[305]. No queda constancia de ellas; debieron ser construcciones

menores, con las que Zafra iría experimentando y madurando las cuatro patentes que registró en mayo de 1902.

En la primera de ellas presentaba un sistema de *placas bombeadas de hormigón armado*. La intención de Zafra era llevar a la práctica la teoría general de las superficies, establecida por el ingeniero francés Maurice Levy en 1899, para conseguir unas "*placas bombeadas construidas con hormigón armado y convenientemente ligadas, o mejor, soldadas con dos series de nervios en direcciones rectangulares",* las cuales constituían *"un cerramiento de grandísima ligereza y solidez, prácticamente indeformable en todos los sentidos"*. Como principales aplicaciones sugería *"la construcción de cubiertas o pisos de grandes edificios, depósitos, etc; la de muros de sostenimiento de tierras; y la de presas de embalse. En el primer caso las placas se construirán, por lo general, en su mismo emplazamiento; en los otros, en que deben quedar en posición vertical o inclinada, se moldearán previamente en un taller, dejando sobresalir de sus bordes la parte de esqueleto que penetra en los nervios y moldeando estos una vez presentadas las placas"*[306].

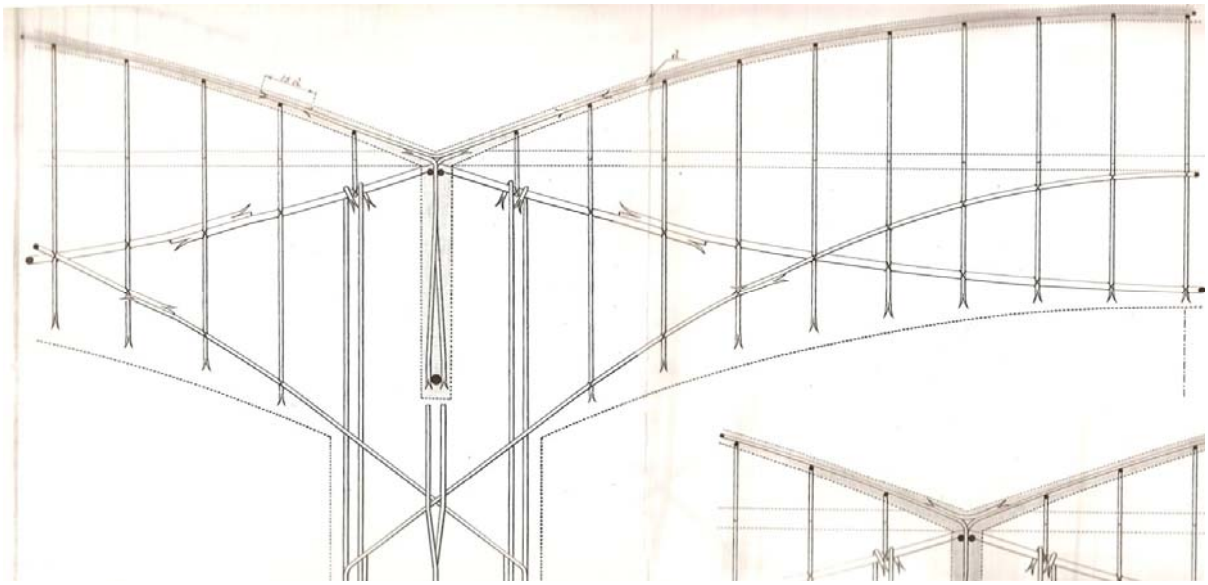


Figura 133. Sistema de placas bombeadas de hormigón armado, patentado por J.M. de Zafra. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

La segunda de las patentes era por un *sistema de piezas para trabajar por flexión*. Dejando sentado que este tipo de piezas (vigas, principalmente) necesitaban una armadura longitudinal para absorber los esfuerzos de flexión y una transversal para los cortantes, Zafra proponía distribuirlas racionalmente, *"del modo más en armonía con las condiciones efectivas en que la pieza ha de trabajar"*. Las barras longitudinales se alternaban o interrumpían en función de los momentos flectores, distintos según la pieza estuviera empotrada o simplemente apoyada. La armadura secundaria se formaba con *"horquillas en forma de V, hechas con fleje o pletina en general, algunas veces con alambre si las dimensiones necesarias son muy pequeñas"*, colocadas atendiendo la ley de esfuerzos cortantes[307].

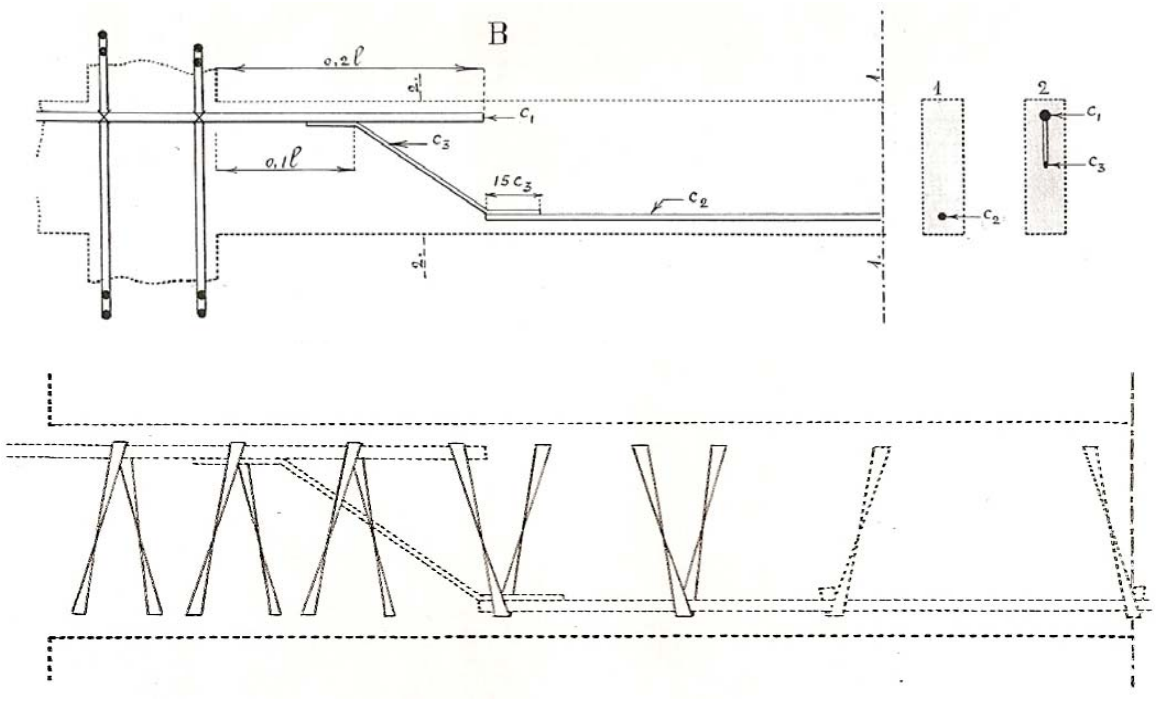


Figura 134. Sistema de piezas de hormigón armado para trabajar a flexión, patentado por J.M. de Zafra. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

En la tercera patente presentaba un sistema de vigas-suelos, como llamaba al *"conjunto de un suelo o forjado plano y de una serie de nervios o vigas, todo ello moldeado, formando una sola pieza, de hormigón con armadura metálica".* Se trataba de un sistema *"sumamente fácil de ejecutar a pesar de su aparente complicación",* que, junto con las vigas de la patente anterior, representaba una solución óptima para pisos o cubiertas de edificios. No obstante, Zafra propugnaba también su utilización para "*muros de sostenimiento, contención o embalse; paredes de depósitos de agua o de silos; cajones para cimentación; bloques artificiales, transportables por flotación para ser rellenados en su emplazamiento, etc"*[308]

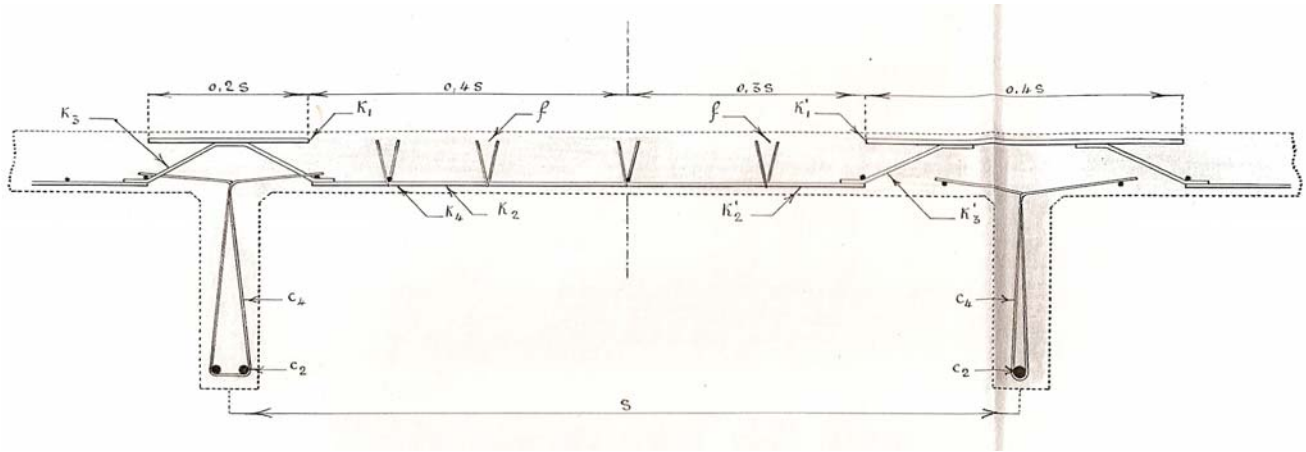


Figura 135. Sistema de vigas-suelos de hormigón armado, patentado por J.M. de Zafra. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

Por último, con su patente de *Piezas de hormigón armado para trabajar por compresión"* proponía una solución para los pilares de edificios, completando así un sistema integral de

construcción con hormigón armado "*nuevo y de propia invención"*, que previamente había llevado a la práctica en una casa del Puerto de Sevilla[309].

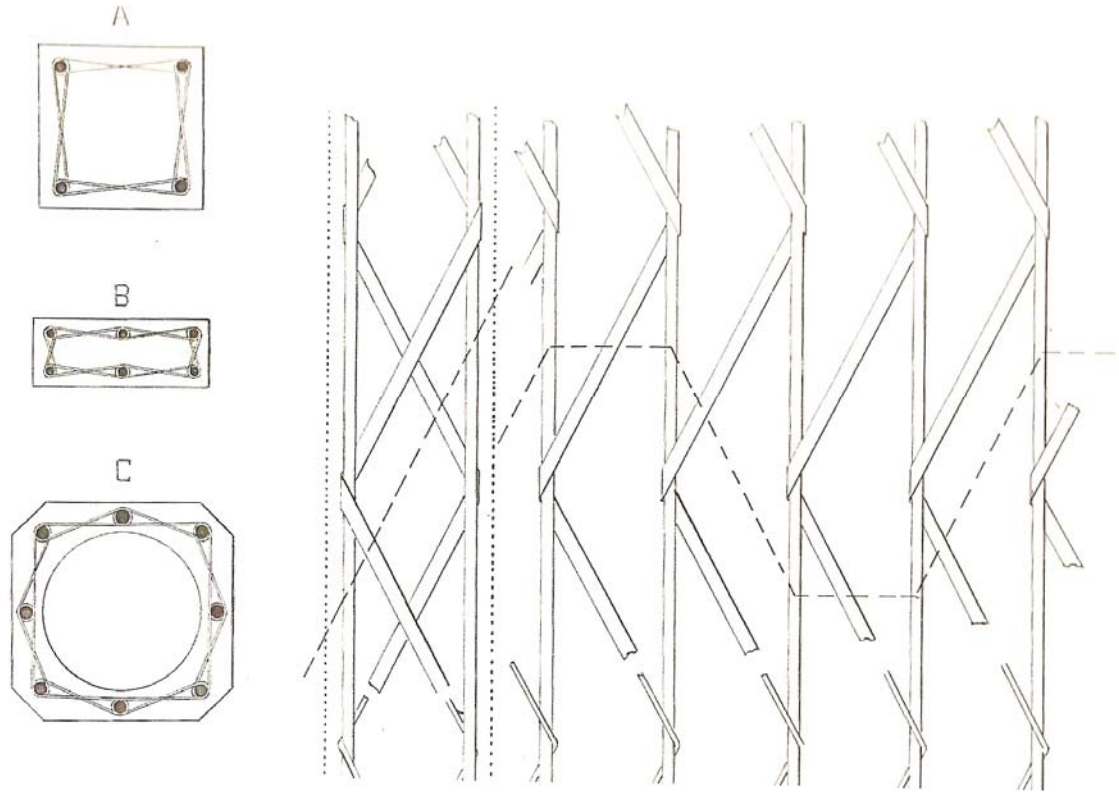


Figura 136. Sistema de piezas de hormigón armado para trabajar a compresión, patentado por J.M. de Zafra. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

A partir de un conocimiento profundo de la Resistencia de Materiales y de la Ciencia de las Estructuras, Zafra había sido capaz de desarrollar un sistema *científico* de construcción con hormigón armado. Se diferenciaba claramente, pues, de los demás procedimientos o patentes, cuya teoría, si es que la tenían, se había concebido para justificar un procedimiento de construcción en parte ya sancionado por la práctica.

En contrapartida, adolecía precisamente de aquello que les sobraba a los demás: realizaciones prácticas que avalaran su aptitud. No obstante, Zafra estaba tan seguro de su sistema que no le importó presentarse sin ellas al concurso de la cubierta del Tercer Depósito del Canal de Isabel II, la construcción de hormigón armado más importante de las licitadas hasta la fecha.

En la propuesta de Zafra, la inmensa cubierta se resolvía con placas bombeadas de perímetro rectangular plano de seis por cuatro metros, con espesor constante de cuatro centímetros, apoyadas sobre una cuadrícula de vigas de intradós parabólico y pilares de sección cruciforme[310].

Desde el punto de vista técnico, sin duda era la mejor de las catorce proposiciones que se presentaron al concurso, como reconocía José Inchaurrandieta, director del Canal, en su

informe final. Sin embargo, era algo más cara que la proposición de Ribera, que además ofrecía un plazo de ejecución más breve.

Al final el Consejo de Obras Públicas resolvió a favor de este último, a pesar de las dudas que suscitaba su cubierta sin arriostramientos transversales. En la balanza tuvo que pesar mucho la gran experiencia de Ribera, que ya llevaba varios años haciendo construcciones de hormigón armado por todo el país, y su gran prestigio entre los ingenieros. Desgraciadamente, el hundimiento de la cubierta en mayo de 1905 pondría de manifiesto que la mejor solución era la de Zafra, que con sus arriostramientos trasversales habría evitado el desastre.

A pesar de la lógica decepción, el resultado del concurso no desanimó a Zafra, que muy pronto encontraría la oportunidad de llevar a cabo una obra importante con su sistema de hormigón armado.

Desde 1901 el yacimiento de hierro de Cala, en el noreste de la provincia de Huelva, era explotado por la *Sociedad Anónima de Minas de Cala*, una compañía de empresarios vizcaínos decididos a impulsar el aprovechamiento de esta zona minera, conocida desde la Antigüedad. Para ello promovieron la construcción de una línea de ferrocarril que transportara el mineral desde el yacimiento hasta un embarcadero en el Guadalquivir, en San Juan de Aznalfarache, localidad muy cercana a Sevilla.

Entre 1902 y 1904 se construyeron los noventa y ocho kilómetros de esta línea de vía estrecha, que serviría no sólo para el transporte de minerales, sino también para desplazamiento de viajeros y otras mercancías[311].

La obra más importante de la línea era el embarcadero de San Juan de Aznalfarache, que inicialmente se pensaba construir con madera. Enterado Zafra, a la sazón responsable del puerto de Sevilla, de las intenciones de la compañía minera, les presentó una propuesta para hacerlo de hormigón armado.

Sin embargo, los promotores no encargaron directamente el proyecto a Zafra y también pidieron ofertas a las casas Hennebique, Ribera y Sestao. No obstante, al final se decidieron por la propuesta primitiva de Zafra, que resultó más favorable en coste y plazo de ejecución[312].

Su proyecto comprendía un viaducto de ciento diecisiete metros de longitud, un terraplén intermedio en curva, de ochenta y seis metros, un segundo viaducto de setenta y dos metros y el embarcadero propiamente dicho. Ambos viaductos tenían dos tableros paralelos situados a distinta altura. Todos sus tramos eran rectos de nueve metros de luz, y se apoyaban sobre pilares de sección rectangular, los cuales descansaban a su vez sobre zapatas de hormigón sin armar.

El embarcadero, la parte más importante y la más difícil de la construcción, estaba constituido por catorce pilares, algunos de una altura de hasta veintisiete metros, sólidamente ligados por dos planos de arriostramiento y por dos fuertes pisos con nervaduras. Tenía una cimentación profunda, a base de pilotes de hormigón armado hincados con martinete de maza e inyección auxiliar de agua a fuerte presión[313].



Figura 137. Primer embarcadero de las Minas de Cala en San Juan de Aznalfarache.1904 Juan Manuel de Zafra, ingeniero de caminos. Archivo del Museo Vasco del Ferrocarril.

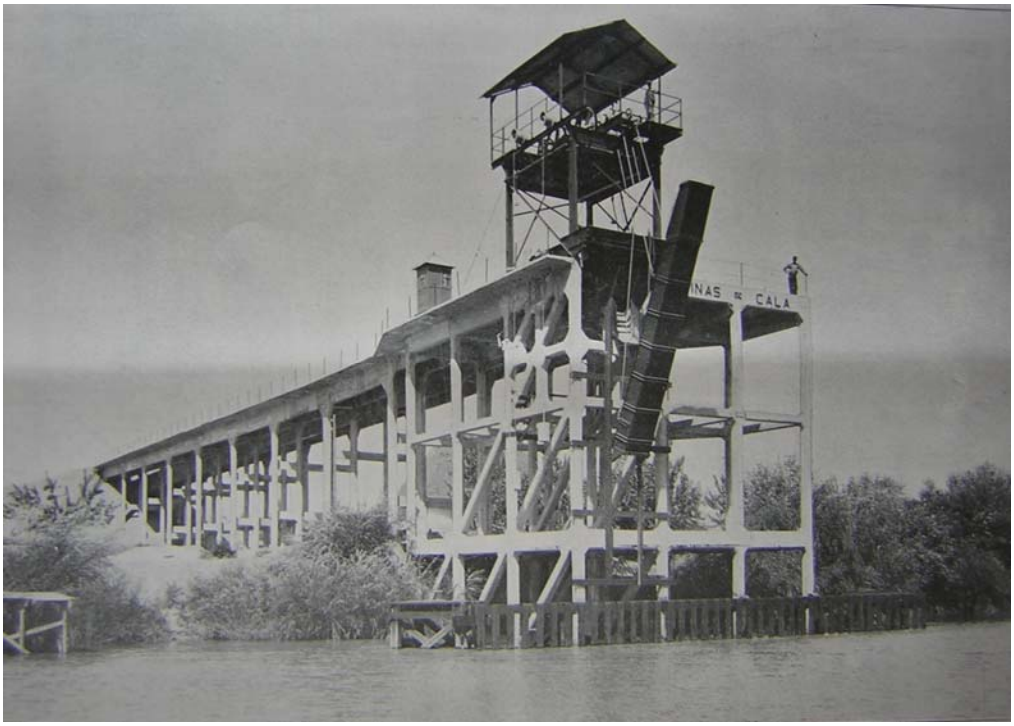
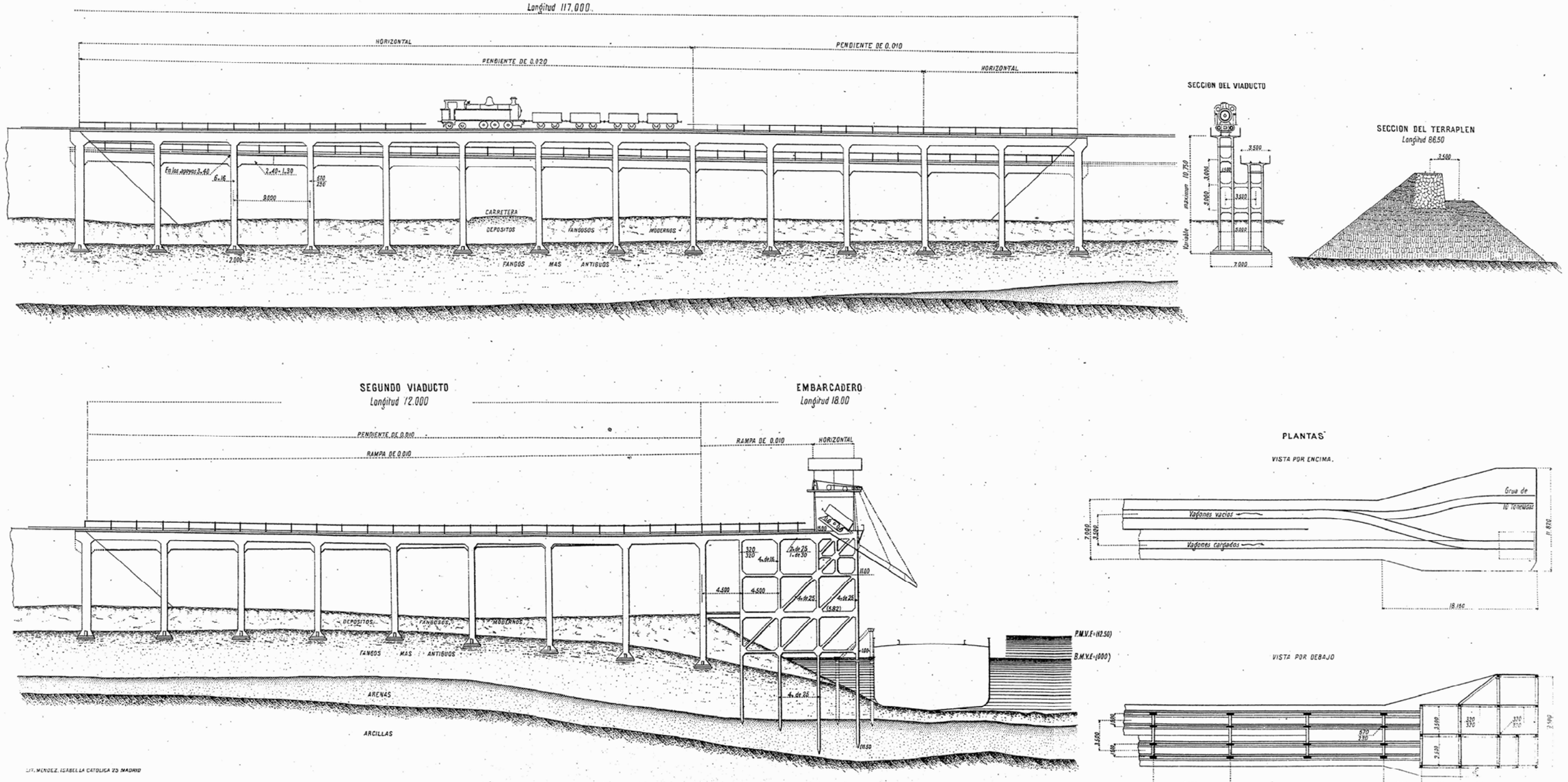


Figura 138. Primer embarcadero de las Minas de Cala en San Juan de Aznalfarache. 1904 Juan Manuel de Zafra, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

Revista de Obras Públicas Número 1573.

EMBARCADERO DE HORMIGÓN ARMADO EN EL GUADALQUIVIR.



Lit. MENDEZ. ISABEL LA CATOLICA 25 MADRID

Embaradero de las Minas de Cala en San Juan de Aznalfarache (Sevilla). 1904

Revista de Obras Públicas. Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Muy satisfechos debieron quedar con esta obra los responsables de la compañía de las Minas de Cala, pues enseguida le encargaron otra similar casi en el mismo emplazamiento. Como novedad, este segundo embarcadero, situado al sur del anterior, incorporaba una plataforma inferior para cintas de carga. Su configuración estructural era la misma que la del primero, aunque aligerando algunas triangulaciones. Quedaría terminado hacia 1909.

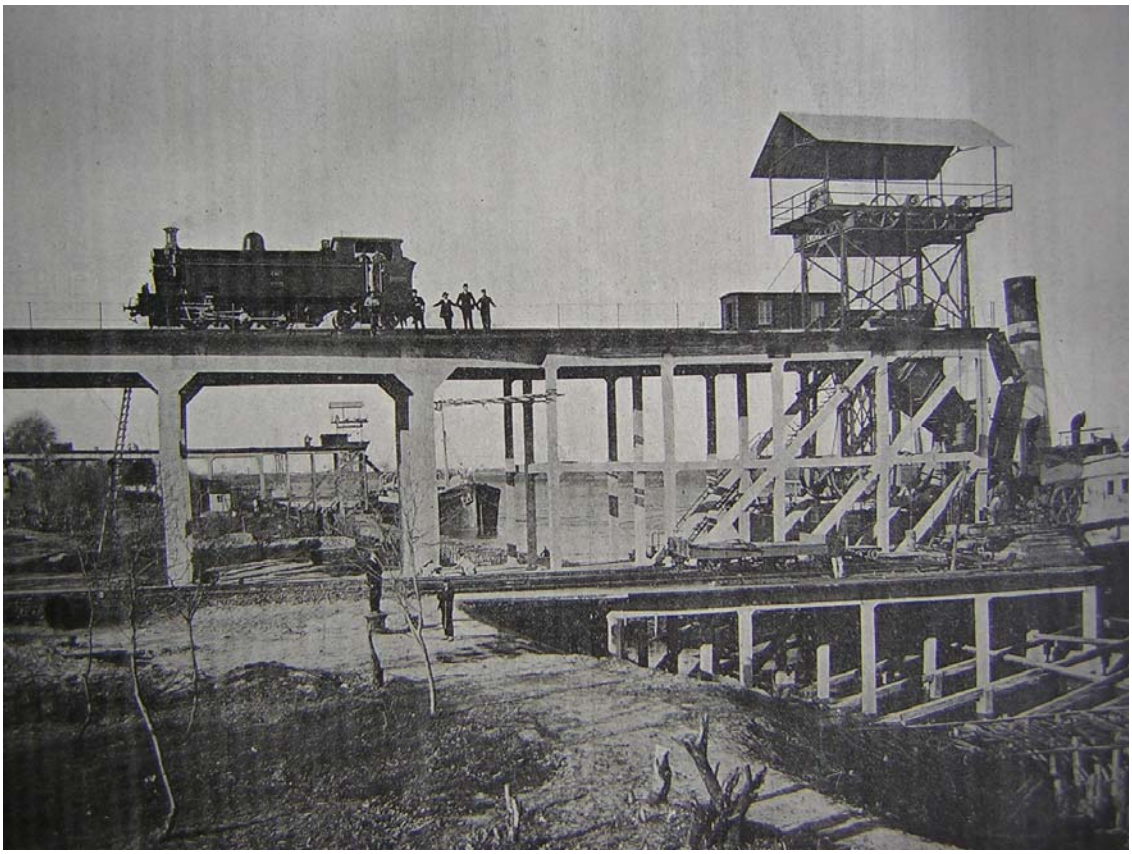


Figura 139. Segundo embarcadero de las Minas de Cala en San Juan de Aznalfarache (al fondo se observa el primero). 1909. Juan Manuel de Zafra, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

En 1910 terminaría otro embarcadero en el tramo navegable del río Guadalquivir, esta vez para la *Compañía Gaditana de Minas.* Como en el caso anterior, remataba una línea férrea de treinta y cinco kilómetros proyectada para transportar el mineral desde las minas de Aznalcóllar hasta el punto de atraque de los buques, fijado tres kilómetros aguas debajo del puerto de Sevilla.

Constituían el embarcadero un muelle de ribera, una vía para las locomotoras y vagones y otra para las grúas de embarque. La estructura del primero, cimentada sobre pilotes de hormigón armado, se componía de un forjado continuo de cinco metros de anchura, de sección transversal en forma de pi mayúscula; y pies derechos de sección cuadrada arriostrados en varias direcciones[314].



Figura 140. Embarcadero de la Compañía Gaditana de Minas en el Guadalquivir. 1909. Juan Manuel de Zafra, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

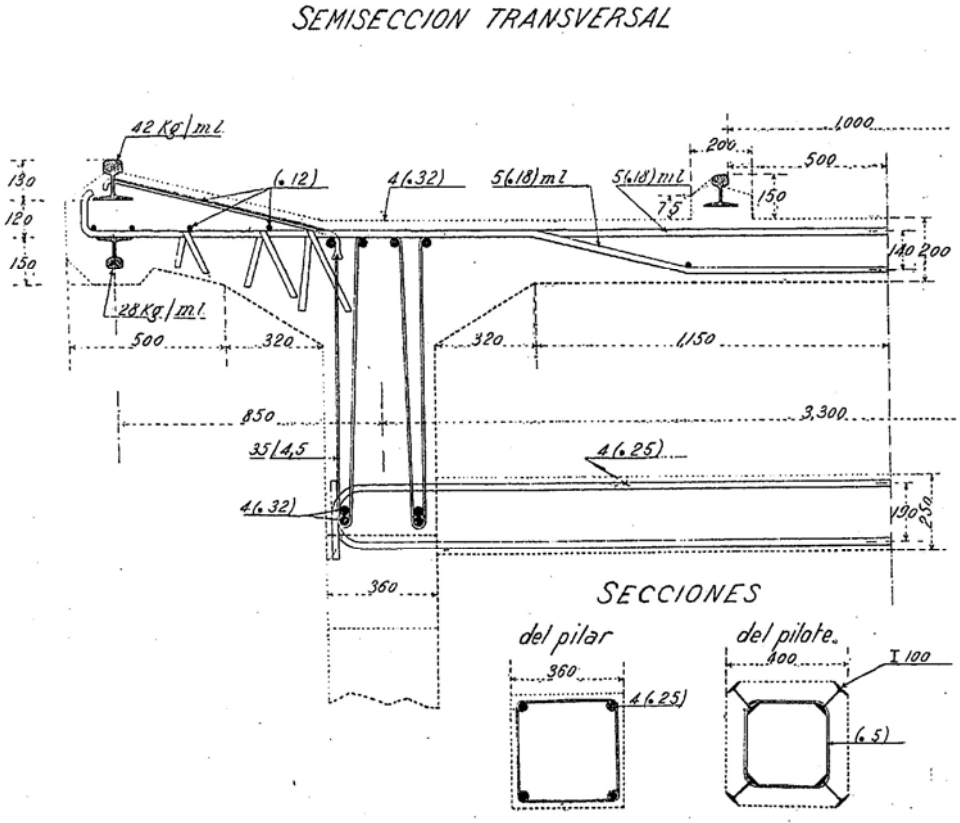


Figura 141. Detalles de la estructura del Embarcadero de la Compañía Gaditana de Minas en el Guadalquivir. 1909. Juan Manuel de Zafra, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

En el intervalo comprendido entre la construcción de sus tres embarcaderos, Zafra desarrollaría los proyectos de sus otras grandes realizaciones prácticas: los puentes para los Ferrocarriles Suburbanos de Málaga.

En marzo de 1905 se había constituido en Madrid la Compañía de los Ferrocarriles Suburbanos de Málaga. De capital extranjero, mayoritariamente belga, esta sociedad tenía como objetivo la construcción y explotación de varias líneas de ferrocarril de vía estrecha en la provincia de Málaga, cuya concesión había obtenido del Estado por un periodo de cien años.

No tardarían en emprenderse las obras de la primera de las líneas, destinada a unir Málaga con Torre del Mar y Vélez Málaga, siguiendo un trayecto que discurría casi en su totalidad por la costa. El proyecto global de la línea correría a cargo del ingeniero Leopoldo Werner.

No obstante, la Compañía decidió que todas las obras de fábrica se construyeran con hormigón armado, encargando a Zafra el Proyecto General de Obras de fábrica y puentes.

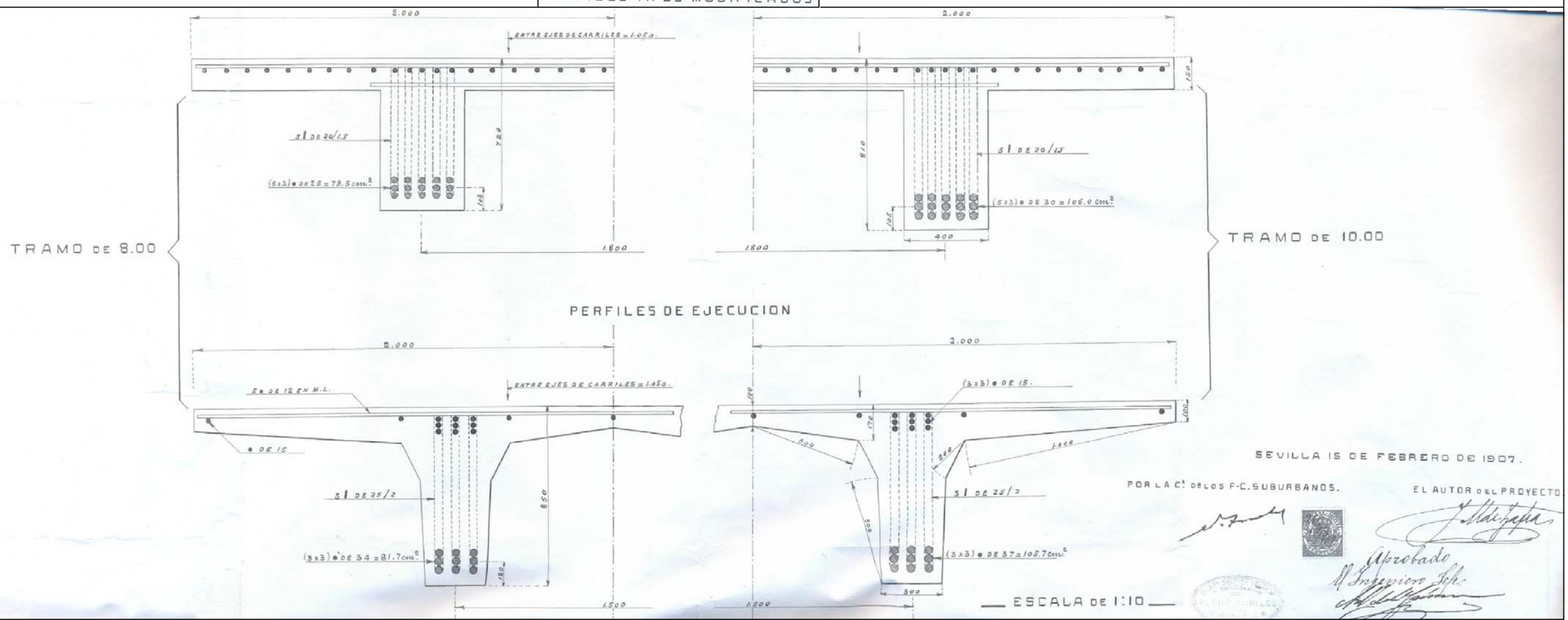
Este aprovecharía la experiencia adquirida en la construcción de los viaductos de acceso al embarcadero de las minas de Cala para diseñar *"además de muchas tajeas y alcantarillas, hechas sencillamente con losas planas"* hasta ocho puentes o pasos superiores formados por tramos de siete, ocho y diez metros de luz[315].



Figura 142. Paso superior en la línea de Málaga a Torre del Mar de los Ferrocarriles Suburbanos de Málaga. Vélez Málaga, 1907. Juan Manuel de Zafra, ingeniero de caminos.

Zafra ideó una solución polivalente de tramos rectos con sección transversal en forma de pi, con armaduras diferentes según la luz a salvar. Esta sección estaba estudiada para que se encofrara de forma rápida y sencilla con chapas de uso corriente, que pudieran ser posteriormente aprovechadas en otras obras[316].

PERFILES TIPOS MODIFICADOS



PERFILES DE EJECUCION

ESCALA DE 1:10

SEVILLA 15 DE FEBRERO DE 1907.

POR LA Cª DE LOS F-C. SUBURBANOS.

EL AUTOR DEL PROYECTO

Aprobado
El Ingeniero Jefe

La construcción más importante de la línea, el puente sobre el río Vélez junto a Torre del Mar, incorporaba varios de estos tramos rectos en el acceso desde sus dos márgenes. Pero los tramos centrales Zafra los resolvería con vigas de celosía. Con sus dos tramos rectos de veintiséis metros, este puente fue en el momento de su construcción (1908) record mundial de luz de esta tipología.



Figura 143. Puente sobre el río Vélez en Torre del Mar (Málaga). Ferrocarriles suburbanos de Málaga. 1908. Juan Manuel de Zafra, ingeniero de caminos.

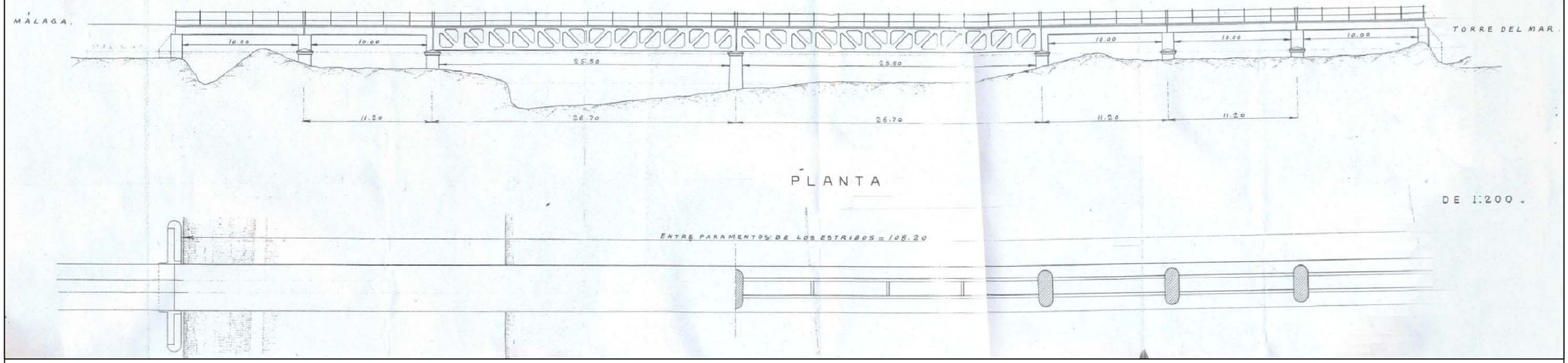
En palabras de su proyectista, el puente no era *"propiamente de hormigón armado, sino de un tipo mixto [...] que pudiera llamarse de metal hormigonado y se define como un puente metálico cuyos cuchillos se envuelven o anegan en hormigón, y se enlazan todos por sus cabezas superiores con una plataforma del mismo material"*.

Siguiendo los estudios experimentales de los ingenieros franceses Rabut y Harel de la Noë, Zafra lo calculó como un puente metálico, aunque considerando que *"en un puente de este tipo las secciones de los elementos metálicos pueden ser la mitad de las correspondientes a un puente ordinario, o lo que es igual, se pueden calcular admitiendo un trabajo aparente doble del usual"* [317].



Figura 144. Puente sobre el río Vélez en Torre del Mar (Málaga). Ferrocarriles suburbanos de Málaga. 1908. Juan Manuel de Zafra, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

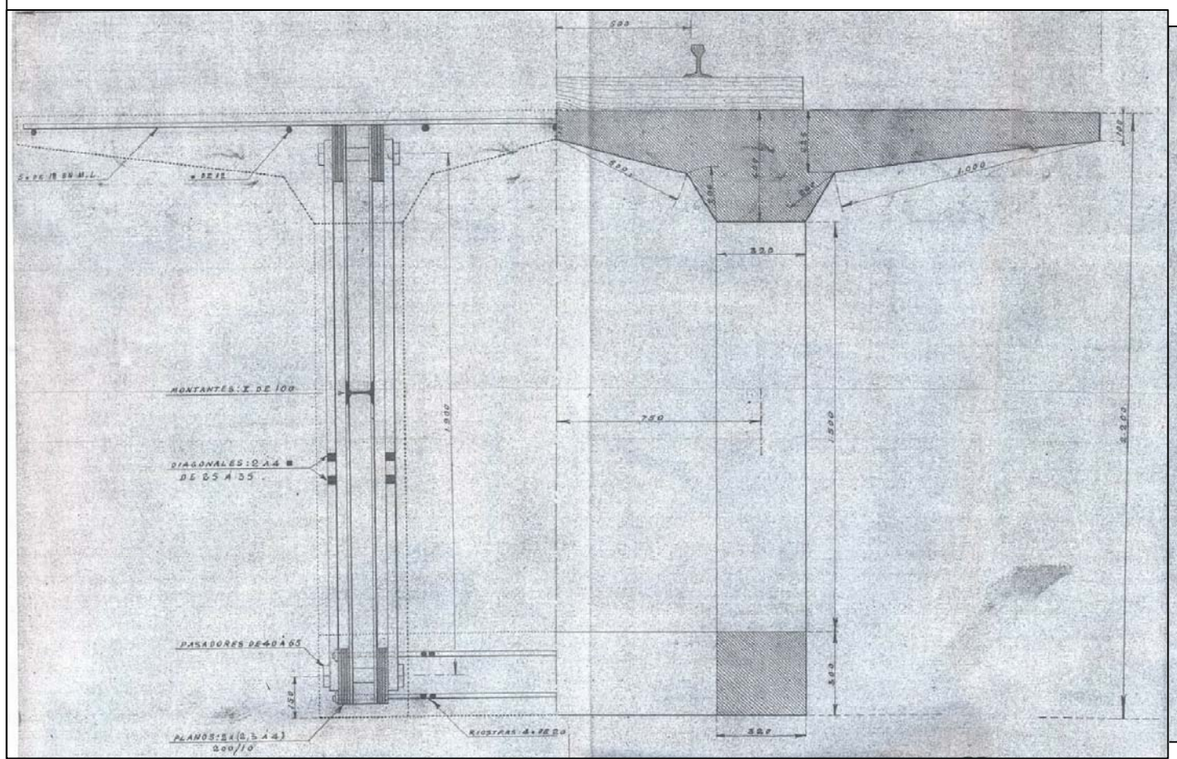
ALZADO DEL PUENTE PROYECTADO

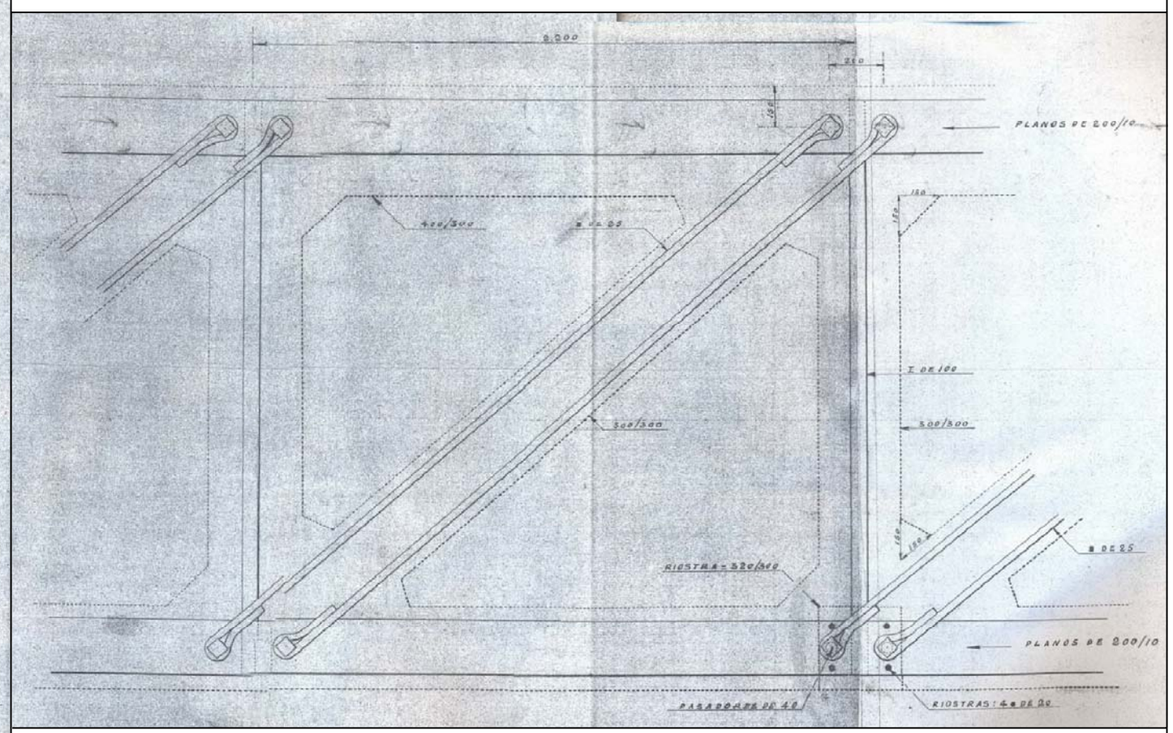


PLANTA

DE 1:200.

ENTRE PARAMENTOS DE LOS ESTRIBOS = 108.20





SEVILLA 10 DE ENERO DE 1907.

POR LA Cª DE LOS F-C. SUBURBANOS.

Examinado
El Ingeniero Jefe.

EL AUTOR DEL PROYECTO.

La celosía metálica de los cuchillos se formaba con platabandas longitudinales en las cabezas superior e inferior, perfiles en doble T como montantes y en las diagonales barras unidas a las cabezas con pasadores. Para asegurar su trabazón con el hormigón que envolvía todo el conjunto se dispusieron ligaduras transversales de alambre contorneando las piezas metálicas. Transversalmente, el puente se rigidizaba, además de con el tablero, con riostras uniendo las cabezas inferiores en los pies de los montantes impares.

A pesar de las suspicacias que todavía levantaba el uso del hormigón armado, los puentes tuvieron un comportamiento magnífico, quedando la Compañía tan satisfecha que adoptaría la misma solución para sus siguientes líneas. Así, los dos puentes sobre el río Guadalhorce que tenía la nueva línea de Málaga a Coín se construirían con tramos idénticos al del río Vélez (un puente de siete tramos de diez metros de luz y tres de veintiséis; y otro de tres tramos de diez metros y cuatro de veintiséis)[318].

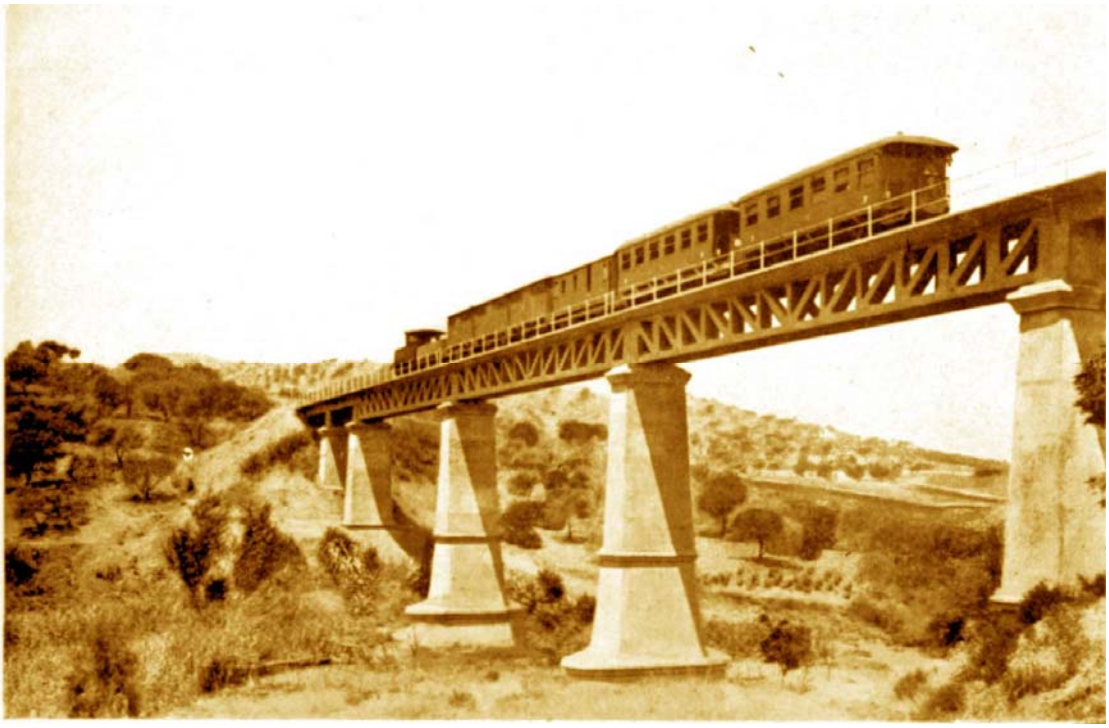


Figura 145. Viaducto sobre el río Fahala. Línea Málaga-Coín. Ferrocarriles Suburbanos de Málaga. 1912. Juan Manuel de Zafra, ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

En 1911 se iniciaron las obras de prolongación del ramal de Vélez Málaga a Ventas de Zafarraya. Su primer tramo, de Vélez a La Viñuela, que se pondría en servicio en 1914, incluía tres viaductos construidos con los mismos tramos rectos de celosía y tablero superior.

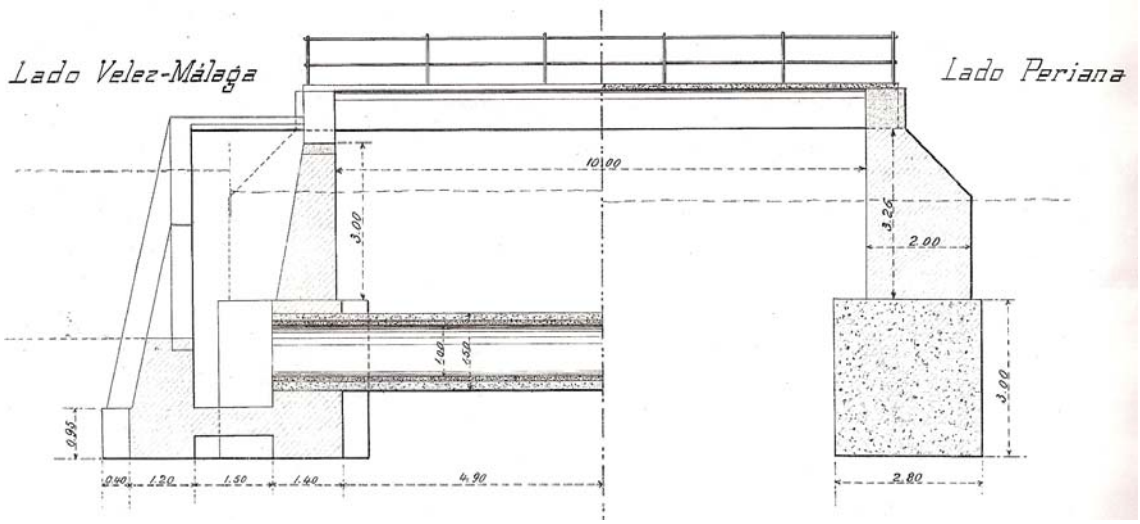


Figura 146. Obra de paso con alcantarilla de línea de Vélez Málaga a Periana. 1912. Juan Manuel de Zafra, ingeniero de caminos. Archivo General de la Administración.

Los puentes que Zafra proyectó para los Ferrocarriles Suburbanos de Málaga fueron trascendentes para la ingeniería civil española (especialmente los tramos con sección pi). Como más adelante explicaría Ribera, *"el éxito obtenido en la prueba de estos puentes, que por su luz excepcional en aquella época y aún más por la circunstancia de ser para ferrocarriles, en los que no había entonces sino modestos y contadísimos ejemplos, contribuyó a que la Dirección de Obras Públicas aceptara parecidas disposiciones para los modelos oficiales de puentes para caminos vecinales y carreteras"*[319]. Su diseño hizo fortuna, siendo profusamente empleado en puentes de luces pequeñas hasta bien entrados los años sesenta del pasado siglo.

Sin embargo, serían la última de las realizaciones prácticas de Zafra, que a partir de 1910 iba a dar un giro a su carrera profesional, orientándose nítidamente por la investigación y la docencia. A partir del curso 1910-1911 la Escuela de ingenieros de Caminos incorporó en su plan de estudios la asignatura de *Construcciones de Hormigón Armado*, correspondiéndole a él el honor de inaugurar la enseñanza de esta materia en España. Como no podía ser de otra forma, Zafra asumió la tarea imprimiéndole desde el primer momento el máximo rigor científico. Así, procuró "*dar a esta enseñanza carácter verdaderamente ingenieril; usar de los principios generales de la Mecánica y de los resultados experimentales, como bases, y del Análisis, como medio de concordar y sacar partido de ellas, manteniendo entre estos tres elementos una justa ponderación para llegar a la finalidad del ingeniero: estudiar, proyectar y construir obras de hormigón armado en las mismas condiciones de facilidad y seguridad que las de otro material cualquiera"* [320].

Animado por esta filosofía, trabajó simultáneamente en la redacción de su libro sobre las construcciones de hormigón armado, que sería el primer tratado español sobre la materia. Su primera parte, *Mecánica del hormigón armado,* se publicó en 1911. Al mismo tiempo, iría dando a conocer algunas de sus conclusiones en varios artículos de la Revista de Obras Públicas, aparecidos entre 1911 y 1912.

El segundo de sus libros, "*El hormigón armado y los grandes embalses",* también vería la luz ese año. Se trataba de un completo estudio teórico y práctico sobre la construcción de un muro de embalse de gran altura con hormigón armado. Recogía en él además algunas reflexiones muy representativas del pensamiento de Zafra en relación con el nuevo material de construcción.

Empezaba manifestando que para muchos todavía por entonces el hormigón armado seguía siendo, "*como en los primeros días, una resultante de empirismo y audacia, un arma de dos filos, imposible casi de manejar sin herirse: sus maravillosos éxitos, efectos de pura casualidad, sus grandes fracasos, debidos exclusivamente a sus condiciones intrínsecas".* Zafra era consciente de que el hormigón armado revolucionaría el arte de construir en el siglo XX y por ello estaba empeñado en *"exponer cómo se puede y como se debe manejar, científica, rigurosa, jamás rutinariamente, con tanta precisión como se maneja el material que más seguro parece, el acero."*

Advertía no obstante del riesgo que entrañaba *"su aparente sencillez, engañosa sirena que a muchos seduce",* que favorecía su mal uso por personas sin ninguna preparación técnica: "*los dañosísimos folletos y albums de propaganda que fábricas de cemento ,o de barras especiales para armaduras, reparten, propagan la conseja; personas que saben algo de Construcción, poco de Mecánica, a veces hasta los profanos, se lanzan a construir; mientras no se salen del ritual, les va bien, pero a veces, enardecidos por el éxito, imaginan algo por su cuenta, hasta brota un nuevo sistema, y si esa providencia especial no les ayuda, sufren un desengaño y echan una nota más de descrédito sobre el pobre hormigón armado".*

Al final, clamando con vehemencia contra las seudo-invenciones que habían protagonizado la primera época del hormigón armado dejaba bien claros los principios que le guiaban : *"todos habréis oído hablar del hormigón armado con los remoquetes sistema Durand, Jonson, Smitmann… ¡todos a pesar de su sabor extranjero, vienen a ser López!, plaga de sedicentes inventores que nada han inventado y que han contribuido poderosamente con sus pretendidos sistemas, pomposo nombre con el que encubren sus rutinas, al sambenito de rutinario que aún pesa sobre el hormigón armado. Desconfiad de toda obra que os ofrezcan hacer por el sistema tal o cual […] un sólo sistema merece confianza, el de poner armaduras donde, en la cantidad y en la forma que un estudio atento de las deformaciones o cargas que cada pieza ha de sufrir, por su trabajo propio y por su enlace con las demás, revele que existen tensiones. Ese sistema no es de nadie y es de todos; de todos los que saben Mecánica aplicada y quieren aplicarla"*[321].

Siempre se mostraría inflexible en la defensa de estas ideas. Así, cuando el ingeniero Montenegro, director del Puerto de Huelva, afirmó en un artículo de la Revista de Obras Públicas que prefería utilizar las *"fórmulas de M. Hennebique, que si son tachadas de poco científicas, tienen en cambio la sanción de la experiencia, más digna de confianza que muchas teorías aún no muy justificadas que existen sobre esta materia"* [322], Zafra no dudó en replicar con otro artículo en el que lamentaba *"un ingeniero de la valía de Montenegro hiciera suya la eterna cantinela que este ingenioso constructor y archiingeniosísimo propagandista del hormigón armado* [por Hennebique] *repite con la misma constancia con que ciertos doctores repiten los anuncios de sus específicos"*[323]. Con la misma ironía fue señalando los aspectos más controvertidos de las fórmulas de cálculo de Hennebique, poniendo de manifiesto que la Circular francesa de 1906 las desacreditaba en su país de origen.

La reacción de François Hennebique no tardaría en llegar, con otro artículo defendiendo su sistema y acusando a Zafra de denigrarlo a mala fe para dar publicidad al nuevo tratado que acababa de publicar.[324]

Las críticas de Hennebique no harían mella en el ánimo de Zafra, que se sentía respaldado por *"profesionales de reputación cotizada ingenierilmente más alto que la de la empresa Hennebique",* de cuyos juicios halagüeños a su tratado, absolutamente ajenos a todo interés mercantil, se felicitaba[325].

Entre 1912 y 1916 trabajó en el libro que culminaría su obra teórica. Se trataba de su famoso tratado titulado *"Cálculo de estructuras"*, en el que presentaba *"una colección de estructuras concretas […] felizmente clasificadas y desentrañadas a la luz de la Mecánica moderna"*[326].

Mientras recibía por este libro el homenaje de sus compañeros, los profesores de la Escuela de Caminos, se encontraba trabajando en el proyecto de otro puente, el de Villanueva de la Serena sobre el Guadiana. Alternaba esta tarea con el diseño de una máquina para resolver sistemas de ecuaciones lineales *"que se realiza con toda precisión en los talleres del Laboratorio de Automática que dirige el distinguido ingeniero Torres Quevedo"*[327]

El reconocimiento general de la comunidad científica española le llegaría en 1919, cuando le fue concedida la gran cruz de la orden de Alfonso XII[328].

En los años que transcurrirían hasta su muerte, acaecida en 1923, compaginaría sus labores de docencia con el diseño de los modelos oficiales de puentes de carretera y caminos vecinales, el último de sus trabajos publicados[329]. Zafra se encargaría de los tramos rectos de hormigón armado, para los que presentó un diseño basado en sus puentes de los Ferrocarriles Suburbanos de Málaga. Sería su última contribución a la ingeniería civil española.

8) Gabriel Rebollo Canales.

Aunque no tan conocida como las de Ribera o Zafra, la contribución de otro ingeniero de caminos, Gabriel Rebollo, al desarrollo del hormigón armado en España fue especialmente significativa. Rebollo abriría nuevos caminos diseñando con él audaces e innovadoras soluciones constructivas para puentes

Rebollo terminó sus estudios en 1898, siendo destinado a la provincia de Segovia. En los comienzos, su andadura profesional se centraría en las carreteras. A este ámbito se dedicaría con gran interés, llegando a presentar en octubre de 1889 un anteproyecto de red de caminos vecinales para la provincia, que incluía un reglamento para su construcción.

Sin embargo, pronto daría un giro radical a su carrera, pues a la muerte de Ramón Grotta, sucedida a principios de 1901, fue designado director técnico de la casa Hennebique en España. Por lo que puede deducirse que desde 1900 debía de tener alguna vinculación con la firma francesa.

Apenas asumida esta nueva responsabilidad, tendría que bregar con un complicado proyecto, el del puente sobre el río Caudal en Mieres. Apuntadas las líneas iniciales de su diseño por Ribera, quedó en ciernes cuando este dejó la organización Hennebique. Así que el proyecto tendría que ser realizado por la oficina técnica de París y Rebollo lo supervisaría. Se presentó una propuesta de puente formado por dos arcos de hormigón armado de cincuenta y tres metros de luz.

Rebollo lo daría a conocer en la *Revista de Obras Públicas*, en el primero de una serie artículos con los que pretendía divulgar *"algunos proyectos que de diversas obras* [de Hennebique] *se han estudiado, ya por la Oficina central de París o por la de España"*. En ellos se confesaba resuelto partidario de las construcciones de hormigón armado sistema Hennebique, cuyo desarrollo en España aumentaba *"de día en día considerablemente",* ofreciendo *"asombrosos resultados en cuanto a ligereza y economía en la mayoría de los casos"*[330].

Este proyecto finalmente no se llevaría a cabo. Sin embargo, la experiencia adquirida serviría a Rebollo para afrontar el encargo más importante que la casa Hennebique recibiría en España: el puente sobre el río Nervión para la *Sociedad Anónima del Tranvía Eléctrico de Bilbao a Durango y Arratia.*

Constituida en enero de 1899, apenas nueve meses después esta sociedad sería capaz de poner en explotación el primer tramo de la línea, construido entre Lemona y Ceánuri. Sin embargo, la ejecución de las siguientes partes de la línea entrañaría mucha más dificultad, teniendo que plantearse algunas modificaciones respecto del proyecto inicial. Además, su trazado incluía diversas construcciones de entidad, siendo ciertamente la más espectacular un

puente necesario para cruzar el río Nervión en el barrio de La Peña, a las afueras de Bilbao. En agosto de 1901 la casa Hennebique se haría con el contrato de tan importante construcción, aunque con la condición de que los trabajos debían iniciarse a las cuarenta y ocho horas de la firma[331].

Con la dificultad añadida de proyectar el puente prácticamente mientras se iba construyendo, Rebollo llevó a cabo un muy meritorio trabajo, inaugurando la tipología de puentes arco de hormigón armado en nuestro país.

Como era habitual por entonces, el proyecto inicial contemplaba la ejecución de un puente metálico sobre pilas de fábrica. Pero *"el deseo de la Empresa de comenzar la explotación de la línea en el menor tiempo posible, las dificultades que para la rápida ejecución del proyecto aprobado encontraba, y los satisfactorios resultados que veía se obtenían con la aplicación del hormigón armado sistema Hennebique a las construcciones, la han sugerido la idea de adoptar en su puente sobre el Nervión tan notable sistema"*[332].

El emplazamiento del puente estaba muy condicionado por la presencia de distintas edificaciones en ambas márgenes del río, entre ellas una importante fábrica de harinas. El trazado del tranvía discurría paralelamente al río, por lo que en los estribos no había espacio donde desarrollar la curva de unión de la alineación recta del puente con la vía paralela al río, por lo que Rebollo tuvo que darle planta curva.

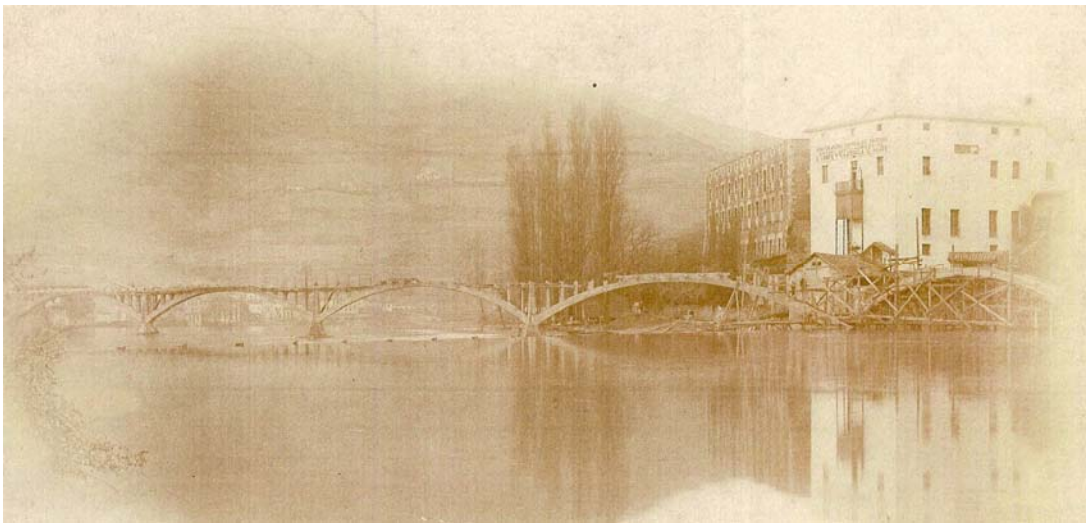


Figura 147. Obras del puente de la Peña sobre el río Nervión. 1902. Gabriel Rebollo, ingeniero de caminos. Fuente: Institut Français d'Architecture. Direction des Archives de France. Centre d'Archives d'Architecture du XXe siècle.

También tuvo que desplazar el estribo de la margen derecha, que se pensaba levantar en una alameda donde terminaba el paseo de los Caños, *"muy frecuentado en el invierno por los bilbaínos, que huyen por él de la atmósfera saturada de carbón que se cierne sobre la población, al par que se hayan al abrigo de los vientos fríos, y no es admisible que se prive a Bilbao de sitio tan ameno como este paseo y la alameda de su terminación".*

Por si esto fuera poco, interfería con el puente la antigua presa que servía a la fábrica de harinas. Esto condicionaba la situación de una de las pilas, que se tuvo que apoyar sobre uno de los contrafuertes de la presa.

Al final el quedaría constituido por dos tramos, uno recto desde la margen derecha hasta la presa, y el otro, curvo, desde esta a la margen izquierda. Tendría cuatro vanos centrales de treinta y cinco metros de luz y dos en los extremos de diecinueve metros. Su configuración estructural se resolvía con dos arcos gemelos y tablero superior apoyado en ellos mediante pilares.

El quince de octubre de 1902 se realizaron las pruebas de carga, con resultados satisfactorios, quedando en servicio desde ese momento hasta la clausura del tranvía en 1963. Durante veinte años más se utilizaría como puente peatonal, hasta que finalmente una riada en 1983 provocó su ruina[333].



Figura 148. Puente de la Peña sobre el río Nervión. 1902. Gabriel Rebollo, ingeniero de caminos. Archivo del Museo Vasco del Ferrocarril.

El puente de la Peña consagraría a Rebollo como uno de los grandes especialistas del hormigón armado en España. Su prestigio le permitiría independizarse de Hennebique y emprender su propia trayectoria. En agosto de 1902 registraría sus dos patentes, una por un *"sistema nuevo de construcción de arcos de hormigón de cemento portland de sección constante y armados"* y la otra por un *"sistema nuevo de construcción de forjados y vigas en hormigón armado"*[334]. Su autor lo justificaba como la solución a los problemas de grietas que aparecían junto a los apoyos en las piezas sometidas a flexión, afirmando que los sistemas hasta entonces conocidos no tenían en cuenta los momentos negativos que se producían en

esos empotramientos. Lo cierto es que no aportaba ninguna novedad, aunque presentaba, eso sí, una disposición racional de las armaduras.

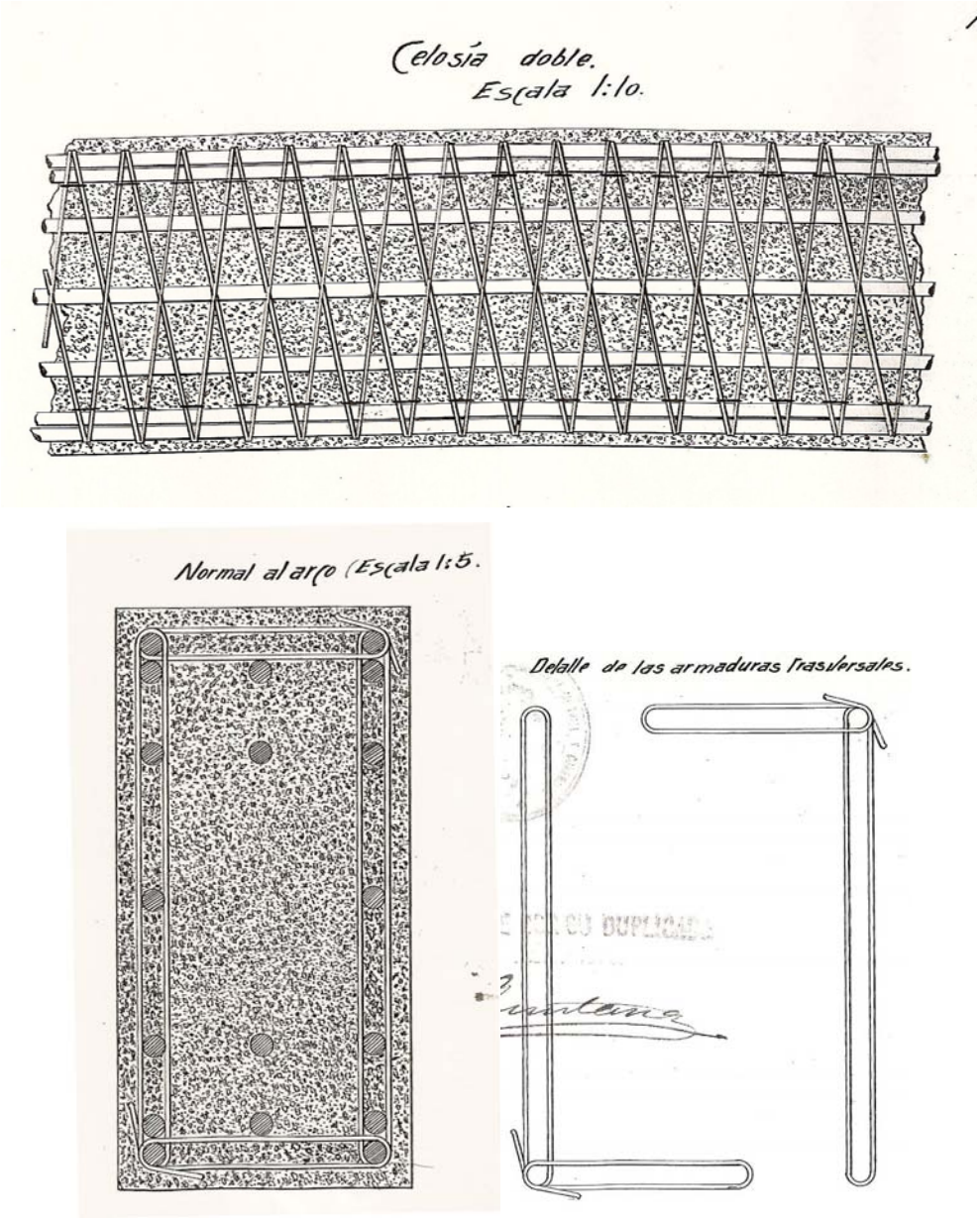


Figura 149. Sistema de construcción de arcos de arcos de hormigón de cemento Portland de sección constante y armados. 1902. Gabriel Rebollo, ingeniero de caminos. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

Provisto de su patente se lanzaría, en asociación con su suegro Carlos Estibaus, a la aventura empresarial, fundando una constructora que se desenvolvería con bastante fortuna en la primera década del siglo XX. Unos años más tarde, en 1905, su empresa, *"Rebollo, Estibaus y Compañía, Sociedad en Comandita"*, contaba con *"numeroso personal técnico para el estudio y dirección de las obras que se le encomienden" en* sus oficinas en Madrid, Barcelona y Bilbao. Se presentaba como *"la primera casa de España tanto por la importancia y número de obras construidas como por las que tiene en ejecución"*[335].

Sin embargo, a principios de 1903 aún no había roto del todo con Hennebique, pues según la revista oficial de la firma francesa, Rebollo sería el concesionario en dos de sus obras:

un paso superior en Monzón (seguramente para el Canal de Aragón y Cataluña) y unos forjados para un mercado en Vigo por encargo del Ayuntamiento[336].

A finales de ese año de 1903 comenzaron las obras del puente de Olloqui sobre el río Leizarán, el más señalado de la línea férrea de Andoain a Plazaola. Se trataba de un puente de tablero superior, sobre un arco empotrado de veinte metros de luz. En su construcción se emplearon cementos de la fábrica guipuzcoana Hijos de Rezola. En cuanto a las armaduras, se utilizaron flejes en el tablero, hierros redondos en los montantes, largueros y mensuras; y railes tipo Vignole para el arco. Las pruebas de resistencia se realizaron en septiembre de 1904, entrando el puente en servicio a partir de ese momento[337].

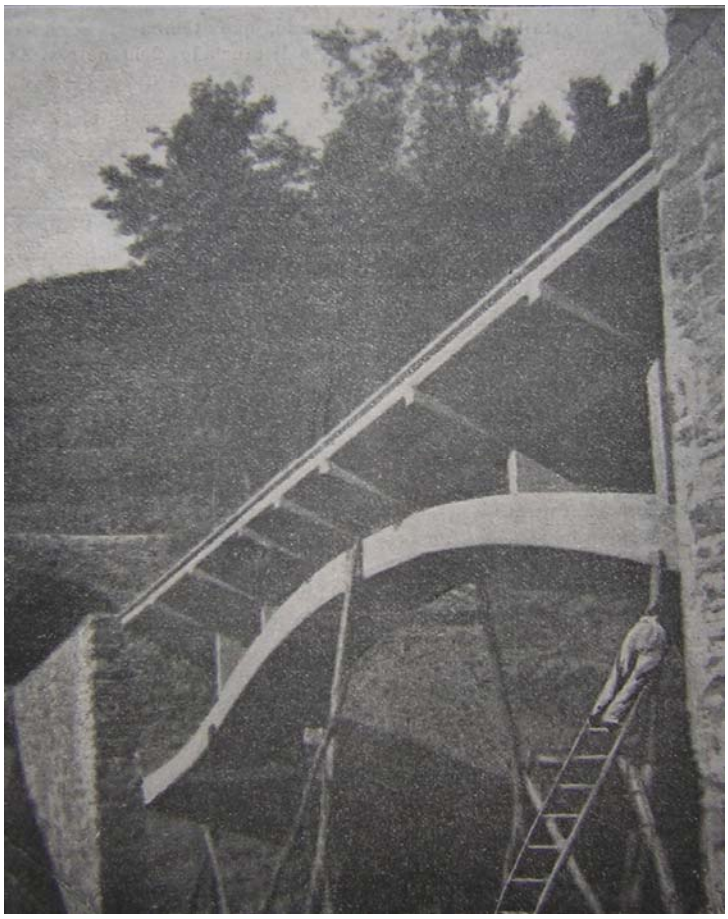


Figura 150. Puente de Olloqui. 1904. Gabriel Rebollo, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

En la misma línea se construyeron también cinco tramos rectos de hormigón armado de siete metros y medio de luz para acceso al puente de Olázar, cuyo vano central se resolvió con una celosía metálica recta.

A lo largo de 1904 construiría el puente de ferrocarril de El Bogatell, en la estación de Poble Nou (Barcelona). Encargado por la compañía MZA, estaba formado por dos tramos de diez metros y medio de luz. Sus pruebas de resistencia se verificaron con resultados satisfactorios el dieciséis de agosto de 1904[338].

Ese año se presentó al concurso para el Sifón del Sosa[339], que también se adjudicó Ribera. No obstante, el Canal de Aragón y Cataluña le encargó un paso superior para carretera y brazal de riego en Estada (Huesca), que solucionó con viga recta y tablero intermedio. En el mismo municipio se hizo cargo de la construcción de un depósito de agua de veintidós metros cúbicos de capacidad.

Las cosas seguirían yendo bien para la empresa de Rebollo en 1905, pudiendo presumir de una amplia lista de realizaciones[340]. Entre ellas destacaba un acueducto de dieciocho metros de luz sobre el río Losa en Quintana (Burgos), la obra más representativa de una conducción de aguas que también incluía varios tramos de tubería forzada de ciento setenta centímetros de diámetro.

La obra civil, y sobre todo los puentes, constituían la parte más importante de su actividad. No obstante, también se haría cargo de diversos trabajos en edificación, como la cubierta y cornisa general de la fábrica de *Meduro* en Portolín (Cantabria) y una vivienda para el señor Moreno Campo en Madrid.

En ese momento se pierde su pista, no volviendo a tener referencias de él hasta 1911, año en que produciría una de sus más brillantes construcciones: el puente de San Miguel en Huesca.

En 1910 el ingeniero de caminos Emilio Monterde, encargado de la construcción de la carretera de Huesca a la Estación de Ferrocarril de Sabiñánigo, consideró oportuno modificar su trazado "*para evitar expropiaciones y facilitar la construcción".* No obstante, ello implicaba la construcción de un puente de mayor entidad que el que estaba previsto. Condicionantes geométricos le hicieron descartar solucionarlo mediante un arco de fábrica, cuya rasante estaría elevada excesivamente. Por su elevado coste, tampoco era viable la opción de un puente metálico. Así que al final se decidió por hacerlo con hormigón armado, aprovechando también la circunstancia de que en el emplazamiento había grava abundante de buena calidad.

Por otro lado, al encontraba en zona urbana, en "*el nuevo paseo de circunvalación de la capital"*, debía tener cierto aspecto monumental.

Ante todos estos condicionantes el ingeniero Monterde consideró que lo más indicado era *"requerir el concurso de un especialista en la materia, habiéndolo probado tan solícita y eficazmente como acostumbra, cuando de servicios del Estado se trata, aunque no sean estos de su incumbencia directa, el competente ingeniero D. Gabriel Rebollo"* [341] *.*

Rebollo, pues, se hizo cargo del puente, presentando un diseño que respondía satisfactoriamente a todas las exigencias: dos arcos parabólicos de veinticinco metros de luz, articulados en los arranques y la clave, sostenían, mediante cuatro montantes verticales cada uno, un tablero inferior de siete metros de ancho.

De nuevo Rebollo marcó un hito con este puente, pues fue el primero construido con esta tipología (arcos de hormigón armado articulados) en nuestro país[342]. Inaugurado en 1912, sigue en servicio casi cien años después.

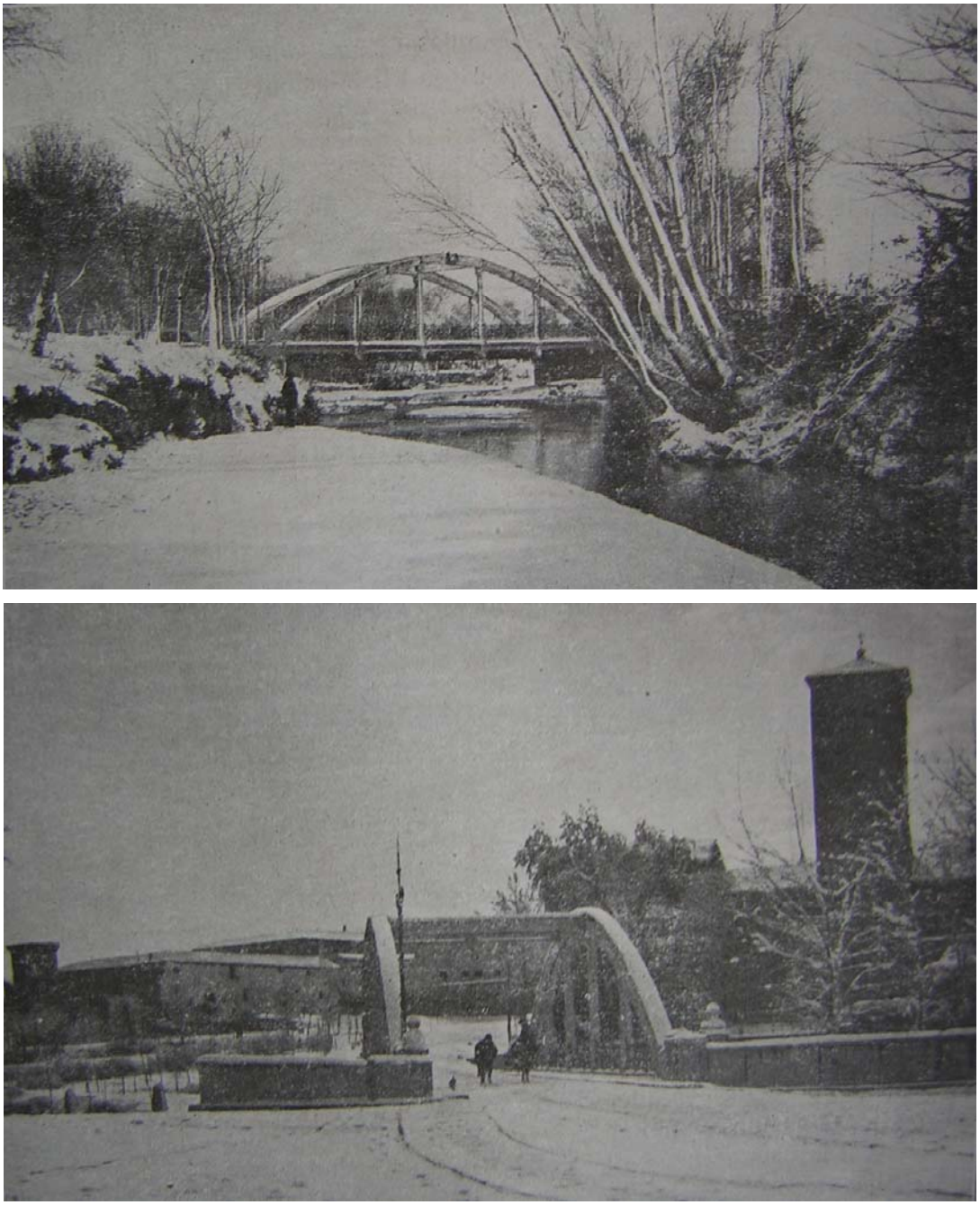
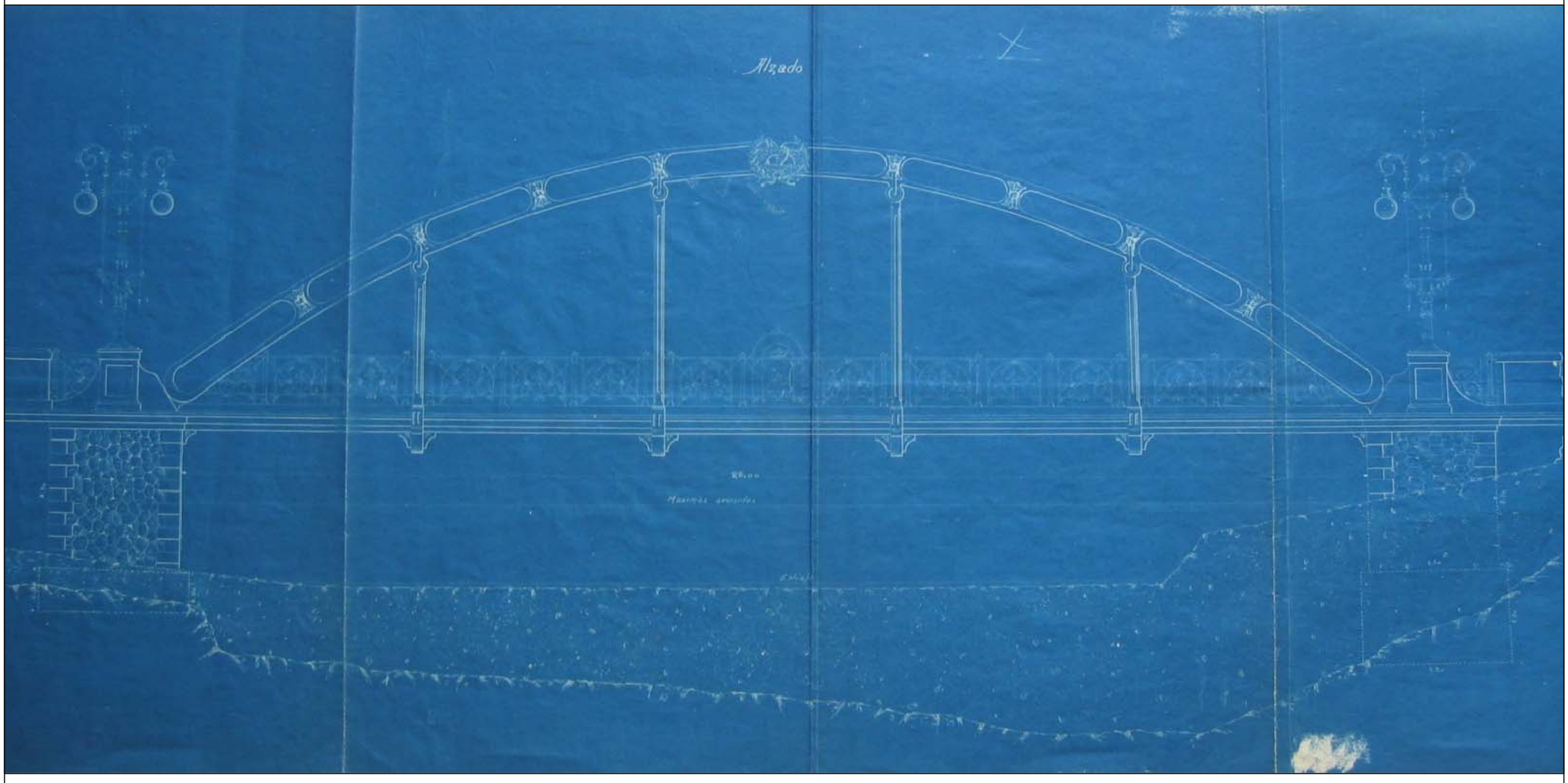


Figura 151. Puente de San Miguel (Huesca). 1912. Emilio Monterde y Gabriel Rebollo, ingenieros de caminos. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

El puente de San Miguel fue la última de sus obras de la que se tiene constancia. No se vuelve a tener noticia de Rebollo hasta los años finales de su vida, cuando publicó varios artículos en la Revista de Obras Públicas sobre los problemas del Ferrocarril en España y su incidencia sobre el paro obrero[343].



Puente de San Miguel sobre el río Isuela (Huesca).1912

9) Mauricio Jalvo Millán.

En contraste con el entusiasmo con que muchos ingenieros recibieron al hormigón armado, fue escaso el interés que despertó entre los arquitectos. Para la gran mayoría se trataba de un material antiestético, no apto para crear formas artísticas. Apegados a las formas y estructuras tradicionales, los arquitectos españoles no le prestaron mucha atención, limitándose a considerarlo como otra solución técnica para algunos elementos de sus edificios cimentaciones, forjados y cubiertas, principalmente. Sólo dos de ellos apostaron decididamente por el nuevo material: Claudio Durán, cuya trayectoria ya se ha estudiado, y Mauricio Jalvo Millán.

Mauricio Jalvo, nacido en Madrid en 1867, fue un destacado arquitecto del primer tercio del siglo XX en nuestro país. Modernista evolucionando hacia el *art-déco,* la parte más relevante de su producción la llevó a cabo en la ciudad de Melilla, donde ejerció de arquitecto municipal entre 1928 y 1932. En ese periodo trabajó en alrededor de cien obras, entre proyectos públicos y encargos privados[344].

Menos conocida es su aportación al desarrollo del hormigón armado, que marcó una parte de su carrera profesional. Su relación con el nuevo material arranca en la temprana fecha de 1898, cuando apenas llevaba seis años ejerciendo como arquitecto. La primera noticia que se tiene es su colaboración con José Eugenio Ribera en la construcción del primer edificio español de hormigón armado: la fábrica de la viuda de Ayala en Badajoz.

En esta obra Jalvo podría haber iniciado cierta colaboración con la casa Hennebique, que se confirmaría en el siguiente proyecto de Ribera para la firma francesa: el depósito de Llanes; Jalvo se hizo cargo de la contrata de esta importante construcción, que se llevó a cabo en 1898[345]. Sin embargo, su vinculación no sería del todo firme, pues no se menciona a Mauricio Jalvo en los registros de Hennebique.

Por entonces ya demostró tener un gran conocimiento de la nueva técnica constructiva, tanto en lo referente al cálculo como en los procedimientos de construcción propiamente dicha. Además, en ambas obras le tocaría hacer frente a varias incidencias en la ejecución que reforzarían aún más su dominio del material.

Si en la fábrica de Badajoz los problemas surgieron de un descimbramiento prematuro de algunas vigas de forjados, en Llanes lo que ocurrió fue que la cimentación de uno de los compartimentos del depósito quedó descalzada por la formación de una caverna subterránea, que la dejó parcialmente sin apoyo. Sin embargo, a pesar de que se produjeron fisuras por las que se perdió toda el agua que contenía, el depósito no se rompió, lo cual permitió a Jalvo presumir de que *"si se hubiera hecho de intento el accidente, no hubiera podido hacerse mejor*

para demostrar de una manera concluyente la ventaja del hormigón armado sobre cualquier otro sistema de construcción, que no hubiera resistido sin desmoronarse" [346].

En 1901 proyectó unas cocheras en un solar de la calle Zurbarán de Madrid, por encargo del conde de Vilana. Seguramente se trata de las cocheras cuya contratación anunciaba la casa Hennebique en *Le Béton Armé* de junio de 1901. En su proyecto Jalvo planteaba levantar una edificación de planta rectangular, de una sola altura sobre rasante y construida con *piedra para mampostería, cantería y ladrillo en fachadas, hormigón armado en cochera, cuadra y granero, y entramados tabicados en los cobertizos, todo ello también sobre fundaciones de hormigón armado"* [347]. Sin embargo, al final este proyecto no se llevó a la práctica.

Con este proyecto finalizaría la relación de Jalvo con Hennebique. En 1902 registró su propia patente por "*un nuevo procedimiento de construcción con hormigón armado"*, que presentaba como principales señas distintivas *"la combinación y disposición especial de los hierros atravesados por varillas o clavos que constituyen el espinazo de las vigas", "la introducción de armaduras rígidas de metal en la masa del hormigón[…] para auxiliar la construcción antes del fraguado"* , *"la colocación en todo forjado o viga de dos armaduras, una rígida para dar solidaridad a la masa y otra para el arriostramiento y enlace de las distintas partes de la construcción".* También preveía la posibilidad de dejar embebidos en el hormigón "*tubos para conducir por su interior gases o líquidos"*[348].

Basada en este sistema estaba la proposición con la que concurriría al concurso del Tercer Depósito del Canal de Isabel II, que, como ya se ha comentado anteriormente, fue adjudicado a Ribera. Presentó una solución con cubierta plana apoyada sobre vigas de sección trapecial y pilares cuadrados[349].

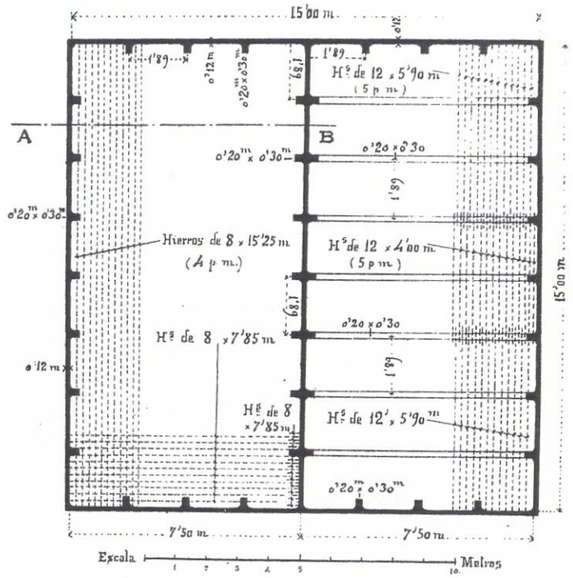
Siguiendo la pauta habitual, para dar a conocer su sistema publicaría algunos artículos en la prensa especializada. Al mismo tiempo procuraba dar la mayor difusión posible a los ensayos realizados para sancionar experimentalmente su sistema. Una prueba de este tipo tuvo lugar el 15 de agosto de 1903 en Madrid, bajo la supervisón del arquitecto Emilio Antón. Consistió en medir las deformaciones de una viga de cuatro metros de luz, a la que fue cargando sucesivamente con mil, seis mil y ocho mil kilos por metro, sin que llegara a romperse[350].

DEPÓSITO DE LLANES

(Arquitecto D. M. Jalvo)

CONSTRUCCIÓN EN CEMENTO ARMADO SISTEMA HENNEBIQUE

Planta del fondo, visto desde arriba — Planta del techo, visto desde abajo



DEPÓSITO DE LLANES

(Arquitecto D. M. Jalvo)

CONSTRUCCIÓN EN CEMENTO ARMADO SISTEMA HENNEBIQUE

Sección por la línea *AB* de la planta

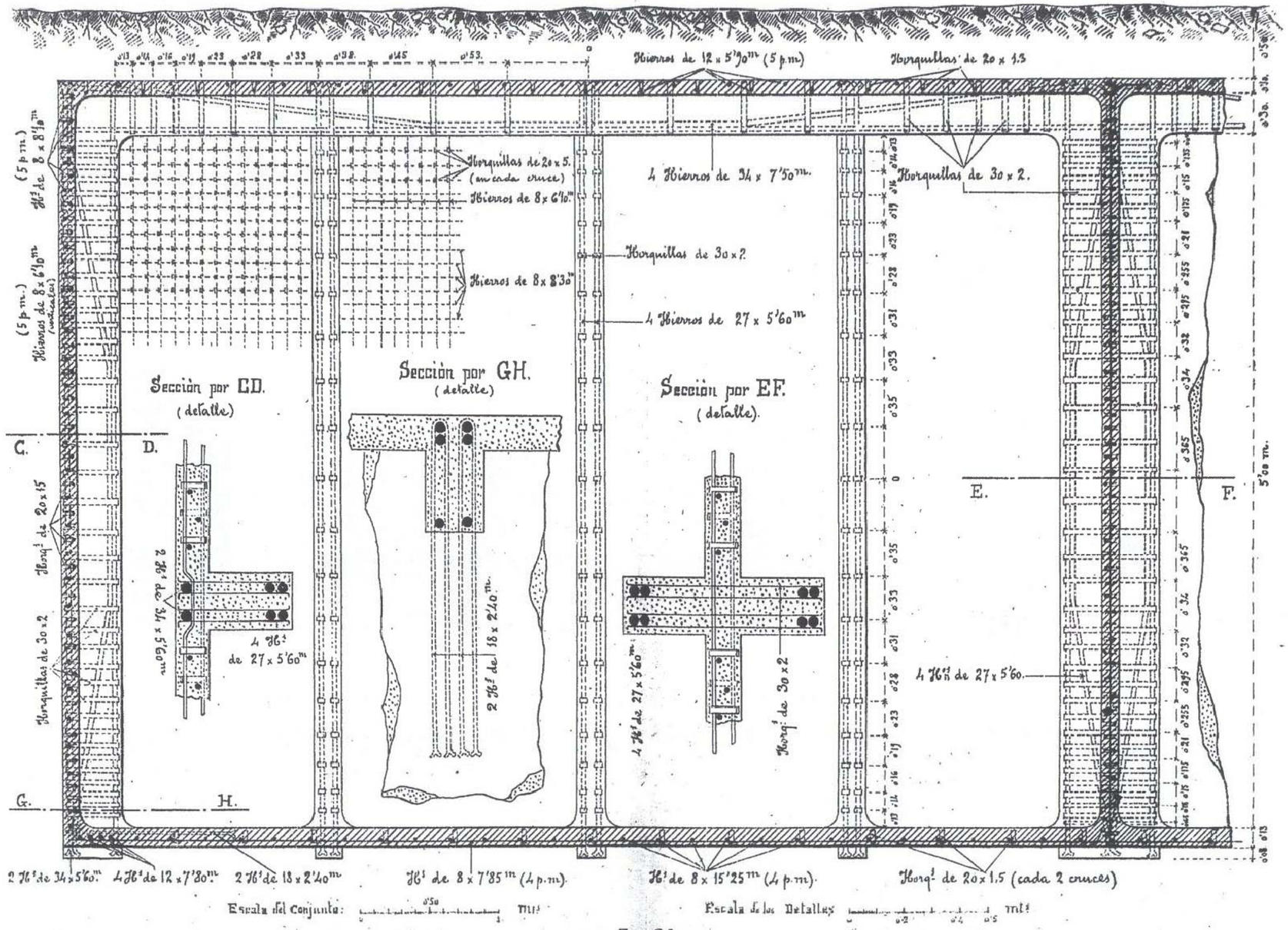


FIG. 2.ª

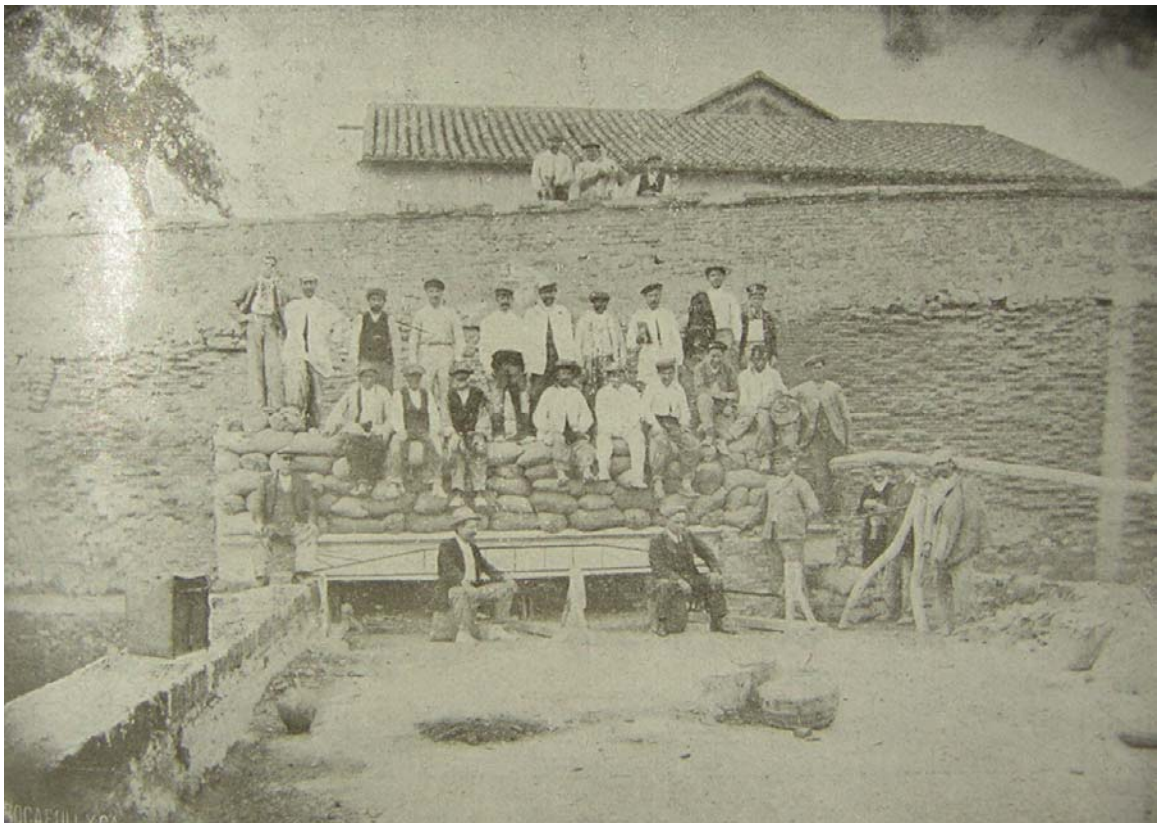


Figura 152. Prueba de carga de una viga de hormigón armado sistema Jalvo. Madrid, agosto de 1903. En *El Cemento Armado.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Convertido en uno de los mayores especialistas del hormigón armado en nuestro país seguramente registró la patente para asegurarse su independencia y no tener que rendir cuentas a nadie de sus construcciones. En 1903 puso a disposición de todos su conocimiento y experiencia con la publicación de un completo manual práctico cuyo objeto no era otro que *"propagar un sistema de construcción nuevo, envuelto hasta ahora en el misterio que la explotación de las patentes de invención exige",* cosa que Jalvo consideraba perjudicial, pues *"ningún facultativo ha de adoptar un sistema que no conozca con detalle"*[351].

Esto no implica que se desentendiera de las cuestiones empresariales. En 1904 asumió la dirección (técnica y financiera) de una nueva fábrica de objetos de hormigón armado, bajo la razón comercial *"La Económica"*.

Entre los objetos que se iban a fabricar figuraban *"tubos, tajeas, alcantarillas, sifones, fregaderos, losas, baños, chimeneas, fuentes, sarcófagos, panteones, bancos de jardín, pequeños depósitos transportables y cuantos elementos decorativos puedan tener aplicación en las construcciones, substituyendo la piedra natural por una artificial del color que uno desee"*[352].



Figura 153. Anuncio de la Constructora Económica publicado en *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

En 1904 se celebró en Madrid el sexto congreso internacional de arquitectos. Mauricio Jalvo tuvo una destacada intervención en defensa del hormigón armado en el debate de la ponencia "*influencia de los modernos procedimientos de construcción en la forma artística".* Frente a quienes, como el arquitecto Enrique Fort, defendían que *"esos procedimientos no debían ser empleados más que en la construcción de edificios industriales y utilitarios, que no tienen como meta la manifestación de la belleza",* Jalvo argumentó que el hormigón armado *" podía rendir los mayores servicios porque su manera de ser permite construir decorativamente",* sosteniendo además que *"no impone ninguna forma determinada; se adapta a la que elija el arquitecto y el constructor ejecute; si los arquitectos lo estudiasen habría una perfecta conjunción entre el artista y el constructor y el buen aspecto de los edificios y la decoraciones no harían sino ganar"*[353].

Al hacer estas afirmaciones sin duda tendría presente su proyecto de dos casas para la viuda de Rolland, en el número diez de la calle Hermosilla de Madrid). Jalvo diseñó dos inmuebles en los que *"todos los pisos y cubierta serán de hormigón armado y todos los materiales que se empleen serán inatacables por el fuego y la humedad; Las fachadas a la calle de Hermosilla serán de piedra natural los elementos lisos y hormigón armado imitando mármoles los demás elementos decorativos"*[354].

Sin embargo, para su proyecto de ampliación del inmueble de la calle Principe de Vergara, nº12, que le encargó D. Alvaro Manso de Zúñiga al año siguiente, restringió el hormigón armado a las azoteas. El resto de elementos de este edificio de seis plantas y sótano lo resolvió con los materiales tradicionales[355].

En los años que sucedieron al accidente del *Tercer Depósito*, Jalvo, que seguía ejerciendo de arquitecto en Madrid, apenas encontraría oportunidades de aplicar el hormigón armado en sus proyectos. Entre su abundante y variada producción de este periodo sólo se encuentra una actuación con el nuevo material: la reforma del antiguo Palacio del duque de Frías para convertirlo en la nueva *Casa del Pueblo* de Madrid.

Adquirido este inmueble en agosto de 1907, su utilización como sede de las sociedades obreras exigía una profunda reforma, que transformó por completo su configuración interna y su apariencia externa. El proyecto fue encomendado a Jalvo, que al parecer tenía cierta vinculación con el Partido Socialista[356].

La intervención en este edificio incluía también la construcción de un salón para reuniones en el jardín que tenía con fachada a la calle Gravina. Jalvo proyectó un edificio de planta circular con varios niveles de graderías, contemplando que *"todo el entramado resistente, galerías, azoteas, escaleras, etc será de un material incombustible, hormigón armado o hierro"*. En la práctica, se trataba de una estructura metálica con algunos elementos de hormigón armado: *"la azotea, cornisa y elementos decorativos de fachada que sobre ella se apoyarán serán de hormigón armado con decoración superpuesta"*[357].

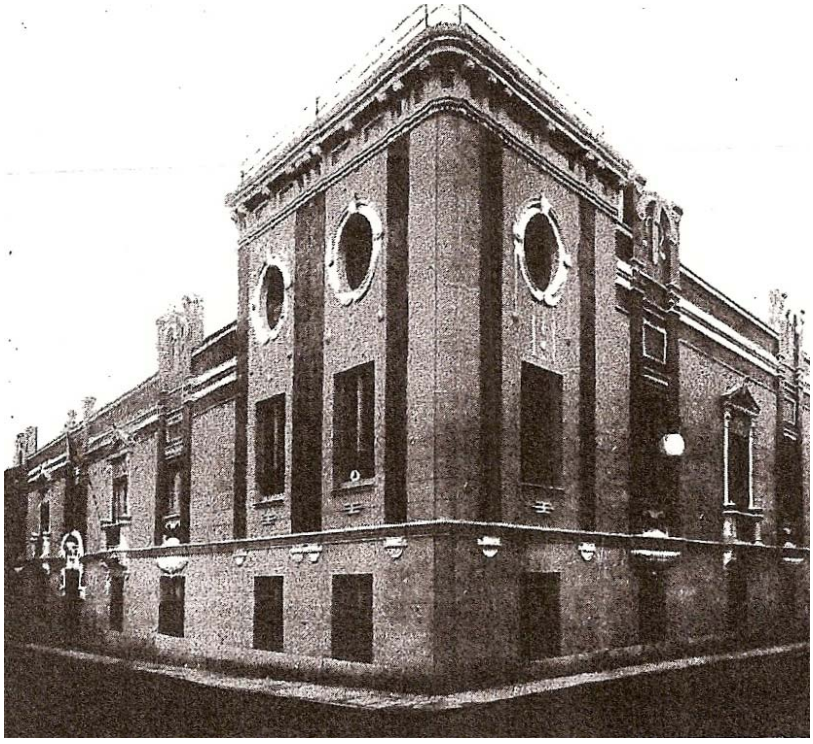


Figura 154. Casa del Pueblo. Madrid, 1907. Mauricio Jalvo, arquitecto. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Tal vez desencantado, en 1915 decidió dar un giro a su carrera emprendiendo un viaje por el Centro y Norte de América, que se prolongaría durante año y medio. Visitó la Exposición Internacional de San Francisco y después *"se trasladó a la República de Panamá, en cuya capital dejó montada una fábrica de cemento portland artificial por encargo de la sociedad Hijos*

de Miguel Samper". También haría escala en Colombia, donde realizó "*varios trabajos de urbanización y bosquejado un gran proyecto de saneamiento en Bogotá"* [358].

De este importante proyecto le fue ofrecida la dirección de obra; y es probable que aceptara, pues se pierde su pista hasta 1928, cuando ganó la plaza de arquitecto municipal de Melilla. En la próspera ciudad norteafricana desarrolló una intensa actividad hasta su fallecimiento en 1935, registrándose hasta ciento cincuenta actuaciones, entre obras públicas y privadas.

Sin embargo, su obra melillense tiene poco interés en lo que se refiere al hormigón armado. En la mayoría de sus proyectos (casi todos viviendas unifamiliares) salvo contadas excepciones, optó siempre por la tradicional solución de estructura metálica y forjados de bovedilla tabicada y viguetas metálicas.

Su proyecto más destacado tal vez sea el de los nuevos almacenes municipales del barrio del Tesorillo(1929), en el que contemplaba la construcción de dos naves destinadas a cocheras, una de ellas para carros y la otra como cuadra para las caballerías. Para resolver su techo, que tenía una superficie de 630 m^2, utilizaría el hormigón armado, aunque no de su propio diseño. Eligió unas cubiertas patentadas de un sistema llamado *Molazo*[359].

10) Eduardo Gallego Ramos.

El papel que jugó Martínez Unciti en la introducción del hormigón armado en España guarda una gran semejanza con el de otro ingeniero militar, el capitán Eduardo Gallego Ramos.

Nacido en 1873, los últimos años del siglo XIX los pasó en Filipinas, donde tomó parte en diversas operaciones militares de la guerra primero contra los insurrectos y luego contra los norteamericanos[360].

A su regreso a España tras el desastre decidió consagrarse plenamente a la ingeniería y a la actividad empresarial, asumiendo la representación de la *Compagnie Française du Metal Deployé* en España[361]. La tela metálica conocida con ese nombre estaba teniendo gran aceptación en el extranjero para formar piezas de hormigón armado, habiéndose empleado en numerosos edificios de la Exposición Universal de 1900 en París[362]. Seguramente aquí tendría su primer contacto con el nuevo material de construcción.

Gallego no desempeñaría esta representación durante mucho tiempo, aunque seguiría manteniendo una estrecha vinculación con el Metal Deployé, que utilizaría habitualmente en sus futuros proyectos y obras. A partir de 1902 los llevaría a cabo en colaboración con el ingeniero José García Benítez, con quien formaría la consultora de ingeniería *Benítez, Gallego y Compañía.*

Efectivamente lo usaron en uno de los primeros trabajos de la nueva sociedad, el pabellón de retretes del Cuartel de Artillería de Getafe.

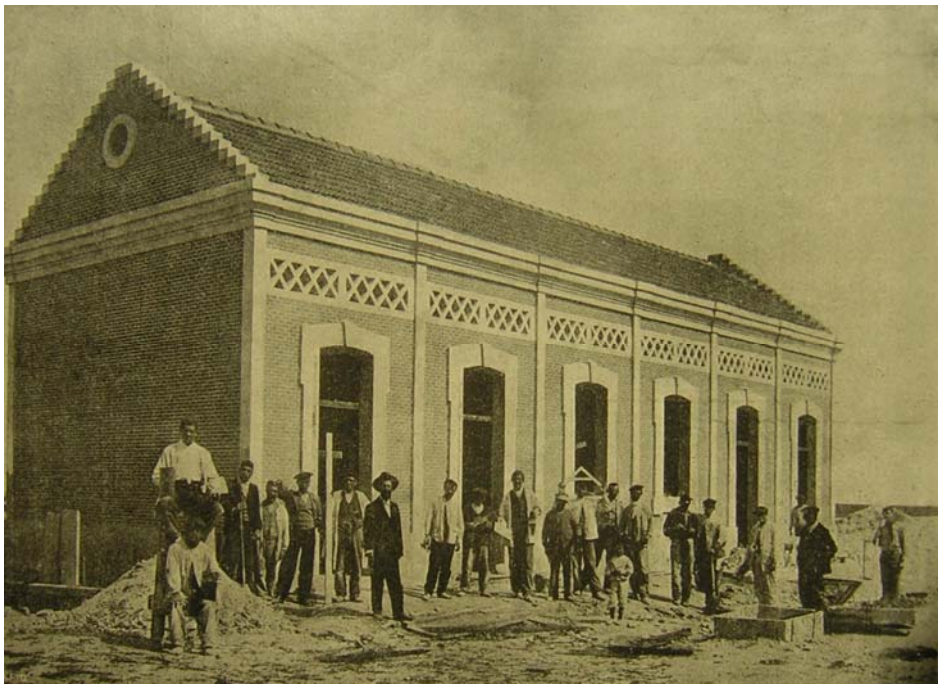


Figura 155. Pabellón de retretes del Cuartel de Artillería de Getafe (Madrid). Benítez y Gallego, ingenieros.1902. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid

Se trataba de una sencilla edificación bajo cuya rasante se disponía un depósito séptico o pozo Mouras de cinco metros de profundidad y una superficie en planta de dieciocho por seis metros, construido con hormigón armado, material *"que permite constituir fondo, paredes y piso de una sola pieza monolítica, favorece notablemente el modo d trabajar de cada uno de los elementos de la construcción, disminuye los espesores reduciendo los movimientos de tierras, soluciona por completo el problema higiénico y permite una gran rapidez en la ejecución de las obras"*. Además de estas ventajas, la solución de hormigón armado se justificaba *"por el buen resultado obtenido con dicho sistema en los dos depósitos que hace diez años se construyeron para el servicio de ese cuartel, y en los que hasta la fecha no se ha notado la menor filtración y desperfecto"*[363].

Otra de sus construcciones de ese año fue un depósito de agua para unas instalaciones industriales situadas en las afueras de Madrid. Se formaba con una cuba cilíndrica elevada sobre cuatro pilares, todo ello construido con hormigón armado y *Metal Deployé*.

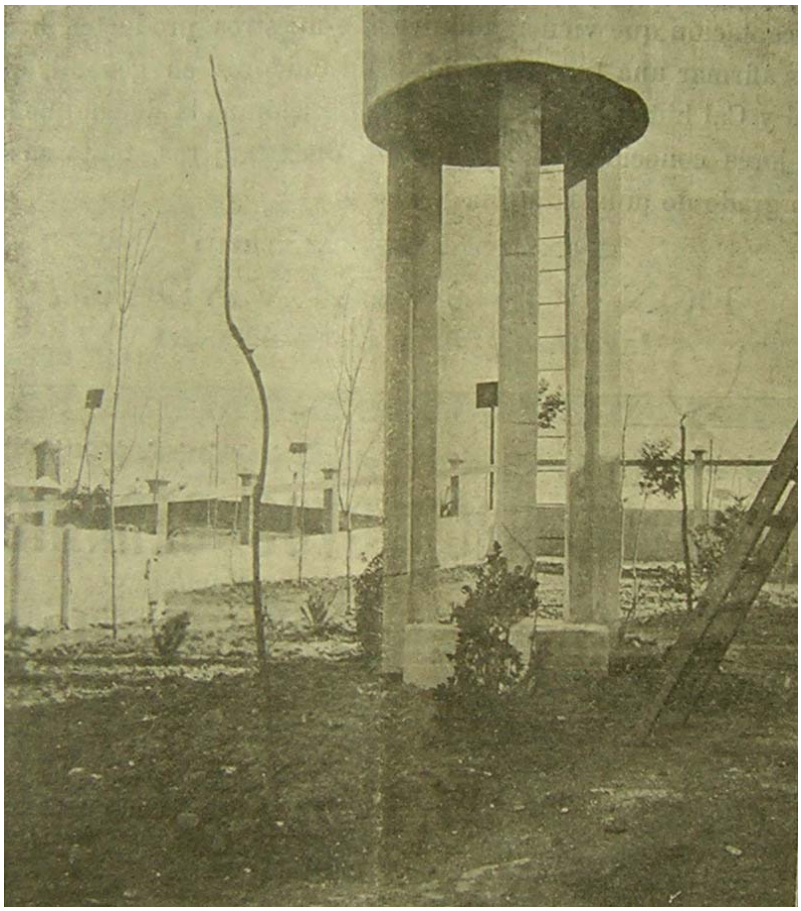


Figura 156. Depósito elevado en las afueras de Madrid. Benítez y Gallego, ingenieros.1902. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid

De mayor envergadura sería el refrigerante de la *Fábrica de Eléctrica del Mediodía*, en Madrid, también construido en 1902. Para enfriar el agua de condensación de una máquina de vapor de 1000 CV había que montar una instalación capaz de enfriar un caudal de 300 m^3/h. Sobre un depósito existente, Benítez y Gallego proyectaron una estructura de hormigón armado, con pilares, tabiques armados y zapatas, todos con *Metal Deployé* [364].

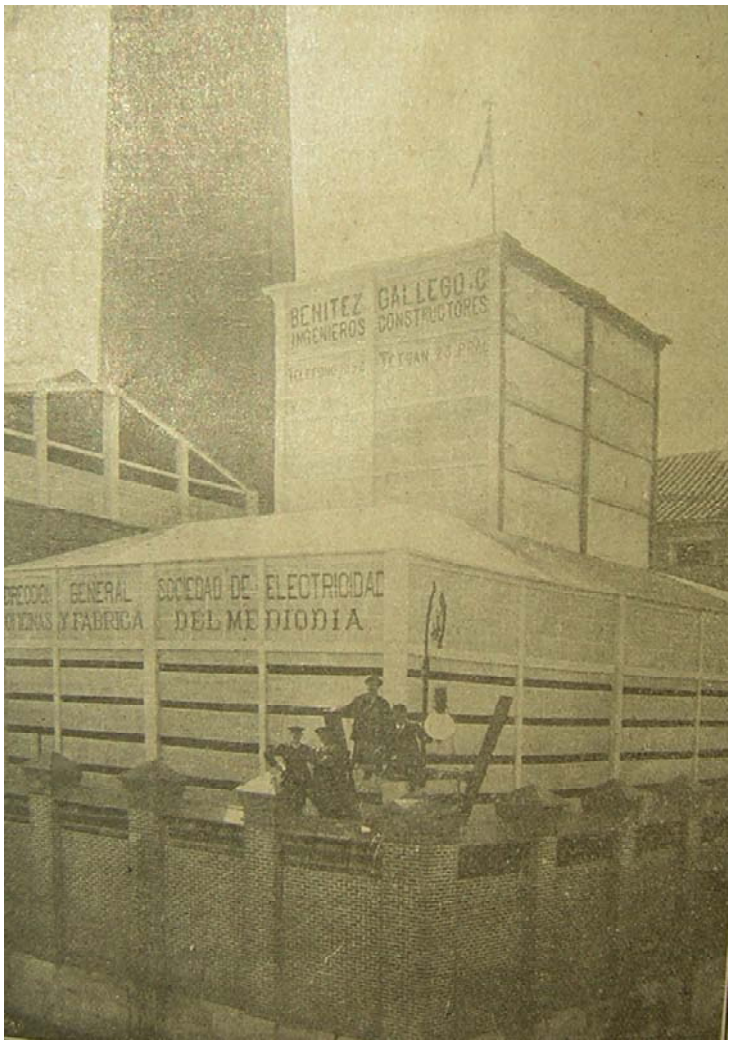


Figura 157. Torre de refrigeración para la Central Eléctrica del Mediodía.Madrid, 1902. Benítez y Gallego, ingenieros. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid

El diseño de los elementos estructurales de la Central del Mediodía constituiría la base para su *sistema de cemento armado sunchado* [sic], patentado en diciembre de 1902[365]. Coincidiendo con ello, la consultora de Benítez y Gallego pasó a llamarse *Sociedad de Aplicaciones de la Ingeniería*. En ella se integraría también el arquitecto Luís Sáinz de los Terreros.

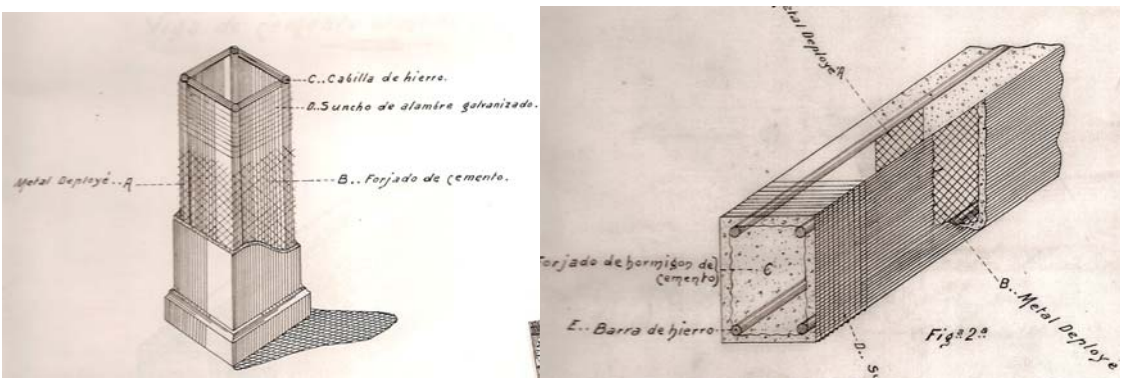


Figura 158. Sistema de hormigón armado patentado por la Sociedad de Aplicaciones de la Ingeniería. 1902. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

Al año siguiente la nueva sociedad extendería su actividad fuera de Madrid, con importantes obras de hormigón armado en la provincia de Cádiz. Dirigidas por otro ingeniero de la empresa, Alfredo Velasco, se construyeron las estructuras de la fábrica de dulces de D. Antonio Moyano, la de la villa de recreo del Sr. Lasaleta en Jerez o la del Casino Sanluqueño. A mediados de 1904 utilizaron vigas prefabricadas de hormigón armado en la cubierta de la Capilla de las Hijas de la Divina Pastora en Sanlúcar de Barrameda y en el piso del *foyer* del Gran Teatro de Cádiz (en este último con la aprobación del arquitecto Cabrera, director de las obras)[366]. Al margen de estas obras probaría en los concursos del Tercer Depósito o el del Sifón del Sosa, aunque sin éxito.

Hacia 1906 la Sociedad de Aplicaciones de la Ingeniería avanzaba en el desarrollo del *Metal Deployé* utilizando los arcos Golding, que ya había usado en el pabellón de retretes del Cuartel de Artillería en Getafe, en obras como las bóvedas del Colegio de las Hijas de la Divina Pastora en Sanlúcar o las cubiertas de un depósito enterrado en la Fábrica de electricidad del Mediodía en Madrid[367].

Pero a pesar de estos encargos en provincias, era en la capital donde la empresa de Gallego tenía su mayor volumen de trabajo. Por eso debió afectarle mucho la paralización de la construcción con hormigón armado que sobrevino tras el desastre del *Tercer Depósito.* No obstante, a pesar de todo, en esos años difíciles *"siguió empleándolo en cuantas circunstancias entendía era oportuna y siempre en combinación con los procedimientos constructivos habituales"*[368]*.*

La *Sociedad de Aplicaciones de la Ingeniería* se disolvió definitivamente hacia 1910, pasando a ejercer Gallego Ramos como consultor independiente en Madrid, especializado en ingeniería sanitaria y construcciones de cemento armado.

Como tal colaboró con su antiguo socio, el arquitecto Sáinz de los Terreros, en las obras de ampliación de la fábrica de cervezas "El Águila". Gallego diseñó diversos elementos constructivos que no se podían resolver con los materiales tradicionales. Por ejemplo, un forjado para soportar una sobrecarga de 4000 kg/m^2 y un depósito de agua de 150 m^3 de capacidad para el pabellón de producción de hielo. También proyectó los refuerzos de la estructura necesarios para ubicar un depósito de agua fltrada de 82500 kg de peso en el quinto piso del edificio principal. El refuerzo consistió en embeber en hormigón armado las vigas maestras y envolver con hormigón "sunchado" las columnas de fundición existentes[369].

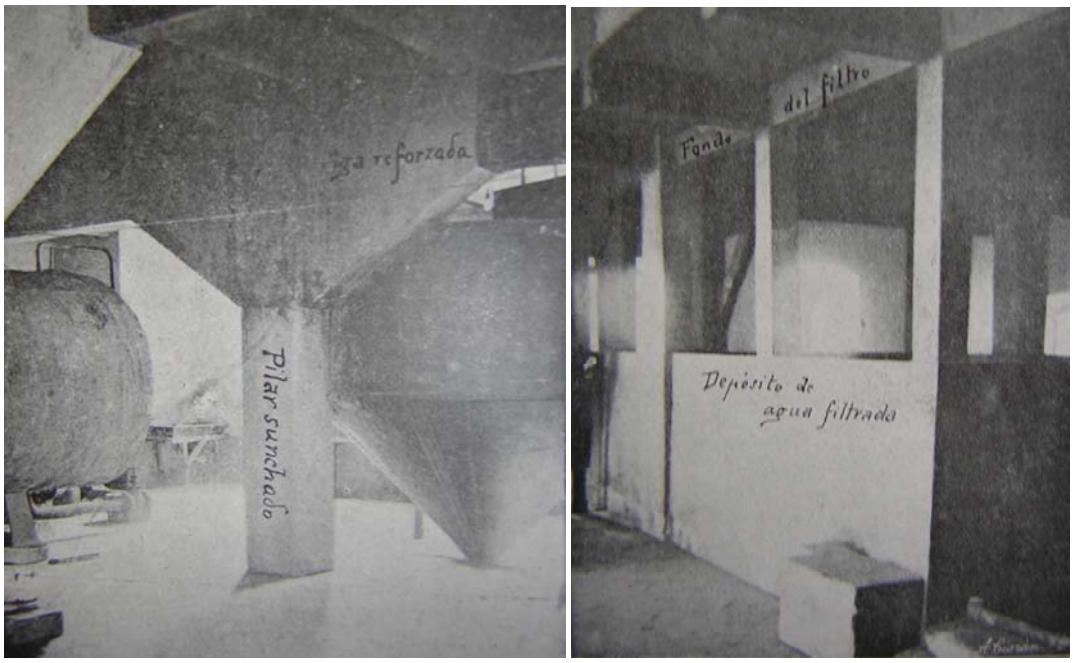


Figura 159. Estructuras de hormigón armado en la Fábrica de cervezas "El Aguila". Madrid, 1910. Eduardo Gallego Ramos, ingeniero militar. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid

Otro de sus trabajos destacados como consultor fue la cimentación de un inmueble de seis pisos proyectado por el arquitecto Cesáreo Iradier en la confluencia de las calles del Marqués de Cubas y Zorrilla. Ante la inexistencia de una capa de terreno competente a profundidad razonable, el arquitecto optó por *"cimentar por extensión, empleando el hormigón armado"*[370].

Gallego diseñó unas placas corridas de hormigón armado bajo los muros de carga que componían la estructura del edificio. Las de los muros de fachada, que transmitían una carga lineal de hasta 45.000 kg/m, tenían un ancho de tres metros.

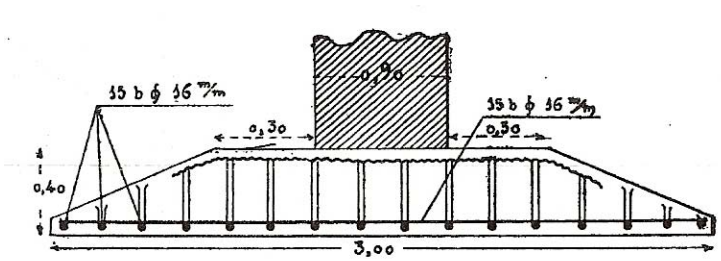


Figura 160. Placa corrida de cimentación para los muros de fachada del edificio situado en las calles Marqués de Cubas y Zorrilla. Madrid, 1917. Cesáreo Iradier, arquitecto y Eduardo Gallego Ramos, ingeniero militar. En *La Construcción Moderna.* Biblioteca Nacional de España.

Pero la trayectoria de Eduardo Gallego como proyectista y constructor queda empequeñecida frente a su importantísima obra teórica y de divulgación, que llevó a cabo principalmente a través de la revista. Fundada en enero de 1903[371], tras la desaparición de *El Cemento Armado*, se convertiría en el principal escaparate de los progresos que la construcción con hormigón armado iría haciendo en las primeras décadas del siglo XX. A diferencia de esta última, *La Construcción Moderna* tendría una prolongada existencia, publicándose durante más de veinte años.

Gallego, además de codirigir la revista con el arquitecto Saínz de los Terreros, fue uno de sus más prolíficos colaboradores, siendo incontables sus artículos sobre ingeniería sanitaria y hormigón armado.



Figura 161. Portada de la revista *La Construcción Moderna* en 1913. Hemeroteca Municipal de Madrid.

Se preocupó por estar al tanto de las novedades en materia de construcción (no sólo las relacionadas con el cemento armado), así como de visitar y estudiar las principales obras que se hacían en Madrid. De todo daría cumplida cuenta en la revista y en varios manuales técnicos que publicó a lo largo de su carrera, lo que le reportaría un importante prestigio como técnico especialista.

11) <u>Mariano Luiña.</u>

La actividad del ingeniero de caminos Mariano Luiña Fernández aparece siempre muy ligada a la de José Eugenio Ribera. En efecto, fue su más estrecho colaborador hasta 1910, cuando decidió emprender su propia aventura empresarial. Sin embargo, su trayectoria tiene personalidad propia, ocupando Luiña un lugar destacado entre los protagonistas de la introducción del hormigón armado en España.

Nada más terminar la carrera, Luiña se incorporó a la compañía de Ribera. No tardaría en ganarse su confianza pues ya en 1903 era jefe de obra del Depósito de Gijón, por entonces una de sus obras más comprometidas.

Tras la feliz finalización de los trabajos en Gijón se haría cargo de una misión todavía más importante, la cubierta del *Tercer Depósito* del Canal de Isabel II en Madrid. En esta obra tendría que pasar el que sin duda fue el trago más amargo de su vida profesional, el accidente que se llevó la vida de más de sesenta trabajadores. No obstante, al asumir Ribera toda la responsabilidad, este suceso no afectó significativamente a su ejecutoria profesional, que seguiría desarrollando con normalidad en la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles.

Así, en 1906 se encontraba a cargo de las obras del Sifón del Sosa, uno de los proyectos descollantes del Canal de Aragón y Cataluña. Este trabajo fue muy importante para él, pues le serviría de preparación para la que sería la obra cumbre de su carrera: el sifón de Albelda, la otra gran construcción del Canal.

Luiña, que por entonces ya era el subdirector de la empresa de Ribera, fue el autor del proyecto que resultó ganador en el concurso de su proyecto y ejecución celebrado en febrero de 1907.

En las bases del concurso se admitía cierta tolerancia de filtraciones, por lo que la concepción general de la obra era absolutamente diferente a la del sifón del Sosa. Así pues, Luiña proyectó "*un tubo continuo sin juntas ni camisa de palastro, excepto en una pequeña parte de su longitud, de 4 metros de diámetro interior, 30 metros de carga y unos 725 metros de longitud".* Este tubo era de hormigón armado de 200 milímetros de espesor, componiéndose su armadura de *"círculos aislados de sección en T, como directrices, variando sus secciones y separaciones con las presiones, y de generatrices de redondos con ataduras de alambre en todos sus cruces".*

El tubo se apoyaba "*sobre un cimiento o cama de hormigón ordinario, que lo envuelve en toda su parte inferior hasta el diámetro horizontal".* Para evitar que las filtraciones llegasen al terreno natural y descalzaran el apoyo del sifón, se dispuso *"a la derecha de la cama un colector visitable y en el lado izquierdo, entre la cama y el talud de la excavación un espacio que se rellenó de piedra en seco para formar un dren"*[372].

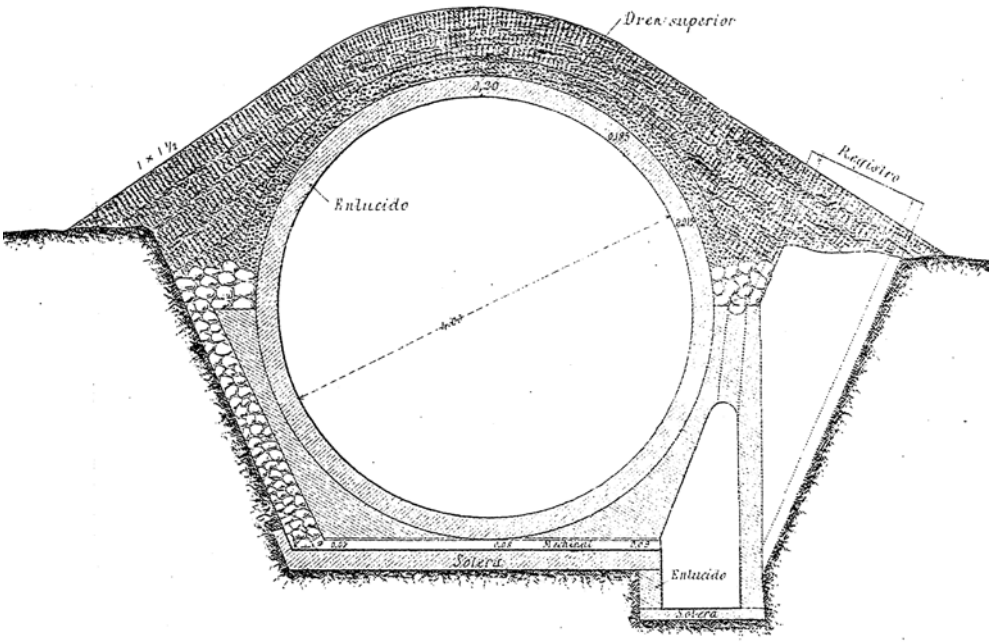


Figura 162. Sección transversal del sifón de Albelda. 1910. Mariano Luiña, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

La ejecución del sifón fue muy complicada. A las dificultades para el transporte de los materiales se sumaron otras derivadas de la ejecución propiamente dicha, como la organización y montaje de la instalación de hormigonado. Sin embargo, Luiña se desenvolvió con acierto y pudo terminar la obra satisfactoriamente en 1909, dentro del plazo previsto.



Figura 163. Obras del Sifón de Albelda. 1910. Mariano Luiña, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Con el Sifón de Albelda Luiña consiguió un importante reconocimiento. Se trataba de la obra más grande de su clase y atrajo la atención de muchos técnicos españoles y del extranjero.

Completaría su repertorio de realizaciones con varios puentes realizados en colaboración con Ribera. Por ejemplo, ambos ingenieros firmaron en abril de 1909 el proyecto del puente sobre el río Jarama para la línea férrea que la Azucarera de Madrid tenía establecida entre la Poveda y Gozquez.

Estaba formado por once tramos rectos de catorce metros de luz, formados por dos vigas de 0,35 x 1,00 m, sobre las que descansaba un forjado de 3,65 m de anchura. Las pilas, terminadas en sus frentes por superficies cilíndricas a modo de tajamares, también eran de hormigón armado[373].

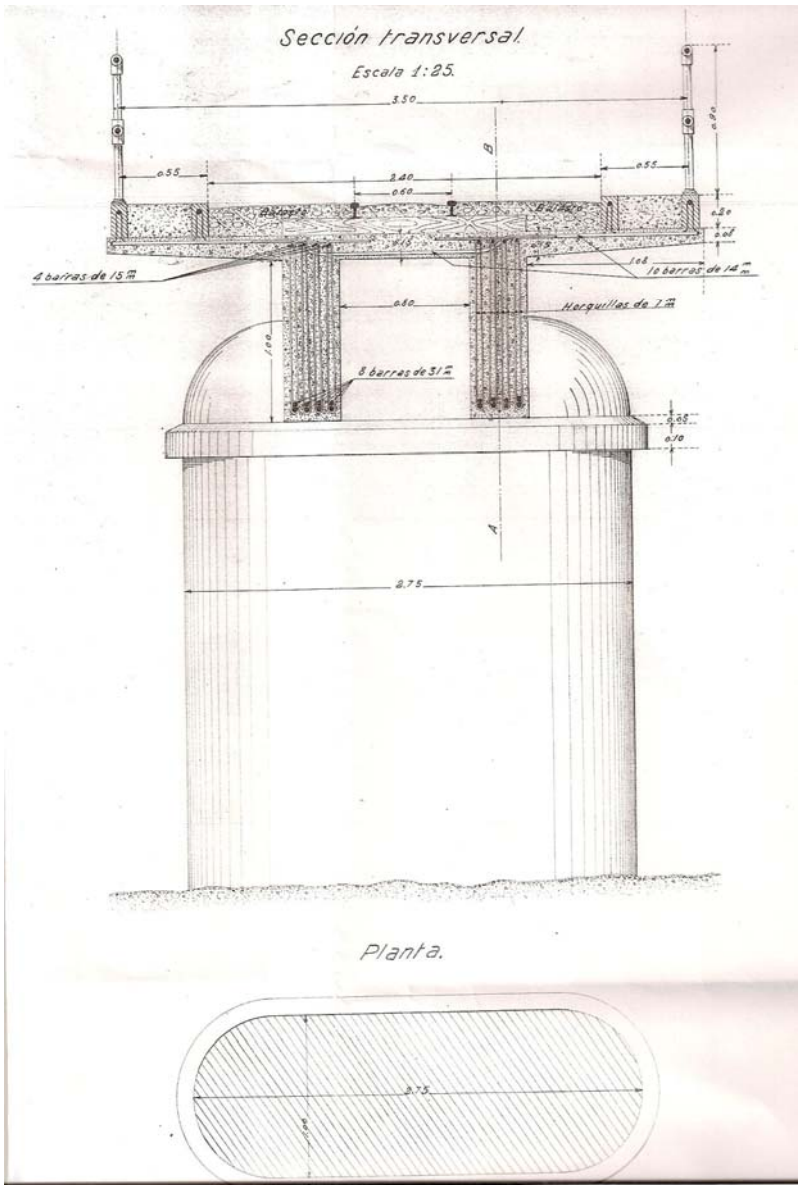


Figura 164. Puente sobre el río Jarama. Vista de la pila y sección transversal. 1909. Mariano Luiña y José Eugenio Ribera, ingenieros de caminos. *Archivo General de la Administración.*

Con tan amplio bagaje, decidió emprender su propia andadura y, desvinculándose de Ribera, formó una empresa constructora y de consultoría especializada en obras de hormigón armado.

Entre las obras de esta segunda etapa de su carrera sobresale el viaducto sobre el río Vinalopó en Elche, terminado en 1913. Estaba formado por un tramo central abovedado de cincuenta metros de luz y dos tramos laterales rectos. Luiña lo proyectó y también se hizo cargo de su construcción[374].

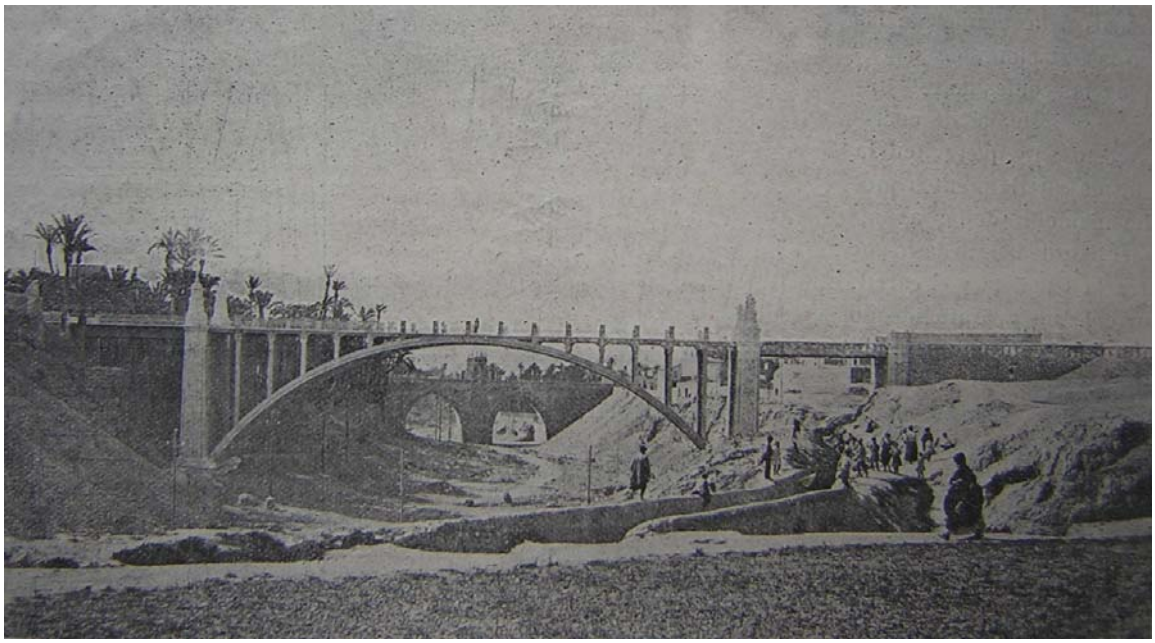


Figura 165. Viaducto sobre el río Vinalopó. Elche. 1913. Mariano Luiña, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas*. Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Años más tarde el ingeniero de caminos Fernando Hué tomaría algunos detalles de este puente para su viaducto de Teruel, terminado en 1931. Luiña sería el contratista de esta importante obra, su última actuación profesional documentada[375].

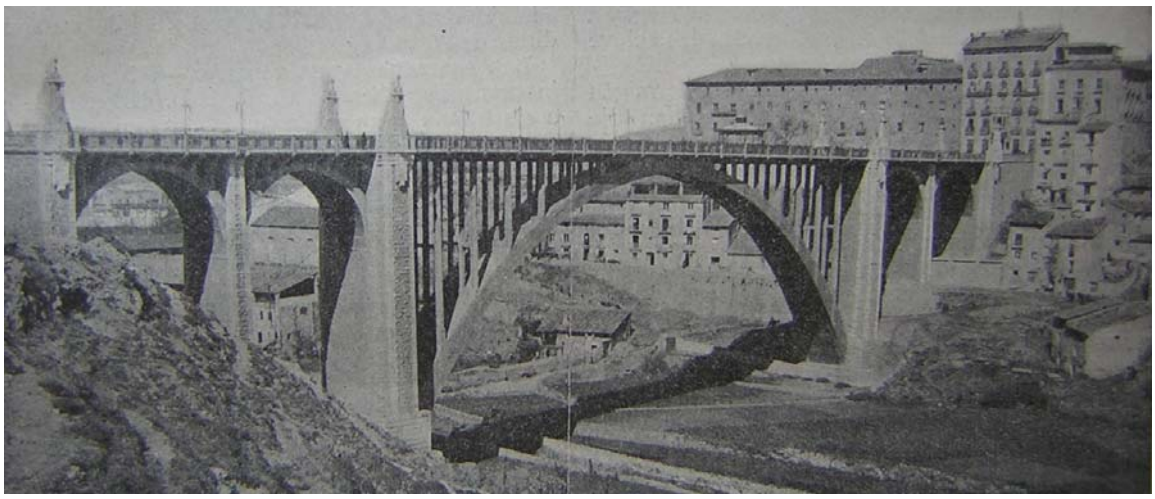


Figura 166. Viaducto de Teruel. 1931. Fernando Hué, ingeniero de caminos. Mariano Luiña, constructor. En la *Revista de Obras Públicas*. Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

12) Construcciones y Pavimentos.

Iniciada la segunda década del siglo XX, la etapa de los pioneros iba a quedar definitivamente superada. El uso del hormigón armado se estaba generalizando, dejando de constituir las patentes una ventaja comercial. La mayoría de los protagonistas de la primera época iban a desaparecer, repartiéndose el mercado de la construcción con hormigón armado unas pocas empresas constructoras de gran tamaño. Las que mejor supieron adaptarse a las nuevas condiciones fueron la *Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles* (la empresa de Ribera) o la *Societé des Ciments Portland de Sesta*o. A ellas se sumaría una empresa catalana, Construcciones y Pavimentos, que entraría con fuerza en el mercado en torno a 1910. Con ella Cataluña se situaba otra vez en la vanguardia de la nueva técnica de construcción en España.

Desde 1904 Joan Miró Trepat dirigía la empresa *Miró Trepat y Compañía*, dedicada a la construcción de edificios y obras civiles. En torno a esta empresa, radicada en Barcelona, se fue aglutinando un notable equipo de profesionales, encabezado por los arquitectos Lluís Homs Moncusí, director de la oficina técnica, y Eduard Ferrés Puig, responsable de la dirección artística[376].

Algunos años después la compañía había experimentado un crecimiento importante y su director decidió ampliar su campo de acción basándose en las nuevas construcciones de hormigón armado. En 1909 se reorganizó la empresa, que pasó a llamarse *Construcciones y Pavimentos, S.A..* Sus aspiraciones de implantación nacional se plasmaron en la apertura de una oficina técnica en Madrid, bajo la dirección del ingeniero de caminos López Sandino. Al mismo tiempo, se reforzó el cuerpo técnico con numerosos ingenieros industriales y arquitectos, contando también con algunos especialistas extranjeros (belgas, franceses e italianos)[377].

Con esta formidable infraestructura la empresa podía acometer el ambicioso objeto que manifestó en el momento de su fundación: *"la formación y ejecución de proyectos de obras, edificios, carreteras, ferrocarriles y puentes, muelles, dársenas, pantanos, confección de pavimentos, explotación de canteras y cuantos negocios industriales, financieros y mercantiles considere convenientes"*[378].

En el ámbito arquitectónico, Construcciones y Pavimentos marcó un hito con el primer edificio de hormigón armado de Barcelona, los almacenes Sangrà. Se construyó con la patente Hennebique, de la que la empresa de Joan Miró Trepat se había hecho concesionaria en torno a 1910[379]. Tomando este sistema como punto de partida, los técnicos de la empresa alcanzarían un notable dominio de las estructuras de hormigón armado arquitectónicas, desarrollando soluciones de gran complejidad, tanto a nivel global del edificio como en elementos singulares (escaleras, voladizos, etc)

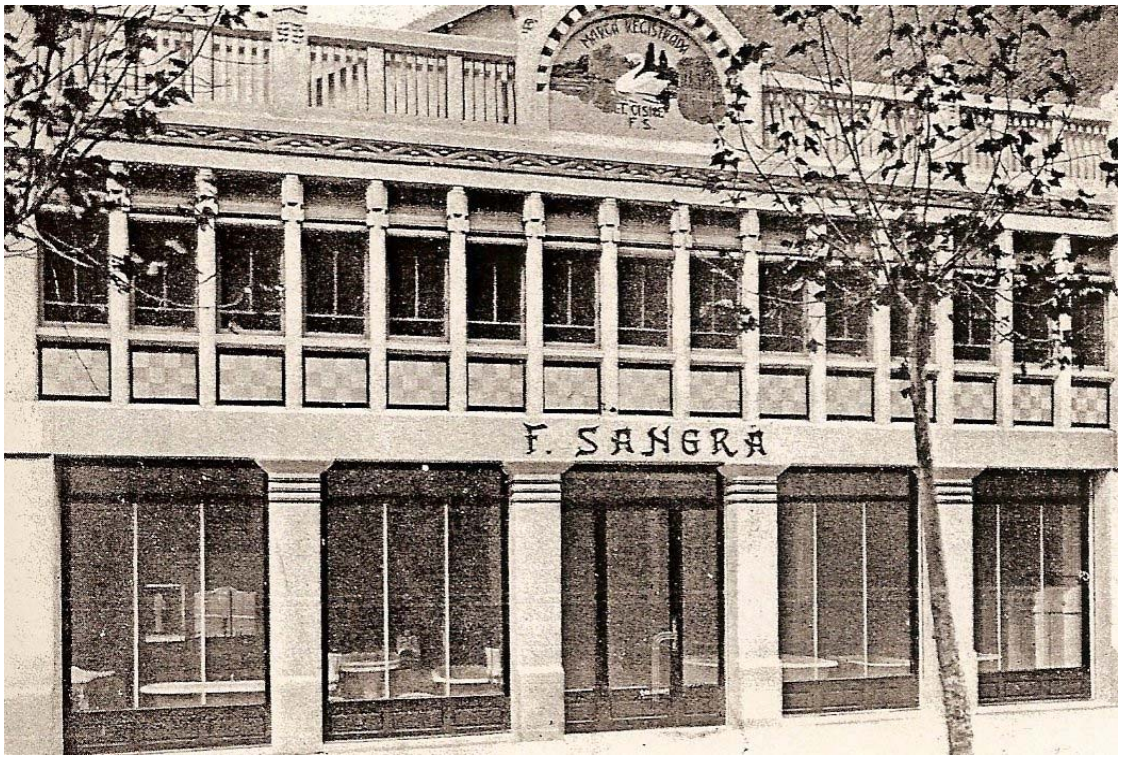


Figura 167. Almacenes Sangrà. Barcelona. 1905-1910. Construcciones y Pavimentos. Col-legi d'arquitectes de Barcelona.

Aunque quizás sus realizaciones más conocidas sean dos grandes hoteles, el *Palace* de Madrid y el *Ritz* de Barcelona. Proyectados ambos por Eduard Ferrés en un estilo historicista de inspiración francesa, fueron las primeras grandes obras arquitectónicas en España que incorporaron masivamente el hormigón armado en su estructura[380]. El establecimiento madrileño, cuyas obras empezaron en enero de 1911 fue proyectado en colaboración con los arquitectos belgas *Alfred Monoyer et Fils*[381]



Figura 168. Hotel Palace en construcción. Madrid, 1913. Eduard Ferrés, arquitecto. Construcciones y Pavimentos.

Junto a estas grandes edificaciones, los arquitectos de *Construcciones y Pavimentos* proyectaron y construyeron gran número de inmuebles de viviendas en Barcelona

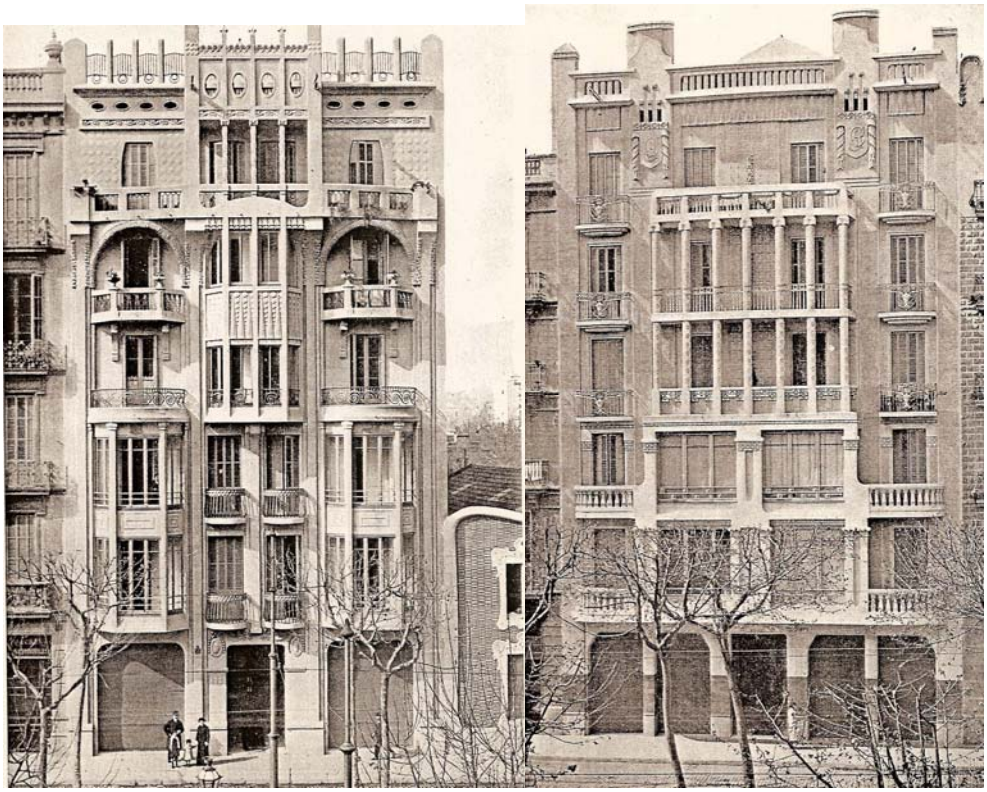


Figura 169. Inmuebles de viviendas en Barcelona. Estructura de hormigón armado. 1905-1910. Construcciones y Pavimentos. Col-legi d'arquitectes de Barcelona.

El equipo de Eduard Ferrés también se hizo cargo de multitud de chalets y villas de gran lujo, entre los que se podría destacar el Palacio Coll, en Barcelona. Otra construcción llamativa fue el Castillo de Cerdanyola. También se usaría el hormigón armado en la rehabilitación del patio de los Naranjos de la antigua Audiencia de Barcelona, hoy Palacio de la Generalitat.

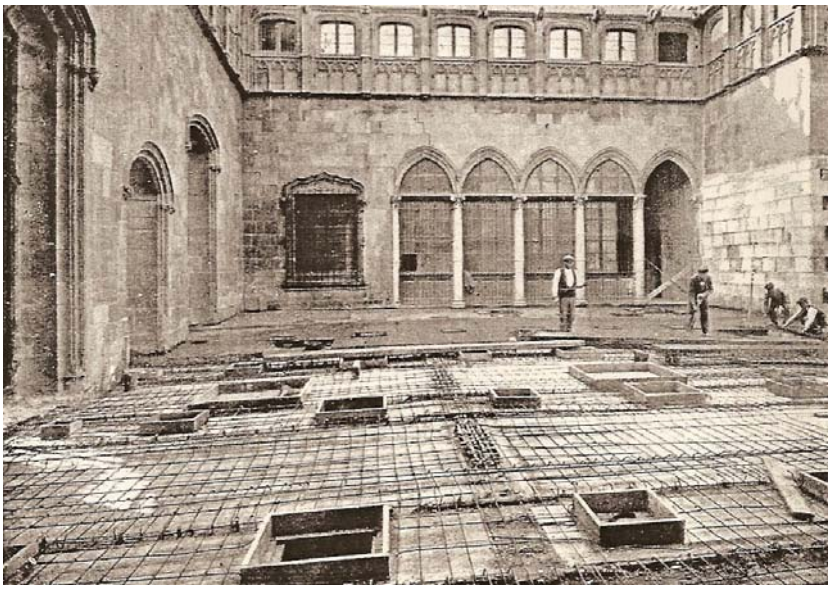


Figura 170. Antigua Audiencia de Barcelona (Hoy, Palau de La Generalitat). Rehabilitación del Patio de los Naranjos. Construcciones y Pavimentos. Col-legi d'arquitectes de Barcelona.

En torno a 1910 Construcciones y Pavimentos se hizo concesionaria de Hennebique. Con esta patente se construirían los *Talleres de Carrocerías Farré*, un novedoso edificio barcelonés que tenía dos plantas de talleres, además de una baja reservada para la exposición de coches. Destacaba por su fachada ligera que facilitaba la iluminación natural de los talleres interiores, lo que se presentaba como una de las grandes ventajas de las nuevas estructuras de hormigón armado[382].

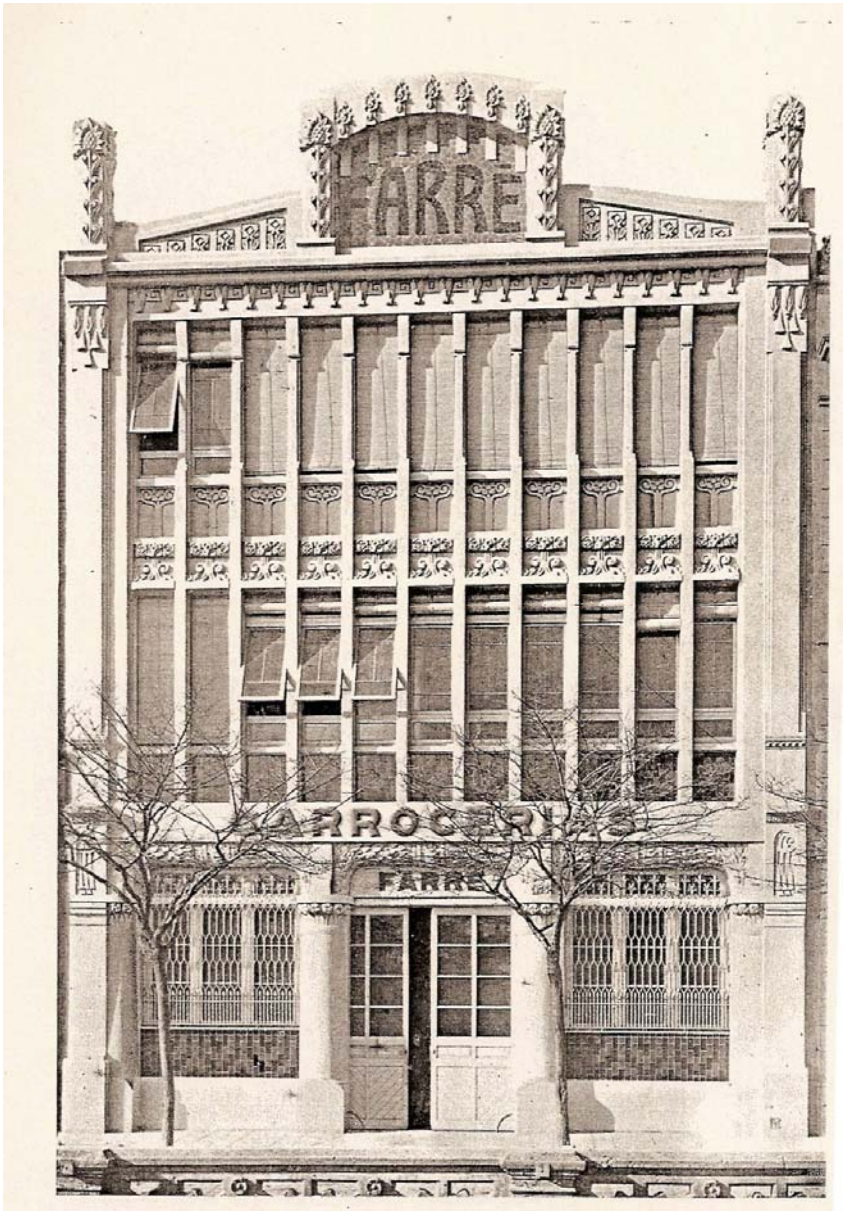


Figura 171. Talleres de Carrocerías Farré. Barcelona.1910. Construcciones y Pavimentos, con patente Hennebique. Col-legi d'arquitectes de Barcelona.

Los *Talleres Farré* eran una buena muestra de cómo el hormigón armado era la solución optima para las necesidades de los edificios industriales. Además de ofrecer las máximas garantías contra el fuego, permitía la construcción de grandes espacios diáfanos y la apertura de huecos de iluminación. Los técnicos de Construcciones y Pavimentos supieron sacar partido de estas potencialidades del nuevo material, aplicándolo en la construcción de múltiples edificios industriales a lo largo de la segunda década del siglo XX.

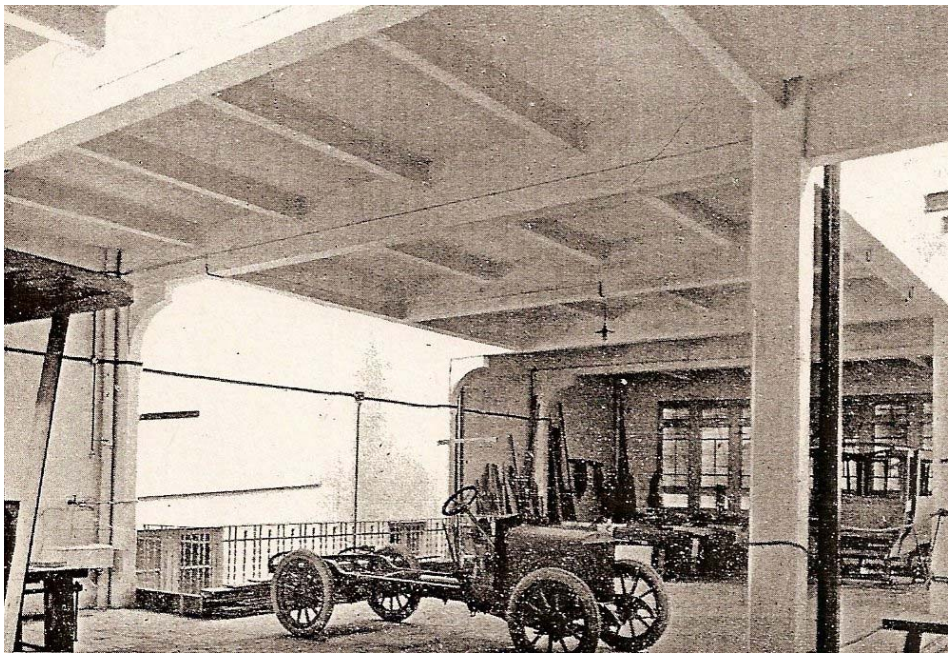


Figura 172. Talleres de Carrocerías Farré. Vista interior; estructura del hormigón armado sistema Hennebique. Barcelona, 1910. Construcciones y Pavimentos. Col-legi d'arquitectes de Barcelona.

La relación de edificios industriales proyectados y construidos por la empresa de Joan Miró Trepat es muy extensa e incluye obras en muy diversos puntos del país. Entre sus realizaciones se cuentan fábricas de automóviles, silos y molinos harineros, hilaturas, fábricas de motores, talleres de carpintería, etc.

No obstante, la mayor parte de su actividad la llevó a cabo en Cataluña, donde hizo algunas construcciones tan llamativas como la fábrica de automóviles Hispano-Suiza (en Barcelona) o una fábrica de tejidos en Cardedeu[383].

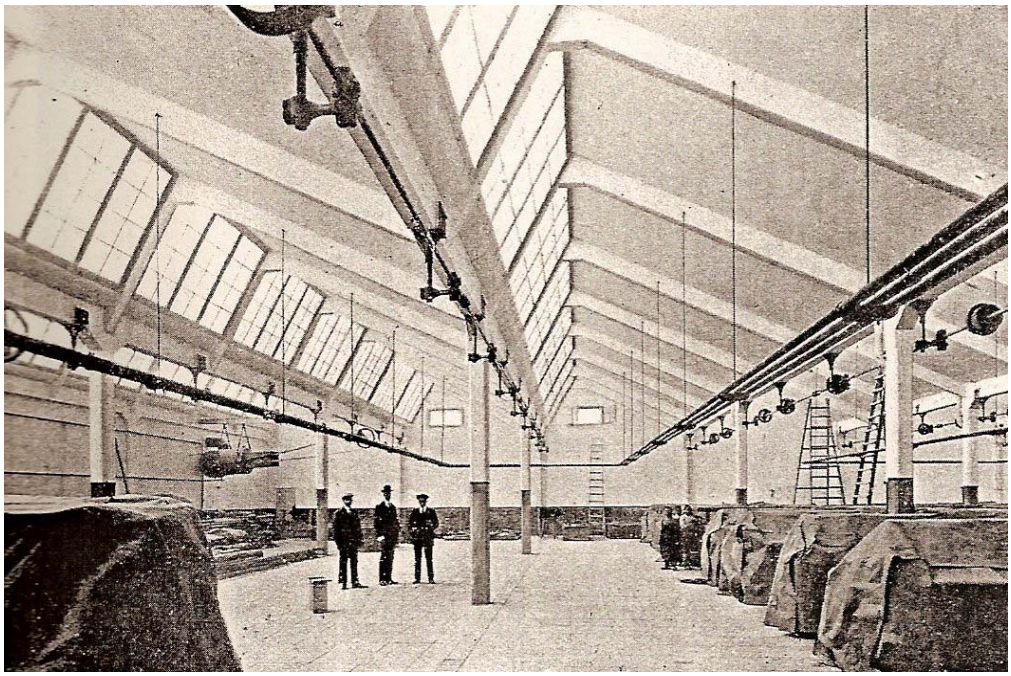


Figura 173. Cubierta inclinada de hormigón armado de la fábrica de tejidos de Cardedeu .Construcciones y Pavimentos, 1910-1920. Col-legi d'arquitectes de Barcelona.

En esos años se estaba produciendo en España un notable avance en la industrialización, siendo uno de sus mayores exponentes la construcción de centrales eléctricas. Sería este otro de los ámbitos en donde Construcciones y Pavimentos tendría un papel destacado, empleando masivamente el hormigón armado para la estructura de estas grandes edificaciones (aunque en ocasiones la combinara con la bóveda tabicada, de gran tradición en Cataluña). Como realizaciones significativas pueden mencionarse la fábrica que hizo para la Sociedad Anónima Energía Eléctrica de Cataluña en Manresa o la enorme central eléctrica de San Adrián del Besós (Barcelona), capaz de suministrar de 80.000 CV[384.]

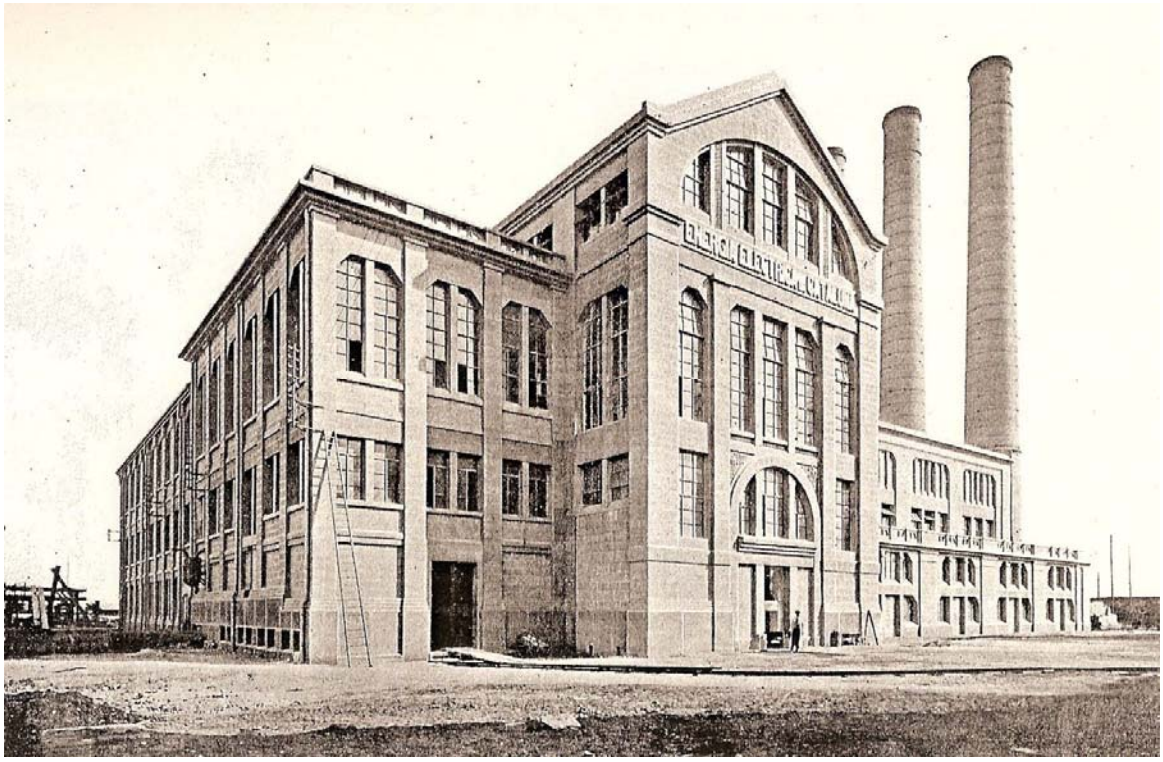


Figura 174. Central eléctrica de San Adrián del Besòs .Construcciones y Pavimentos, 1910-1920. Col-legi d'arquitectes de Barcelona.

Estas formidables instalaciones industriales requerían, además de la edificación propiamente dicha, elementos de ingeniería bastante complejos, como canales, depósitos, pasarelas, plataformas u otras construcciones auxiliares de gran complejidad estructural. El gabinete de ingeniería de Construcciones y Pavimentos desarrollaría un nutrido conjunto de soluciones en hormigón armado para darles respuesta.

Entre sus recursos de ingeniería en hormigón armado también se contaban las cimentaciones especiales, utilizando frecuentemente pilotes prefabricados, tanto en obras terrestres como marítimas.

En este orden de cosas, una de sus realizaciones más llamativas sería la central hidroeléctrica de San Rafael en Espeluy (Jaén), un edificio exento construido en la ribera misma del río Guadalquivir, que se unía mediante una pasarela en viga recta a las edificaciones situadas fuera de la zona inundable.



Figura 175. Central hidroeléctrica de Espeluy. (Jaén).Construcciones y Pavimentos, 1912. Col-legi d'arquitectes de Barcelona.

Pero en el campo de la ingeniería sus obras más destacadas fueron sin duda los puentes. Entre 1910 y 1920, *Construcciones y Pavimentos* contribuiría de forma muy significativa al desarrollo de los puentes de hormigón armado en España, distinguiéndose sus técnicos con numerosos proyectos de gran complejidad, resueltos con muy diversas tipologías estructurales.

Por ejemplo, en la relación de puentes de la compañía pueden encontrarse grandes viaductos de tramos rectos como el de Vallcarca (Barcelona). Tenía cuatro tramos rectos de longitud variable, constituido cada uno de ellos por una viga tubular múltiple, formada por ocho vigas en doble T de alma llena con las alas unidas[385].

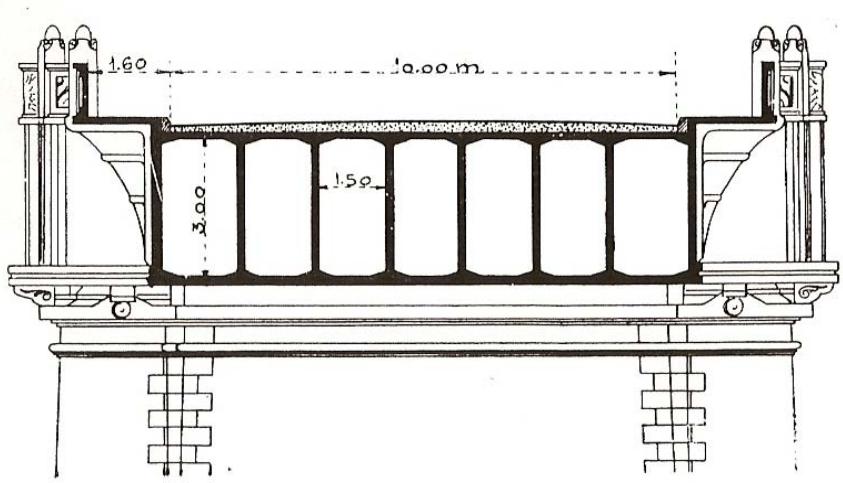


Figura 176. Viaducto de Vallcarca. Sección transversal. Lorenzo Matéu, ingeniero industrial y Eduard Ferrés, arquitecto. En Ribera, *Puentes de fábrica y de hormigón armado.* Biblioteca del colegio de ingenieros de caminos.

El proyecto fue obra del ingeniero industrial Lorenzo Matéu. Con él colaboraría el arquitecto Eduard Ferrés, ya que al encontrarse el viaducto en una zona urbana se tuvo que cuidar mucho su estética.

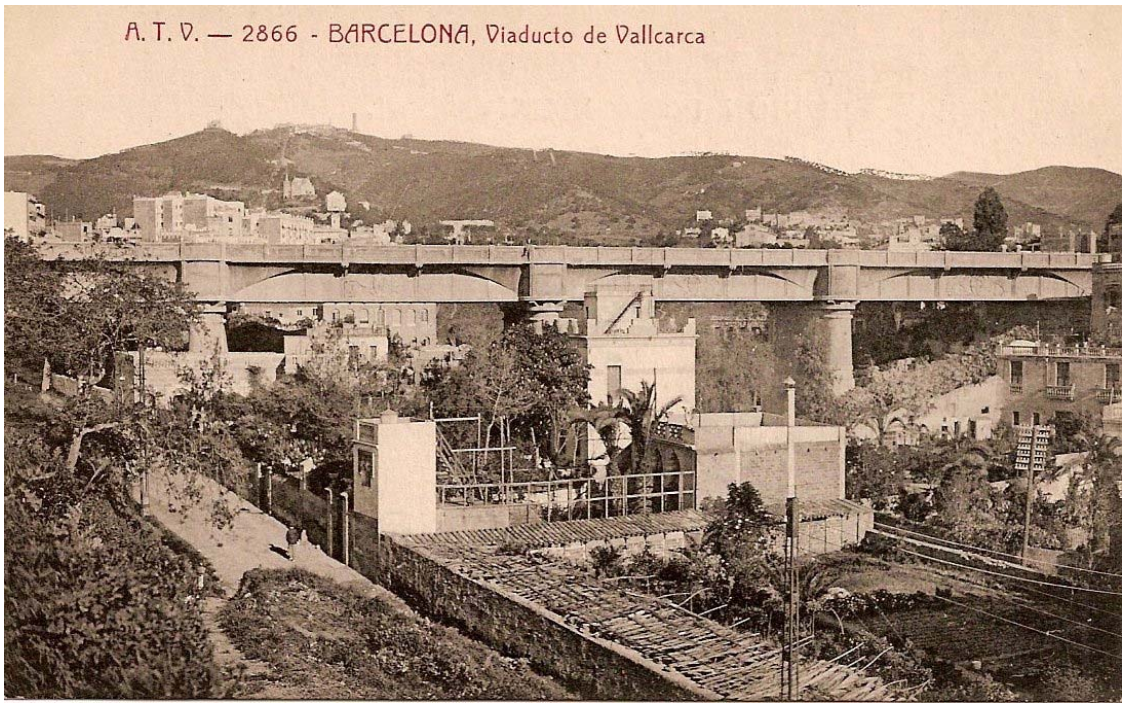


Figura 177. Viaducto de Vallcarca. Lorenzo Matéu, ingeniero industrial y Eduard Ferrés, arquitecto. Hacia 1915.

Como contratista se haría cargo de la construcción de otro importante viaducto, ya en 1924: el de San Juan de las Abadesas, en la provincia de Gerona. Proyectado por el ingeniero de caminos Federico Moreno, en este puente trece arcos de avenida encuadran al principal, un arco con articulaciones tipo Mesnager de 31,80 metros de luz[386].

El mismo sistema de arcos articulados se emplearía dos años después en el puente de Besalú sobre el río Fluvià, construido también según proyecto del ingeniero Federico Moreno[387].

Otros puentes señalados en la trayectoria de Construcciones y Pavimentos fueron los de la exposición de Valencia de 1909 y la de las Industrias Eléctricas de Barcelona. Por otra parte, se hizo cargo de bastantes obras de paso sobre canales o líneas de ferrocarril, como el paso superior de Villanueva sobre el ferrocarril de MZA[388].

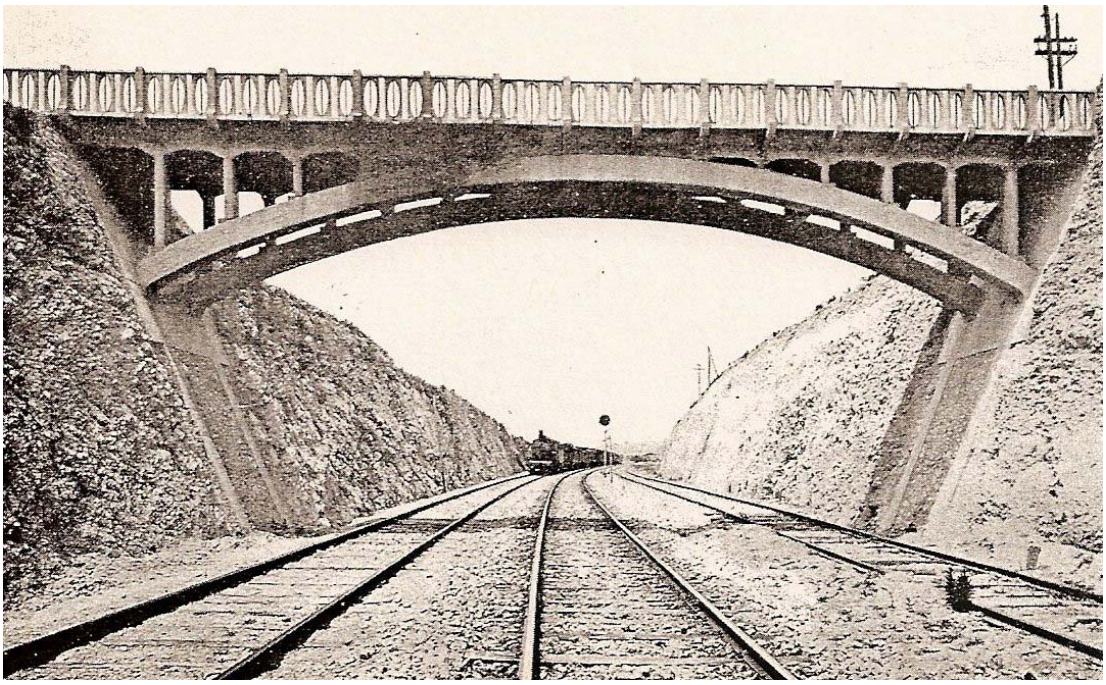


Figura 178. Paso superior sobre la línea de Ferrocarril de MZA en Villanueva. Construcciones y Pavimentos, 1910-1920. Col-legi d'arquitectes de Barcelona.

En 1918 la empresa ampliaría su campo de acción introduciéndose en la construcción naval. La idea de construir buques de hormigón armado era antigua, habiéndose planteado ya en los comienzos mismos del material. Sin embargo, las primeras tentativas relevantes no llegarían hasta los años de la Guerra Europea, cuando la escasez de acero sobrevenida del conflicto hizo que se contemplaran otras opciones. A principios de 1917 empezó a registrarse una gran actividad en el estudio y construcción de este tipo de buques en Europa y Norteamérica.

Construcciones y Pavimentos apostó entonces por los buques de hormigón armado, estimando que *"resolverán muchos problemas de navegación y harán que el hormigón sea una aplicación naval indudablemente más eficaz, racional y segura que los actuales cargo-boats de casco de acero, sometidos a un medio completamente inadecuado para su conservación"*[389].

Decidida a producirlos a gran escala, realizó una importante inversión para construir y equipar unos astilleros en un solar de 250.000 m^2 junto al mar en Malgrat (Barcelona). Allí llegó a construir un barco experimental, un *cargo-boat* de 452 toneladas de desplazamiento, que fue botado con éxito en 1918. Fue el primer buque de hormigón armado hecho en España[390].

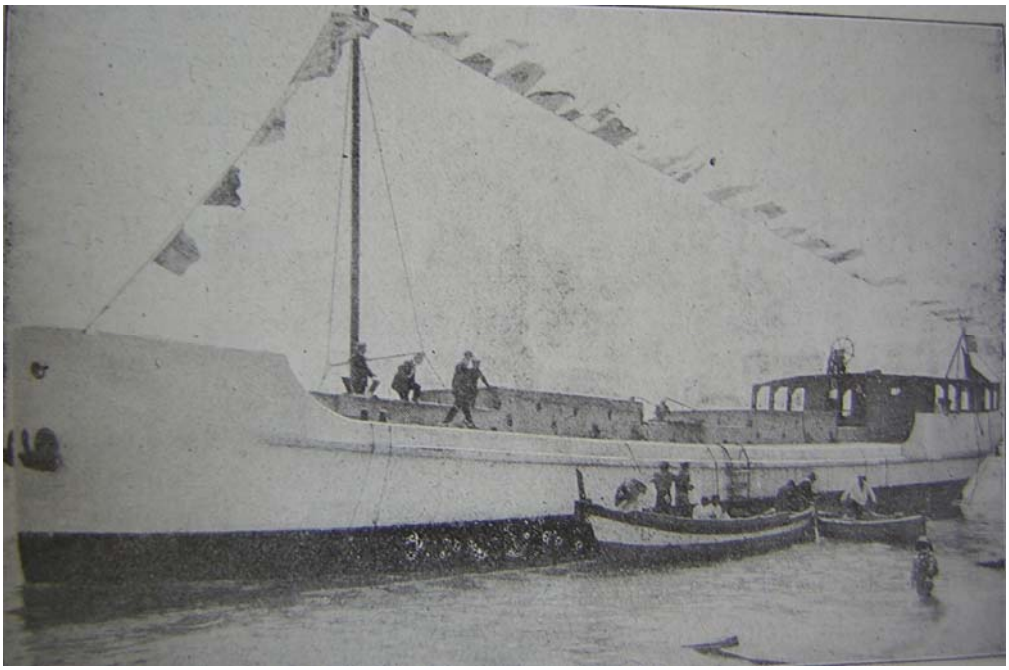


Figura 179. Primer buque de hormigón armado construido en España. 1918. Construcciones y Pavimentos. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

El buque tenía una estructura interior metálica, sin recubrir, ejecutándose con hormigón armado *"el forro del casco y de cubiertas, precisamente lo más caro de la construcción de buques ordinarios de acero, con la ventaja de que en los forros de hormigón armado se colocan y quedan embebidos en hormigón y con los salientes indispensables las barras de trancanil, de pantoques, de cuerdas, de carlingas, de quillas planas, etc; es decir, todos los elementos que han de resistir los esfuerzos longitudinales del buque, y que, como se ve, no exigen, en este caso, apreciable mano de obra, contrariamente con lo que ocurre en la construcción de cascos de acero".*

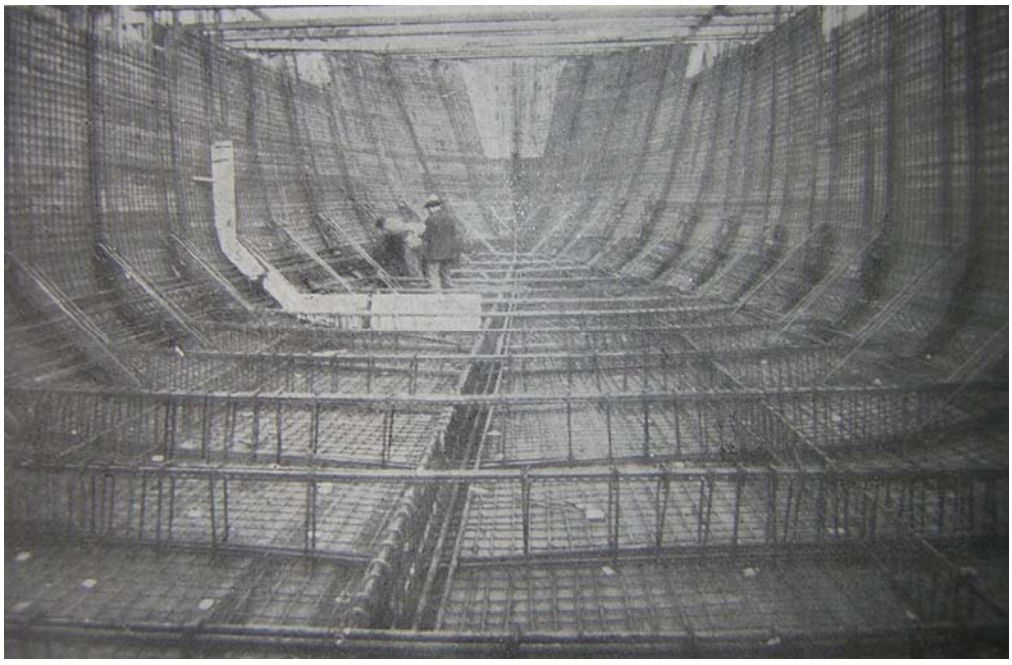


Figura 180. Costillaje del buque de Construcciones y Pavimentos, visto desde la popa. En *La Construcción Moderna*. Hemeroteca Municipal de Madrid

Con este diseño, Joan Capmany, responsable de la oficina técnica de Construcciones y Pavimentos, creía haber dado respuesta a los condicionamientos de este tipo de buques, esto es, mínimo peso del casco, resistencia e impermeabilidad. Ponderaba además otras ventajosas propiedades: economía, incombustibilidad, habitabilidad, rapidez de construcción, facilidad de reparación y limpia de carena, inalterabilidad y duración casi indefinida.

Construcciones y Pavimentos no fue la única empresa interesada en la construcción de embarcaciones de hormigón armado. También en 1918 quedó constituida en Bilbao la *Sociedad de Construcciones Navales de Hormigón Armado.* Uno de sus socios, el señor Castrillo, aportaría una patente para construir "*gabarras, buques de vela y de vapor, grúas, pontones, diques, y en general toda clase de material flotante*"[391]. Sin embargo, parece que ninguna de las dos iniciativas pudo prosperar.

En definitiva, si una cualidad caracterizó a Construcciones y Pavimentos fue su gran versatilidad, la capacidad para dar respuesta, siempre con soluciones de hormigón armado, a todo tipo de problemas constructivos. Y quien mejor la encarnó entre sus técnicos fue sin duda el ya citado arquitecto catalán Lluís Homs Moncusí, responsable de magnificas construcciones tanto de arquitectura e ingeniería

De su abundante producción puramente arquitectónica para Construcciones y Pavimentos destaca el Edificio "El Siglo", sede de los Grandes Almacenes Damians. La estructura de este inmueble, que se hizo enteramente de hormigón armado, incluía algunos elementos de gran complejidad, como una escalera helicoidal de importantes dimensiones. También eran de hormigón armado todos los detalles ornamentales, incluso las estatuas[392].



Figura 181. Edificio "El Siglo". Almacenes Casa Damians. Barcelona. 1910-1915. Lluís Homs Moncusí, arquitecto. Construcciones y Pavimentos. Col-legi d'arquitectes de Barcelona.

Para el Ayuntamiento de Sabadell proyectó y construyó en 1915 su famosa *Torre de l'Aigua*, un depósito elevado de planta hexagonal sobre ocho pilares, con una escalera helicoidal para acceder a la parte superior.



Figura 182. Torre de l'Aigua de Sabadell (Barcelona). 1915-18. Lluis Homs Moncusí, arquitecto.

La tercera de sus obras señaladas sería la pasarela de Gerona conocida como *Pont d'en Gómez,* encargada por su ayuntamiento en 1914. Previamente Construcciones y Pavimentos había levantado dos puentes en esta ciudad, para salvar el río Oñar. En las dos ocasiones anteriores se había optado por la solución de tramos rectos aprovechando que había unas pilas de mampostería ya construidas. Para la tercera pasarela el arquitecto tanteó varias soluciones de tamos rectos sobre pilas, pero no quedó satisfecho ni de su aspecto ni de su coste. Así que se decidió por un arco de 45 m de luz y 3,50 m de flecha[393].

La extremada ligereza del puente (tiene tan sólo 26 cm de espesor en la clave es reflejo de su atrevida configuración estructural, de arco elástico con articulaciones tipo Mesnager en los estribos[394].



Figura 183. Pont d'en Gomez. Gerona, 1915. Lluís Homs Moncusí, arquitecto.

Para que se pudiera construir, el vecino Miguel Gómez, calderero de profesión, tuvo que ceder parte de una casa de su propiedad. De ahí viene el nombre con el que popularmente se conoce. Las pruebas de resistencia se verificaron satisfactoriamente el 15 de noviembre de 1915, en presencia de Lluís Homs y del arquitecto municipal Martín Sureda[395].



Figura 184. Pont d'en Gomez. Gerona, 1915. Lluís Homs Moncusí, arquitecto.

13) Otros protagonistas de la etapa inicial.

Junto a los grandes protagonistas de los orígenes del hormigón armado en España hubo otros personajes que en la etapa inicial tuvieron una participación si bien no tan destacada, ciertamente trascendente.

Entre ellos había técnicos y constructores que tras dar sus primeros pasos y formarse en alguna de las empresas preponderantes (Hennebique, Ribera o Sestao) decidieron tomar su propio camino. Otros, en cambio, experimentaron en alguna de sus obras con el hormigón armado, ya recurriendo a alguna de esas casas, ya siguiendo su propia iniciativa. En ocasiones llegarían a formar nuevas empresas, con desiguales resultados.

Una de las trayectorias más destacadas puede ser la del teniente coronel de ingenieros Ricardo Seco de la Garza. Su relación con el hormigón armado comenzó en fecha tan temprana como 1898, cuando fue colocado al frente de la primera delegación de la firma Hennebique en Madrid, junto con Manuel Balbás[396]. Su paso por la empresa francesa fue breve pero muy importante, pues, como ya se ha explicado, se encargó de redactar la memoria divulgativa de la firma en nuestro país.

Poco tiempo después, en 1900, *l*a completaría con un artículo sobre detalles constructivos, justificado en estos términos: *"en España se han extendido bastante los sistemas Monier y Hennebique, y se han hecho algunas aplicaciones en las comandancias de ingenieros y parque de aerostación; por esto creemos de utilidad indicar a nuestros compañeros los detalles prácticos de la construcción, que son las únicas dificultades que podrán ofrecerse al llevar a la práctica estos sistemas"*[397].

Mientras trabajó para Hennebique no dejó de documentarse sobre las construcciones de hormigón armado hechas en el extranjero. Puso mucho empeño en el estudio de construcciones militares, como las pantallas para-balas o el abrigo para señaladores construidos por dicha empresa en los campos de tiro de Lyon y Grenoble, respectivamente. Con su difusión, Seco intentaba que se empezaran a utilizar en España, donde todavía a finales de 1900 no se habían hecho *aplicaciones serias ni experiencias de tiro sobre obras de esta clase.* No obstante, tenía noticias de alguna chimenea construida con el sistema Monier en las baterías de Cartagena[398].

Así que las primeras utilizaciones militares del hormigón armado en España deben ser las que describe en una monografía publicada en 1903: una placa circular de cimentación para un cañón "Ordoñez" y un local a prueba de proyectiles *"en una de nuestras baterías de costa".* Este último tenía unas dimensiones en planta de doce por veinticinco metros, y se construyó con muros de un metro de espesor armados con carriles y *metal deployé*[399].

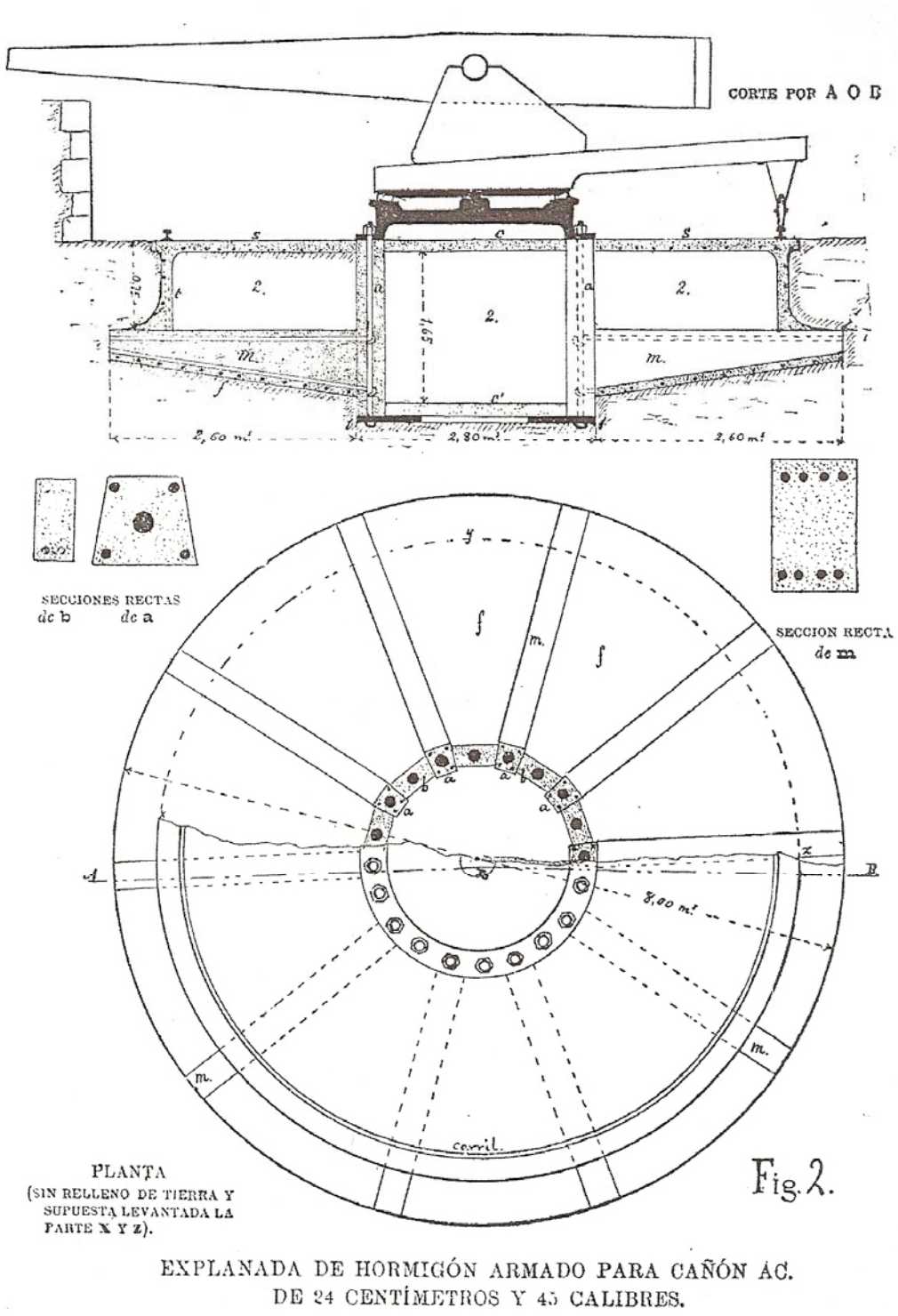


Figura 185. Placa circular de cimentación para cañón. 1903. Ubicación desconocida. Ricardo Seco de la Garza, ingeniero militar. En Seco de la Garza, *El cemento armado en sus aplicaciones militares. Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.*

En 1902 proponía la utilización de postes de hormigón armado en las líneas eléctricas o de telégrafo, sustituyendo a los metálicos o de madera tradicionalmente empleados. Huecos o de sección llena, cuadrados o circulares, para Seco estaban especialmente indicados en las grandes redes interurbanas. Es muy probable que participara en las experiencias con postes que estaba realizando por entonces el Batallón de Telégrafos, con vistas a su aplicación la red militar permanente de Madrid[400].

Pero sobre estas modestas realizaciones prácticas se sobreponen sus estudios teóricos y de divulgación del hormigón armado que fueron viendo la luz a lo largo de la primera década del siglo XX. La culminación de estos trabajos sería un tratado práctico publicado en 1910.

Otro ingeniero militar que también daría sus primeros pasos con el hormigón armado en la organización Hennebique fue Ángel Arbex, su concesionario para Zaragoza desde septiembre de 1901[401]. Como tal se haría cargo de la construcción de un depósito de aguas, que quedaría terminado un año más tarde[402].

Su vinculación con la firma francesa no continuaría más allá, iniciando Arbex una trayectoria propia, cuya realización más destacada sería un depósito elevado de quinientos metros cúbicos de capacidad, construido en Calahorra(La Rioja) en 1905. Sostenido a dieciséis metros sobre el suelo por un cilindro hueco central y ocho columnas dispuestas en los vértices de un octógono regular, el depósito propiamente dicho era de forma cilíndrica, de catorce metros de diámetro y tres de altura. Su solera descansaba *"sobre un emparrillado de viguetas radiales y transversales y la parte volada sobre fuertes ménsulas cuya armadura es prolongación de las viguetas radiales que se apoyan en cada columna"*[403].

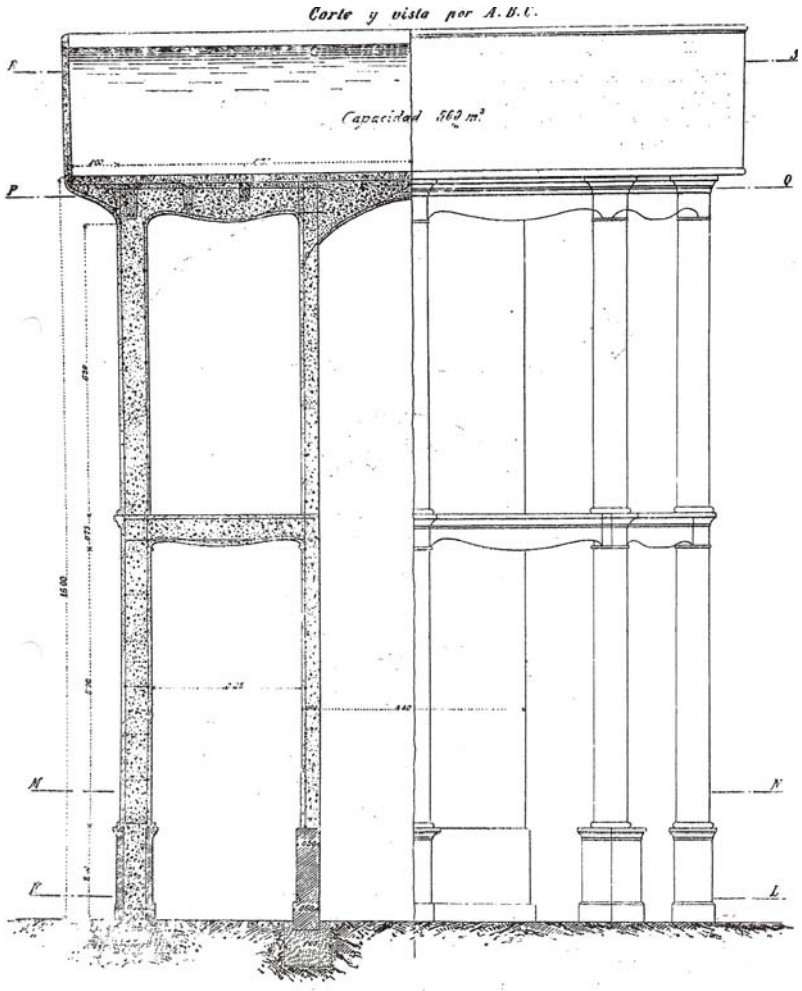


Figura 186: Depósito para el abastecimiento de agua de Calahorra. 1905. Ángel Arbex, ingeniero militar. *La Construcción Moderna*. Biblioteca Nacional de España.

Su relación con el hormigón armado quizás sea la parte menos conocida de la trayectoria vital del Comandante de ingenieros del Ejército Juan Tejón y Marín. Héroe de la Guerra de Filipinas, en los comienzos del siglo XX se distinguió como hombre público en diversos destinos (alcalde de Málaga, gobernador civil de Gerona, Alicante, Zaragoza, Granada y Valencia). Su labor al frente de estos altos cargos sería merecedora de no pocos reconocimientos, entre los que sobresalen la concesión de la Gran Cruz de Isabel la Católica o su nombramiento como Gentilhombre de Cámara del rey Alfonso XIII[404].

El hormigón armado constituiría el centro de su atención entre 1900 y 1902, mientras estuvo destinado en la Comandancia de Córdoba. En esos años lo estudiaría intensamente, llegando a aplicarlo en algunas construcciones a su cargo. Asimismo, pondría un gran interés que se conociera y extendiera su utilización.

En su discurso de entrada en la Real Academia de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes de Córdoba (que tuvo lugar el 21 de junio de 1902) pondría de manifiesto un profundo conocimiento del nuevo material, estando al corriente de los diversos sistemas y sus más notables realizaciones. Para Tejón, el hormigón armado venía a culminar la ciencia de la construcción, satisfaciendo por fin *"la aspiración universal de enlazar todos los materiales que integran el conjunto de una edificación, en forma que se asemeje para sus efectos mecánicos a un verdadero monolito"*[405].

En sus realizaciones prácticas prefería utilizar el hormigón armado con *Metal Deployé,* cuyas ventajas, muy especialmente su economía de coste, no dejó de ponderar incluso en los diarios locales[406]. Por su parte, lo emplearía a gran escala en los pisos, tabiques divisorios, cerchas y cubierta del nuevo cuartel de San Rafael, construido en 1902 por cuenta del Ayuntamiento de Córdoba[407].

Tejón se mostró especialmente interesado por los forjados construidos con una losa armada con *Metal Deployé* apoyada sobre viguetas metálicas. Consideraba que este tipo de forjados ofrecían "*excelentes resultados en la práctica en orden a su solidez, estabilidad y baratura"*, como ya se había puesto de manifiesto en diversas construcciones hechas en Córdoba en 1902[408].

La acción de técnicos como Juan Tejón o Martínez, con Hennebique, estaban afianzando a Andalucía como una de las regiones punteras en el desarrollo del hormigón armado en España. El interés por el nuevo material se estaba extendiendo, multiplicándose sus aplicaciones, a veces incluso al margen de las grandes firmas conocidas.

Por ejemplo, en 1901 se construyó un depósito cilíndrico de hormigón y *Metal Deployé* en una fábrica de electricidad de Almería[409].

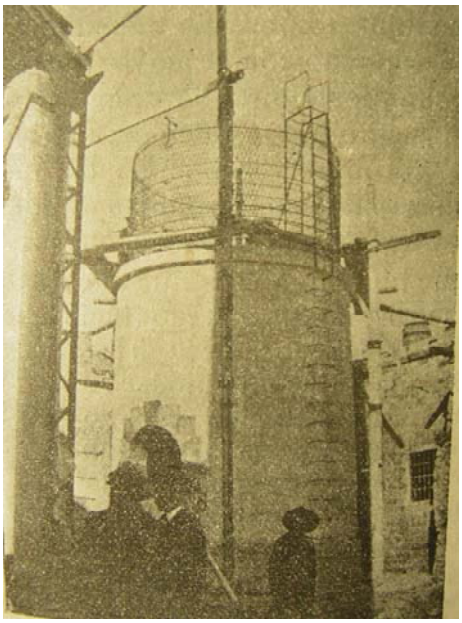


Figura 187: Depósito de la fábrica de electricidad de Almería. 1901. En *El Cemento Armado*. Hemeroteca Municipal de Madrid.

De la pujanza del hormigón armado en Andalucía en esos años da fe la proliferación de pequeñas empresas constructoras que trabajaban con él. En la Exposición de Industrias Sevillanas celebrada en mayo de 1905 se presentaron varias que se dedicaban a la *fabricación de piedra artificial, de hormigón armado, de placas y bloques huecos*[410].

En las instalaciones de la sociedad *García y Franco y Compañía, ingenieros* se fabricaban varios tipos de postes para líneas eléctricas, amén de otros elementos prefabricados de hormigón armado (cerramientos, tuberías, pesebres). Esta sociedad estaba formada por los ingenieros militares Franco, García de Harranz e Iñiguez.

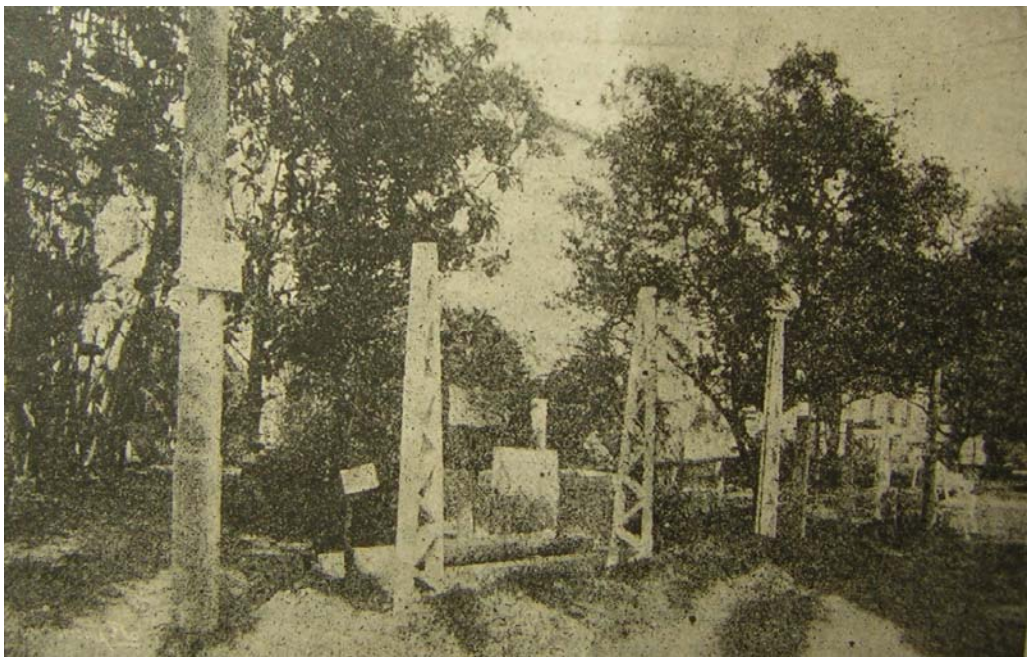


Figura 188. Postes prefabricados de cemento armado para líneas eléctricas. Fábrica de García y Franco y Compañía, ingenieros. Sevilla, 1905. *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Otro ingeniero militar que probó suerte en el campo de los prefabricados de hormigón armado fue Juan Ramón Sena. Hacia 1904 fundó la *Constructora Sevillana de Cemento Armado,* también llamada *Barón, Ramón y Compañía.* Especializada en la fabricación de objetos *"de tanta utilidad en la región como los tinacos para contener agua, vino, vinagre, aceite, alcohol, etc., tinas estancas para endulzar y cocer aceitunas, canalillos o regueras que constituyen verdaderos acueductos y pesebres para reses bravas o bueyes"*, también se dedicaba a la construcción propiamente dicha, pudiendo presentar en 1905 una lista de realizaciones en la que destacaban *"varios depósitos de agua, sumando en total una capacidad de más de 700.000 litros, 400 metros de canal con derivaciones, un hotel a la inglesa y algunos pisos, azoteas y cielos rasos en Sevilla, Dos Hermanas y Alcalá de Guadaira"*.

También como constructora de obras de hormigón armado se presentó en la Exposición la casa del constructor sevillano Manuel Pacheco. Esta empresa venía funcionando desde 1885, dedicada a la fabricación de ladrillos, tejas y toda clase de productos de barro cocido aplicables a la edificación. A partir de 1904 a esta línea de producción se sumaría *"la fabricación de objetos de hormigón armado y la ejecución de construcciones de todas clases en las que se emplee este moderno material".*

Con esa pretensión contrató como director técnico de la empresa a Antonio Ortiz Repiso, un ingeniero de caminos que ya tenía experiencia con el nuevo material, pues bajo su dirección se construyó *"un depósito de 65 metros cúbicos de capacidad, elevado 23,50 metros sobre el suelo, en la fábrica de lámparas incandescentes La Luz"* [411].

Para demostrar su capacidad organizaría en la Exposición una prueba de carga de un piso de cemento armado, a la que asistió, entre otros, Juan Manuel de Zafra, y que se desenvolvió con resultados satisfactorios.

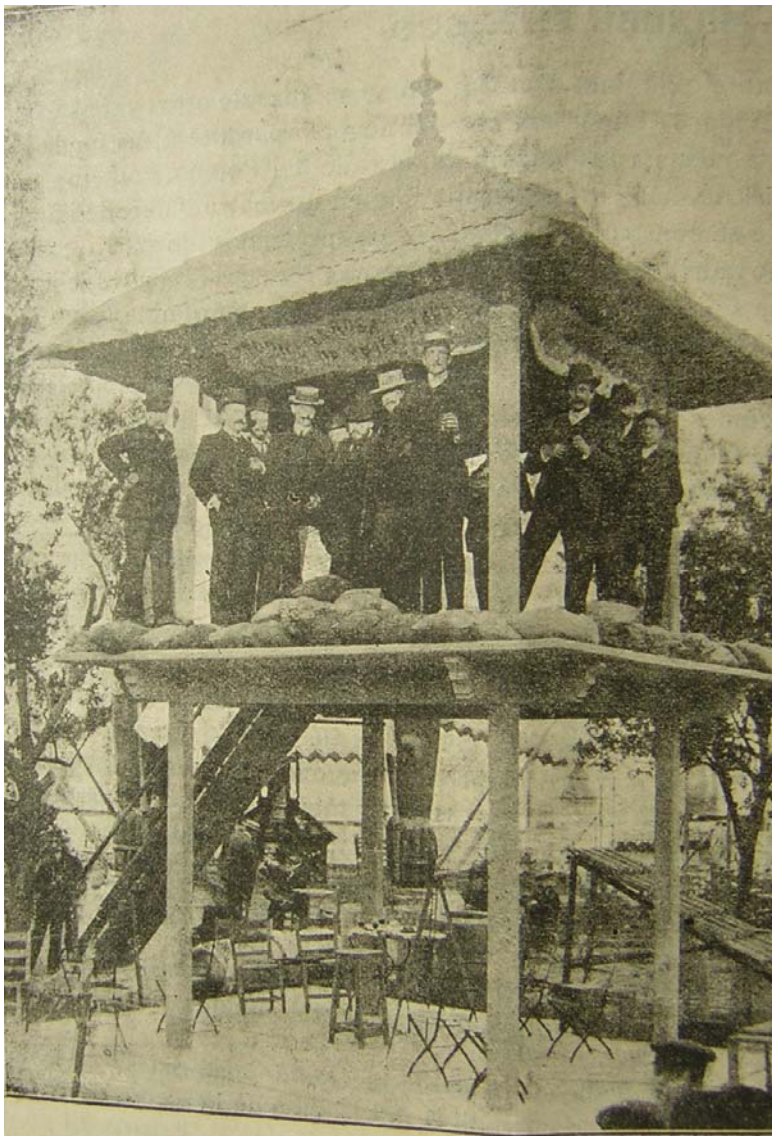


Figura 189. Prueba de carga de un piso de cemento armado, realizada por la empresa Manuel Pacheco en la Exposición de Productos Sevillanos de 1905. *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Así pues, las perspectivas para la construcción con hormigón armado eran bastante buenas en 1905. En Asturias y el País Vasco su uso ya era generalizado y tenía una prometedora implantación en Madrid, Cataluña y Andalucía. Sin embargo, este incipiente desarrollo se vendría al traste con el hundimiento de la cubierta del *Tercer Depósito*, sucedida en abril de 1905.

El hormigón armado prácticamente desapareció de las obras de iniciativa privada. Tras el accidente muy pocos se atreverían a apostar por el nuevo material y sucederían unos años de incertidumbre, en los que únicamente las escasas empresas muy comprometidas con el nuevo material siguieron utilizándolo.

Se mantendrían algunos reductos como San Sebastián, donde la incidencia del desastre fue escasa. El nuevo material siguió contando para arquitectos como Luís Elizalde, que lo utilizó en 1906 para construir las terrazas de la casa de D. Braulio Echeverría[412].

No obstante, en el resto de España lo que permitió que, a pesar del ambiente de desconfianza generalizado, tuviera continuidad la construcción con el nuevo material fueron los grandes proyectos de obras públicas que estaban en curso. En este sentido, por su envergadura fue trascendental el del Canal de Aragón y Cataluña.

Ya se ha comentado la importantísima participación en este proyecto de Mariano Luiña y José Eugenio Ribera, que dejarían su impronta en los sifones del Sosa y de Albelda. Las dos grandes obras del Canal relegarían, sin embargo, a un segundo plano otras construcciones de este grandioso proyecto, en el que se utilizó ampliamente el hormigón armado.

De entrada, el Canal incluía gran número de puentes acueducto. El ingeniero Rafael López Sandino proyectó y dirigió las obras de dos de los más importantes, el de Perera y el de Faleva. Para el primero adoptó una solución tradicional de arcos de hormigón en masa. Sin embargo, en el segundo confió en el hormigón armado aunque con una disposición ciertamente conservadora: la caja del canal se apoyaba en una serie de palizadas colocadas a muy pequeña separación. Este acueducto se tomó como modelo para otros pasos del canal sobre hondonadas. Por ejemplo, el acueducto del Nou tiene la misma configuración.

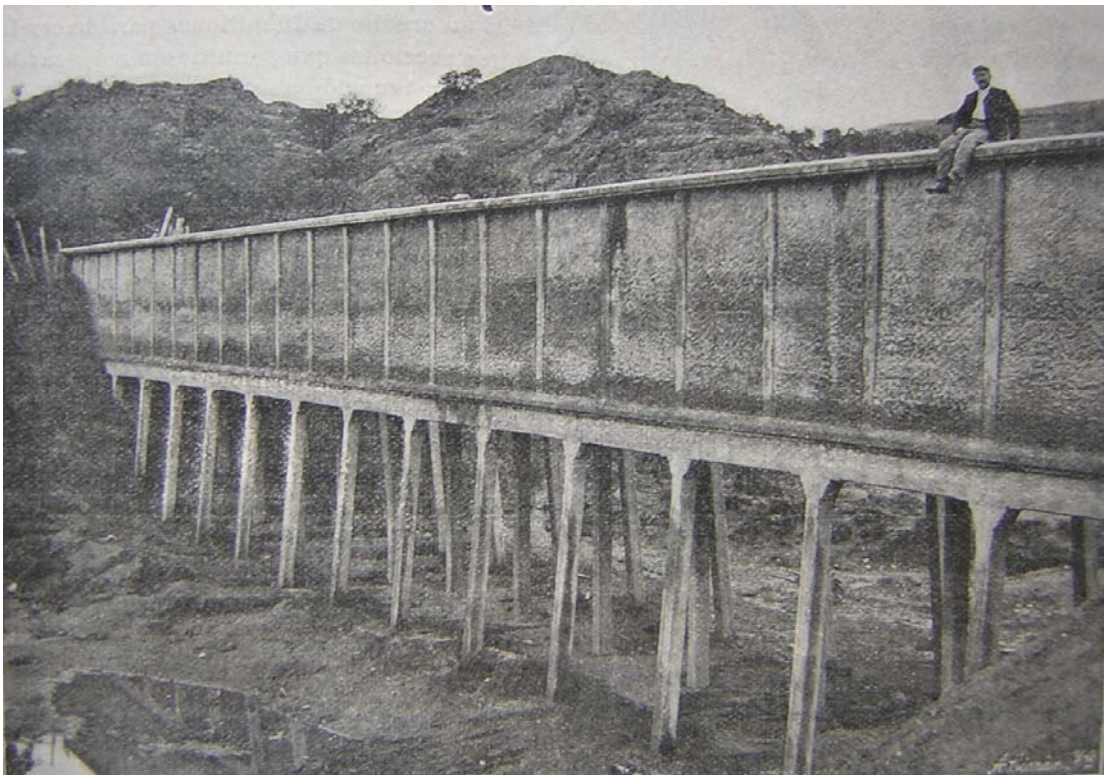


Figura 190. Acueducto de Faleva. Canal de Aragón y Cataluña. 1906. Proyecto de Rafael López Sandino, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Públicas.*

También se tuvieron que construir gran número de pasos superiores. Otro ingeniero, Rafael Izquierdo, proyectó uno de los más atrevidos, sobre el Canal de Zaidín[413]. Lo resolvió con un tablero recto apoyado mediante montantes verticales sobre dos arcos gemelos de hormigón armado.



Figura 191. Paso superior sobre el canal de Zaidín. Canal de Aragón y Cataluña. 1906. Proyecto de Rafael Izquierdo, ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

El trazado del Canal discurría inicialmente por una zona montañosa, donde se encontraba fácilmente piedra de buena calidad. Las construcciones de este primer tamo se realizaron en buena lógica con las tradicionales fábricas de sillería y mampostería. Sin embargo, fuera de esta zona montañosa no había piedra utilizable, por lo que todas las obras auxiliares se hicieron con hormigón en masa o armado[414]. Una de las más representativas era el partidor del Zaidín, también proyectado por el ingeniero Rafael Izquierdo, y que. fue hecho en su totalidad con hormigón armado.



Figura 192. Partidor de Zaidín. Canal de Aragón y Cataluña. 1906. Rafael Izquierdo, ingeniero de caminos.

Entre las obras singulares del Canal también había muchos túneles, naturales y artificiales, que se construyeron para atravesar los inestables macizos yesosos que atravesaba. Se hicieron de hasta mil metros de longitud (túnel de Gorgafonda), teniendo que emplear hormigones y morteros muy ricos, de gran calidad, para resistir el ataque de los yesos.

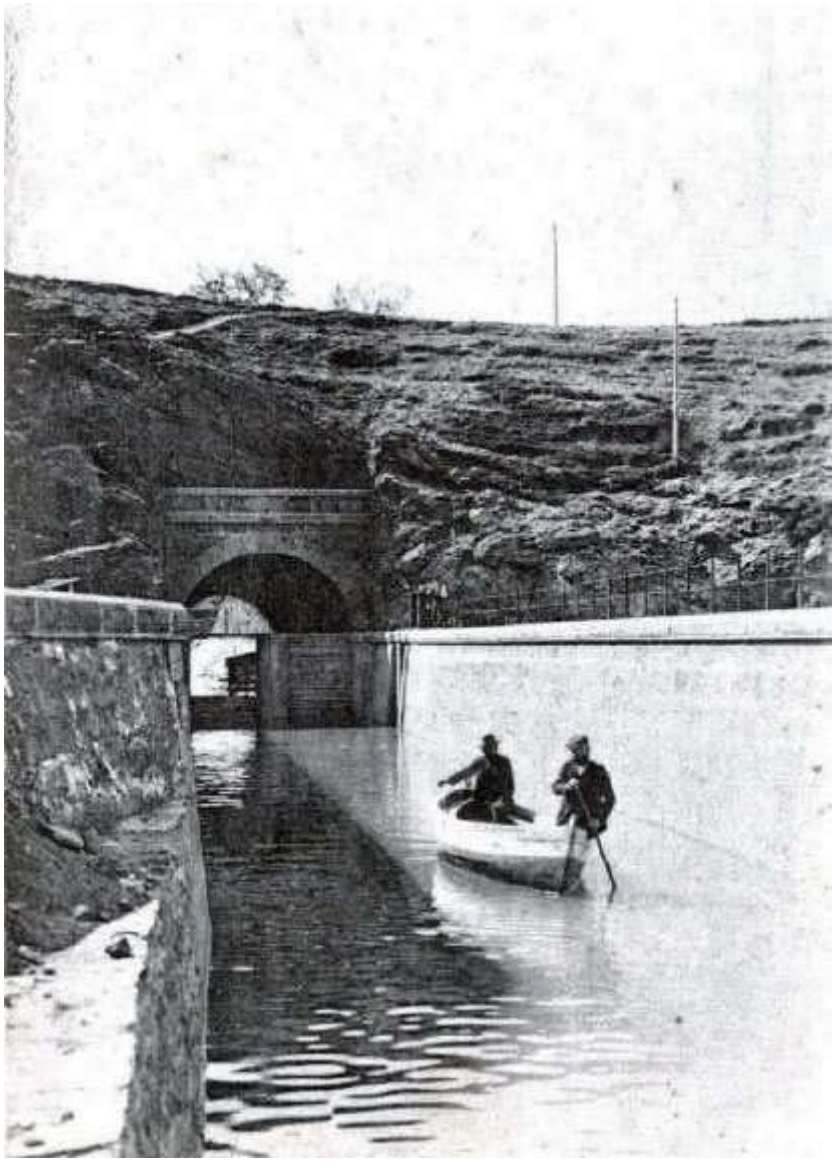


Figura 193. Canal de Aragón y Cataluña. Vista a la salida de uno de los túneles.

Pero además de estos elementos singulares el Canal incluía innumerables obras auxiliares de hormigón armado: *"de este material son todas las pasarelas que proporcionan el paso sobre los puentes y acueductos, habiéndose construido con igual fin en el interior de los túneles varios kilómetros de aquellas; aplicación del hormigón armado se ha hecho en la ejecución de revestimientos y zampeados [...], en la construcción de los estribos y pilas situados en el interior del Canal,[…] en los pisos de las casas y casillas, y por último en los 4.000 postes hectométricos que mide la red general"*[415].

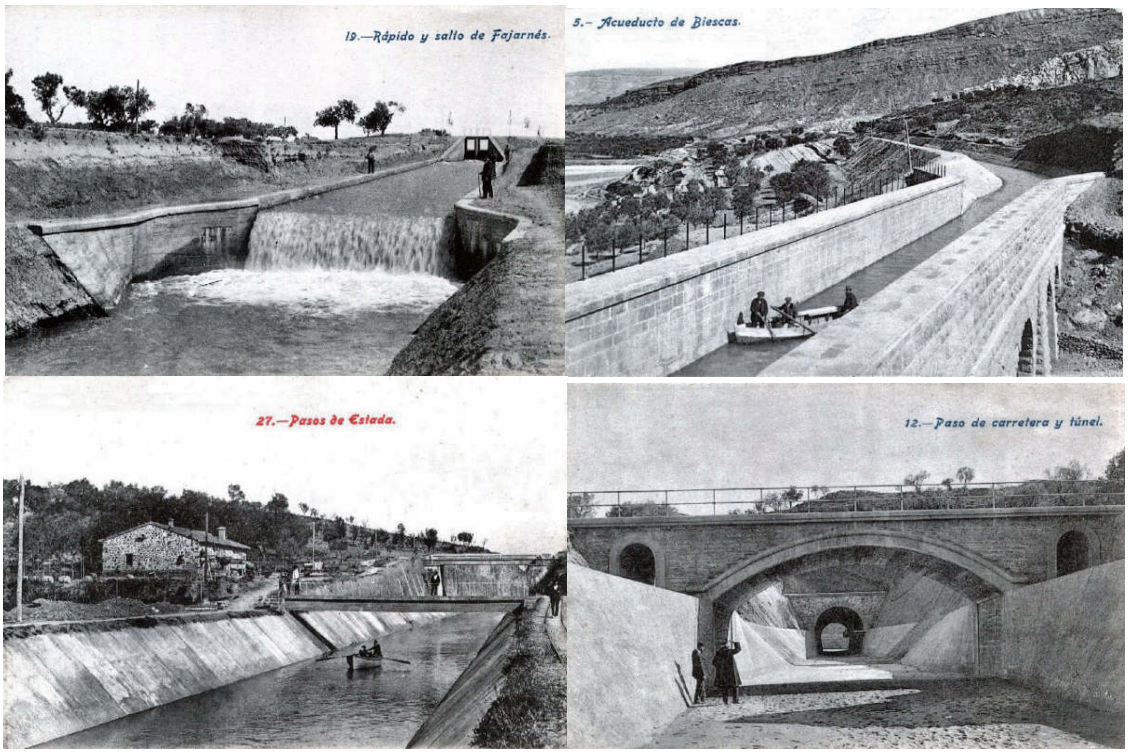


Figura 194. Diversos elementos de hormigón armado del Canal de Aragón y Cataluña. 1903-1906.

Con los buenos resultados de las obras del Canal de Aragón y Cataluña parecía que se había superado la crisis. Pero aunque oficialmente el hormigón armado había recuperado su crédito, en la práctica casi nadie se atrevía a utilizarlo. Fuera de los trabajos de las compañías de Durán, Ribera y Sestao no se registraron demasiadas iniciativas hasta 1908-1909. No obstante, no dejó de notarse cierta reactivación, a la que contribuyeron con sus obras algunas compañías ferroviarias.

Una de las más adelantadas fue la de los Ferrocarriles de Madrid a Cáceres y Portugal, que ya en 1910 convocaba concursos de obras específicamente de hormigón armado. Se trataba concretamente de la redacción y ejecución de un paso superior en el kilómetro 105,566 de la línea de Plasencia a Astorga. Entre los concursantes se encontraba el ingeniero de caminos Cayetano R. Noguera[416].

Más adelante, en 1914, esta compañía convocaría otro concurso para la construcción de un paso superior de hormigón armado. En esta ocasión se trataría del situado en el kilómetro 12,370 de la misma línea, dentro del término municipal de la madrileña localidad de Getafe. Se cursaron invitaciones a las principales empresas especializadas: Claudio Durán, Ribera, Mariano Luiña, Hennebique y Sestao. Al final fue esta última la que se adjudicó el concurso.

La compañía también tenía la intención de construir con hormigón armado sendas rotondas o depósitos de máquinas en la estación de Delicias en Madrid y en la internacional de Valencia de Alcántara. Para la redacción de su proyecto y ejecución, así como los del paso superior de Getafe se ofreció una empresa constructora recientemente constituida en Bilbao, Arrizabalaga, Zubinas y Compañía. De ella formaba parte el ingeniero de obras públicas

Victoriano Lizundia, que contaba con una amplia experiencia en construcciones de hormigón armado, tras un periodo de cuatro años (noviembre de 1906 a octubre de 1910) en la *Société des Ciments Portland de Sestao*[417].

Otra compañía que se distinguió especialmente en el uso del hormigón armado fue la de los Ferrocarriles Andaluces, que venía apostando por él desde los tiempos difíciles que sucedieron al desastre del *Tercer Depósito*. En efecto, en abril de 1906 se presentaba a la superioridad un proyecto que llevaba la firma de Agustín de Jubera, subdirector de la compañía, para la construcción de un paso inferior en la sevillana Estación de San Bernardo. Previamente se había aprobado un proyecto para este paso que se resolvía con vigas metálicas, pero la Compañía decidió *"reemplazarlas por vigas de cemento armado, que no tendrán el inconveniente de la oxidación"*[418]. La solución finalmente adoptaba incluía una losa armada como cubierta bajo las entrevías y andenes. En la zona de las vías se colocaban vigas con una curiosa sección transversal, en forma de U para que las traviesas quedaran encajadas.

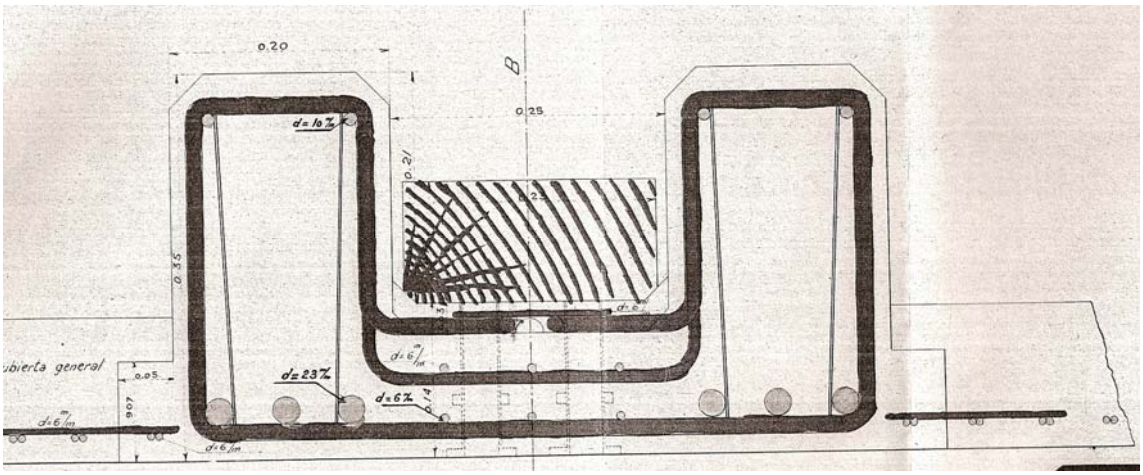


Figura 195. Proyecto de paso inferior en la Estación de Sevilla. Sección transversal de las vigas diseñadas para soportar la zona de vías. Abril de 1906. Agustín de Jubera, ingeniero. Archivo Histórico de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

Cinco años más tarde de nuevo Agustín de Jubera firmaba un proyecto para reemplazar un puente metálico que se encontraba en el kilómetro 148,060 de la línea de Sevilla a Jerez y Cádiz, por un nuevo puente de cemento armado. Proponía la construcción de *"un piso continuo de 5,00 metros de ancho y de la longitud del puente, piso que se construirá para dos vías, dividido en dos tramos de 8,50 metros de largo y estará compuesto de dos vigas de un ancho de 0.40 metros y 1,00 metros de altura"*[419]. La sección transversal de este puente recto guardaba gran similitud con la de los diseñados por Zafra para los Ferrocarriles Suburbanos de Málaga.

También suscribiría Jubera el proyecto de construcción de un depósito agua de ciento cincuenta metros cúbicos de capacidad para la estación de Málaga, presentado en 1913. Se componía de *"un cubato de 6,20 metros de diámetro interior y de 5,15 metros de altura descansando sobre seis pilares igualmente de cemento armado de 0,35x0,35 empotrados de 1,00 y de 9,00 metros de altura por encima del nivel del carril"*[420].

Hacia 1915 en la Compañía de los Ferrocarriles Andaluces la utilización del hormigón armado se había convertido en algo habitual. Así por ejemplo, el ingeniero de caminos Pedro de Ansorena proyectó unas tajeas tubulares de 0,60 y 1,00 metros de diámetro[421] y una alcantarilla de 2,00 m de ancho en la línea de Linares a Puente Genil[422]

En este periodo se construyeron también dos importantes puentes urbanos. En julio de 1909 se inauguró en Santander el puente de Vargas, obra del ingeniero Alberto Corral[423]. La necesidad de dejar gálibo suficiente para el paso de tranvías sobre la calle Atarazanas se resolvía con un elegante arco de hormigón armado muy rebajado.



Figura 196. Puente de Vargas sobre la calle Atarazanas. Santander. 1909. Alberto Corral, ingeniero.

Dos años después el ingeniero de caminos Manuel Jiménez Lombardo presentaría su proyecto de puente de hormigón armado sobre el río Guadalmedina, en Málaga. Conocido actualmente como Puente de Armiñan, se compone de tres bóvedas escarzanas de veinte metros de luz. Dificultades burocráticas retrasaron su inauguración, que tendría lugar el 30 de marzo de 1913[424]. Previamente Jiménez Lombardo había proyectado *"un pantano regulador con presa de tierra y núcleo de cemento armado"* [425]para proteger a Málaga de las peligrosas avenidas del Guadalmedina, como la que la había arrasado en septiembre de 1907.

De alrededor de 1910 data el puente sobre el Cauce de Riego de Tiata en la Vega de Lorca (Murcia), otro notable ejemplar de arco de hormigón armado empotrado de hormigón en los estribos. Su autor, el ingeniero de caminos Francisco Manrique de Lara, utilizó la solución de arcos gemelos arriostrados transversalmente. El puente se cimentaba sobre una antigua presa de mampostería, a la cual se anclaban los arcos mediante *"una riostra de acero laminado de sección en doble T de 0,30 metros de altura, cosida por sus extremos a los de la armadura metálica del arco correspondiente, constituida por cuatro cantoneras y llantas de unión"*[426].



Figura 197. Puente sobre el cauce de riego de Tiata en la Vega de Lorca (Murcia). 1910. Francisco Manrique de Lara, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Públicas.*

14) La consolidación en la segunda década del sigo XX.

En los últimos años de la década de 1900 fue recuperándose paulatinamente la confianza en el hormigón armado, de tal forma que hacia 1910 la crisis originada por el desastre del Tercer Depósito pudo darse definitivamente por superada. En la segunda década del siglo llegaría la consolidación definitiva del nuevo material de construcción, en un proceso imparable que se aceleraría en los años de la Primera Guerra Mundial.

Uno de los hitos del cambio de tendencia sería la construcción de la sede de la compañía La Unión y el Fénix (hoy edificio Metrópolis) en Madrid. Situado en el solar más representativo del Madrid de comienzos del XX, en la confluencia de la prestigiosa Calle de Alcalá con la nueva Gran Vía[427], sería el primer edificio de la capital, de carácter no industrial, con una estructura de entramados de pórticos y forjados de hormigón armado[428]. Su proyecto fue objeto de un concurso internacional, ganado por los arquitectos franceses Jules y Raymond Fevrier. De la ejecución, que tuvo lugar entre 1905 y 1911, se hizo cargo el arquitecto español Luís Esteve[429].



Figura 198. Edificio Metrópolis. Jules y Raymond Fevrier (proyecto) y Luís Esteve (Ejecución), arquitectos. Madrid, 1911.

Sin embargo, a pesar de la construcción de este edificio y de otros como el Hotel Palace, la implantación del hormigón armado en la capital iría muy despacio. Todavía en 1913, Eduardo Gallego se lamentaba de que mientras en otras regiones de España *"el hormigón armado tomó ya hace años carta de naturaleza, aplicándose lo mismo en las edificaciones industriales que en las habitables, en Madrid son rarísimas las construcciones urbanas en que dicho material se emplea. En San Sebastián, Bilbao, Gijón, Oviedo, Valencia y tantas otras capitales, así como en la totalidad de las poblaciones de alguna importancia de las comarcas mencionadas, es de uso tan natural y corriente el hormigón armado, que no existe ya constructor de alguna valía que dude en utilizarlo cuando para ello se presenta ocasión oportuna, y estas ocasiones son tan frecuentes que rara será la edificación urbana en que no exista para la aplicación parcial de dicho procedimiento constructivo, que puede combinarse perfectamente con los ordinarios "*[430].

Algo exageraba Don Eduardo al extender ese desarrollo por tan amplias zonas del país. No obstante, la situación que describía sí que respondía fielmente a la realidad en las regiones del norte, particularmente en Guipúzcoa y su capital San Sebastián.

La aceptación que el hormigón armado tenía en esa provincia había permitido la proliferación de empresas constructoras como la que gestionaban los ingenieros militares Luis Sierra y Antonio Liaño. Entre 1910 y 1912 estos ingenieros colaborarían con el arquitecto Francisco de Urcola en una de sus más destacadas actuaciones: el nuevo teatro Victoria Eugenia en San Sebastián.

La estructura del teatro fue ejecutada por contrata, encargándose los ingenieros Sierra y Liaño de su cálculo y ejecución. En ella se utilizó ampliamente el hormigón armado, construyéndose con este material tanto la losa de cimentación como las cubiertas, forjados y pilares. Incluía además algunos elementos de gran complejidad, como un arco de 13,75 metros de luz para soportar la cubierta del escenario.

Por exigencia del arquitecto director, la estructura tenía además un importante condicionamiento: las plateas, palcos, anfiteatro y galerías se debían construir volados para que ninguna columna de la sala pudiera estorbar la vista. Para atender esta pretensión, Sierra y Liaño diseñaron un complejo entramado estructural formado por losas y vigas de sección variable, apoyadas por un extremo sobre el muro portante de cierre del edificio y por otro en columnas de acero que se enlazaban mediante una viga circular.

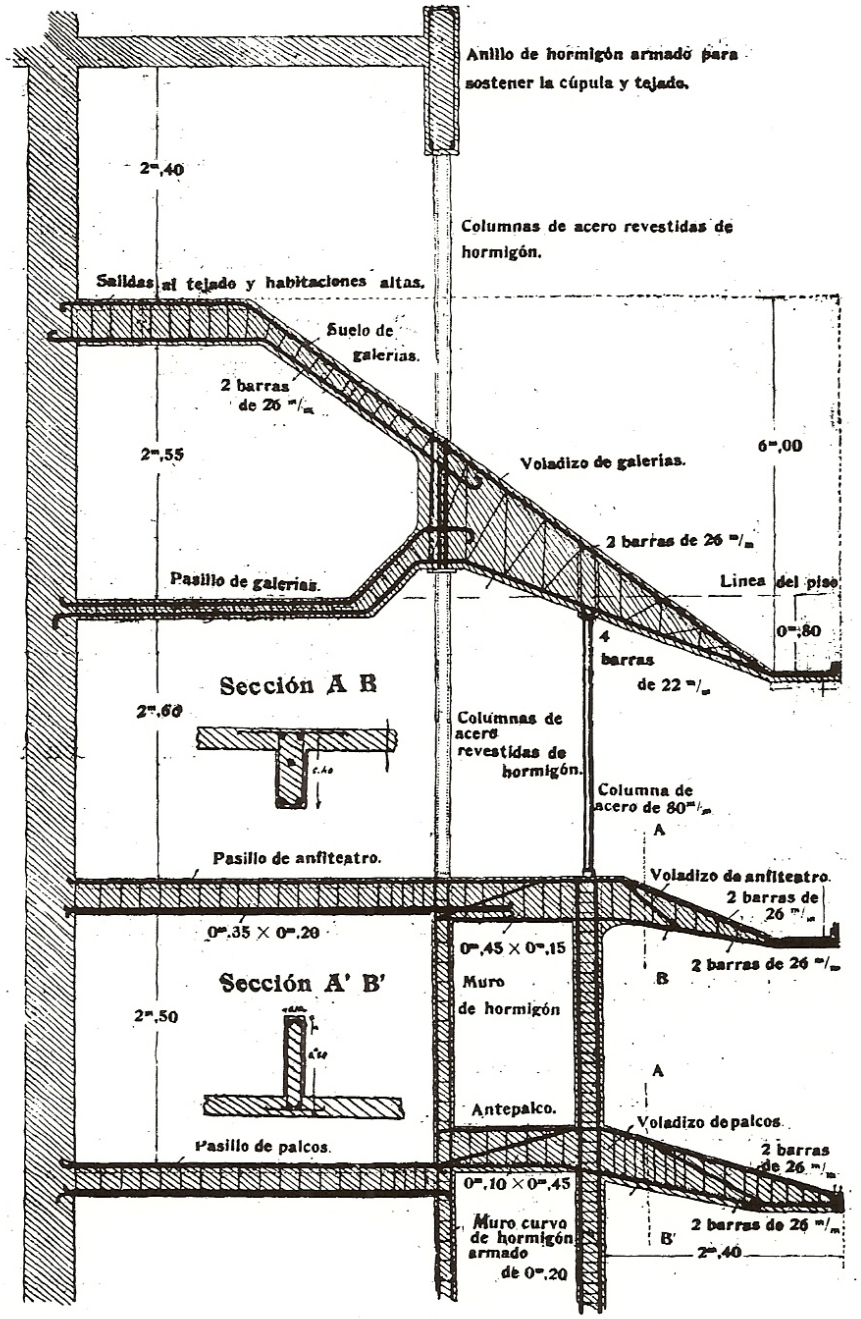


Figura 199. Organización estructural de los voladizos en el Teatro Victoria Eugenia. San Sebastián. 1910. Francisco de Urcola, arquitecto; Luís Sierra y Antonio Liaño, ingenieros militares. *Memorial de Ingenieros del Ejército.* Instituto de Historia y Cultura Militar.

El arquitecto Urcola volvería a recurrir a los ingenieros militares Sierra y Liaño para otra complicada intervención estructural, la sustitución de las bóvedas de la iglesia parroquial de Irún. Hacia 1910, por problemas de asientos de la cimentación, estas amenazaban ruina y se tuvo que cerrar al culto la iglesia. La reparación consistió en desmontar las bóvedas de sillería y rehacerlas en hormigón armado, con lo que se reducía sustancialmente el peso y con ello los asientos en la cimentación. Sin embargo, esto fue muy complicado de ejecutar, puesto que, en primer lugar se tuvo que construir un andamio-apeo a veinte metros de altura para desmontar las bóvedas. Después se levantó una cimbra para reproducirlas en su forma original, con todas sus nervaduras y complicadas crucerías[431].

Más adelante Sierra, junto con el ingeniero Díaz Montenegro, se integraría en la sociedad constructora Olasagasti y Compañía, que desarrollaría una intensísima actividad en San Sebastián en los años de la Guerra Europea. Tomando el relevo de Salaverría, y junto los arquitectos Ramón Cortázar, Francisco de Urcola y Luís Elizalde conseguirían que en la bella ciudad vasca *"no se viera por ninguna parte vigueta de hierro; en todas las obras, lo mismo modestas que importantes, de particulares que municipales, sólo se emplea el hormigón armado, por el cual no acaban de entrar los arquitectos madrileños, que prefieren seguir empleando el entramado metálico aunque tengan que pagar a 72 céntimos el kilo de hierro, que antes de la guerra ¡abonaban a 22!"*[432].

Ramón Cortázar fue el más agraciado en lo que al número de trabajos se refiere, teniendo en realización en 1917 *"seis casas en el barrio de Gros; dos, en la calle de Easo; otras dos, en la de San Bartolomé, y una, en la Avenida de Francia, corriendo también a su cargo la dirección de otras tres o cuatro edificaciones en curso, y la del grupo de cinco casas que la Caja de Ahorros provincial está levantando en el solar que, en unión del Banco Guipuzcoano, forma la manzana de 10.000 metros cuadrados, con fachadas a la Avenida y calles de Fuenterrabía, San Marcial y Guetaria".* Todas ellas se construirían con estructura de hormigón armado.

Por su parte, la sociedad Olasagasti y Cia (de los ingenieros Sierra y Díaz) se especializó en casas y villas burguesas de estilo vasco, que construía por cuenta propia o de sus clientes y después vendía o arrendaba. De estas características era la villa construida para el barón de Satrústegui en la playa de Ondarreta, proyectada por Francisco de Urcola. Con el arquitecto Luís Elizalde colaboraron en la construcción de tres villas adosadas en la subida a los altos de Aldapeta. También construyeron villas vascas con Francisco de Urcola y Emiliano Amaan Garamendi.



Figura 200. Grupo de villas vascas construidas por la Sociedad Olasagasti y Cia en San Sebastián. 1917. Luís Elizalde, arquitecto; Sierra y Díaz, ingenieros. En *La Construcción Moderna*. Hemeroteca Municipal de Madrid.

Aparte de las casas vascas, Sierra y Díaz realizaron otras obras importantes en San Sebastián. La más destacada fueron las tribunas del Hipódromo de Lasarte.

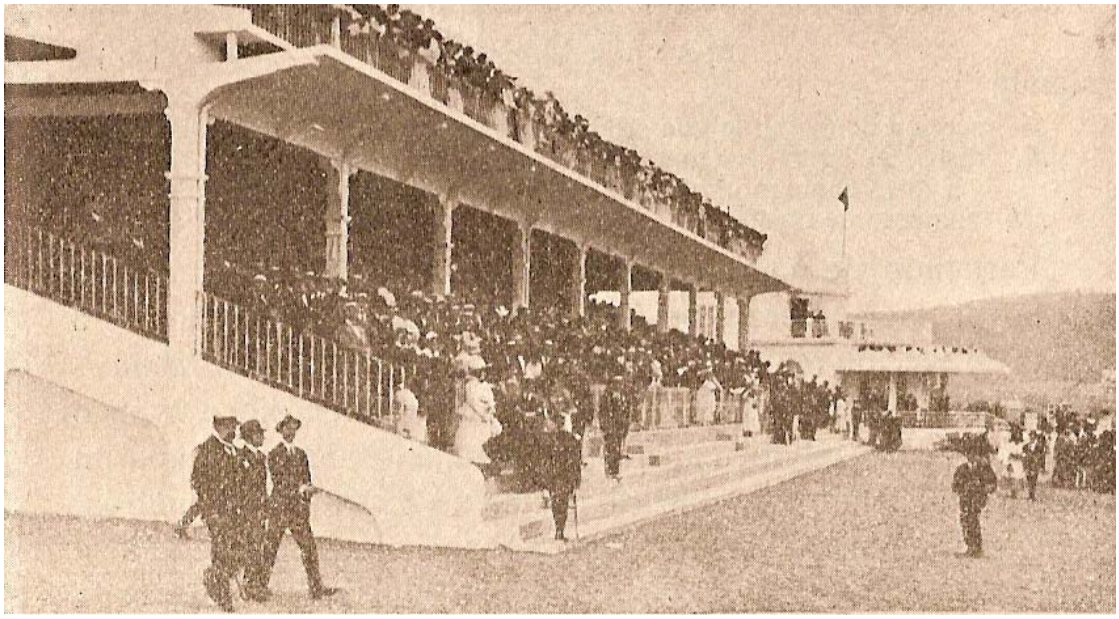


Figura 201. Tribunas del Hipódromo de Lasarte. San Sebastián. Sierra y Díaz, ingenieros. En Gallego Ramos, *Cemento armado, estudios y tanteos.*

De nuevo en Bilbao, el arquitecto Enrique Epalza utilizó elementos estructurales de hormigón armado en su Iglesia de la Sagrada Familia, inaugurada en 1917. Con este material se construyeron las columnas interiores, la cubierta y el piso de la sacristía[433].

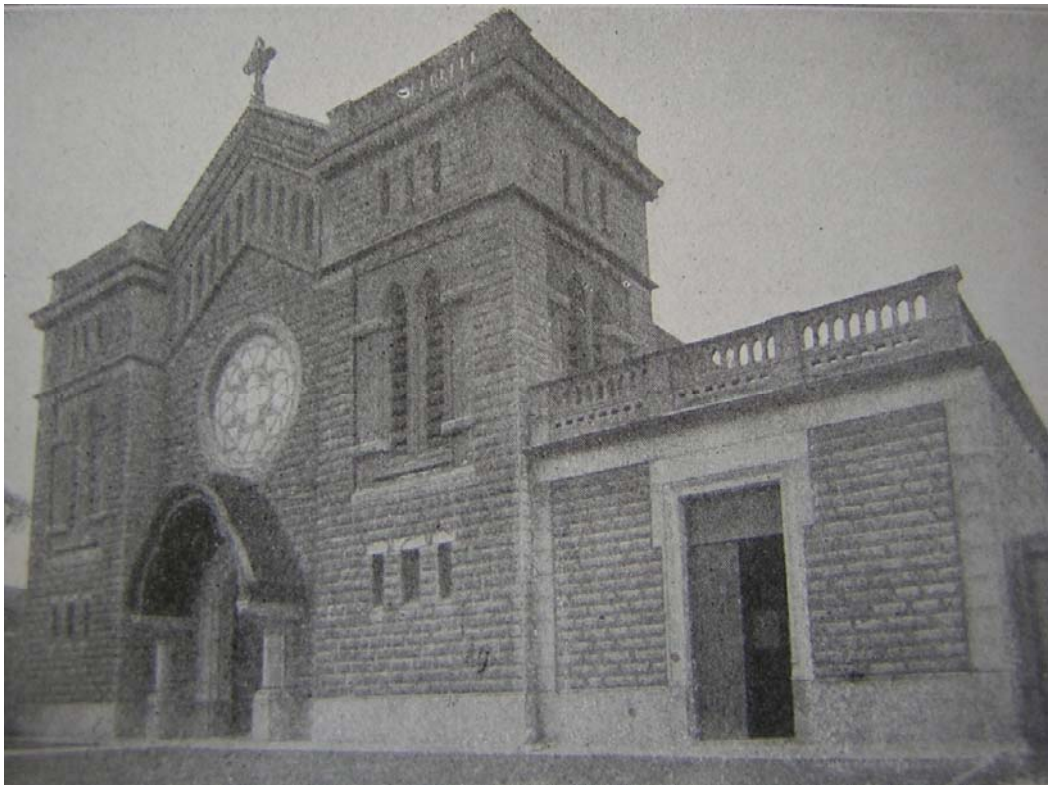


Figura 202. Iglesia de la Sagrada Familia. Enrique Epalza, arquitecto. En *La Construcción Moderna*. Hemeroteca Municipal de Madrid.

Aunque a menor escala, otra ciudad importante para la construcción con hormigón armado en estos tiempos fue Sevilla. En torno a 1908 se fundó en ella la sociedad anónima *"La Edificadora Sevillana"*, dedicada inicialmente a la fabricación de bloques de cemento. Con la incorporación del ingeniero militar Juan Ramón Sena (del que ya se ha comentado su actividad pionera con el nuevo material en la capital andaluza) como director gerente, la empresa decidió extender su negocio a la construcción de edificios, *"en la mayor parte de los cuales combinaba muy acertadamente los bloques de cemento con el hormigón armado, colocando aquellos en los muros y haciendo por dicho sistema pisos, terrazas y pilares"*[434].

Se construyeron así varios "hoteles" o grandes villas de lujo en algunas de las nuevas arterias urbanas de Sevilla, como la calle de Oriente, la avenida de San Sebastián o la Cruz del campo.

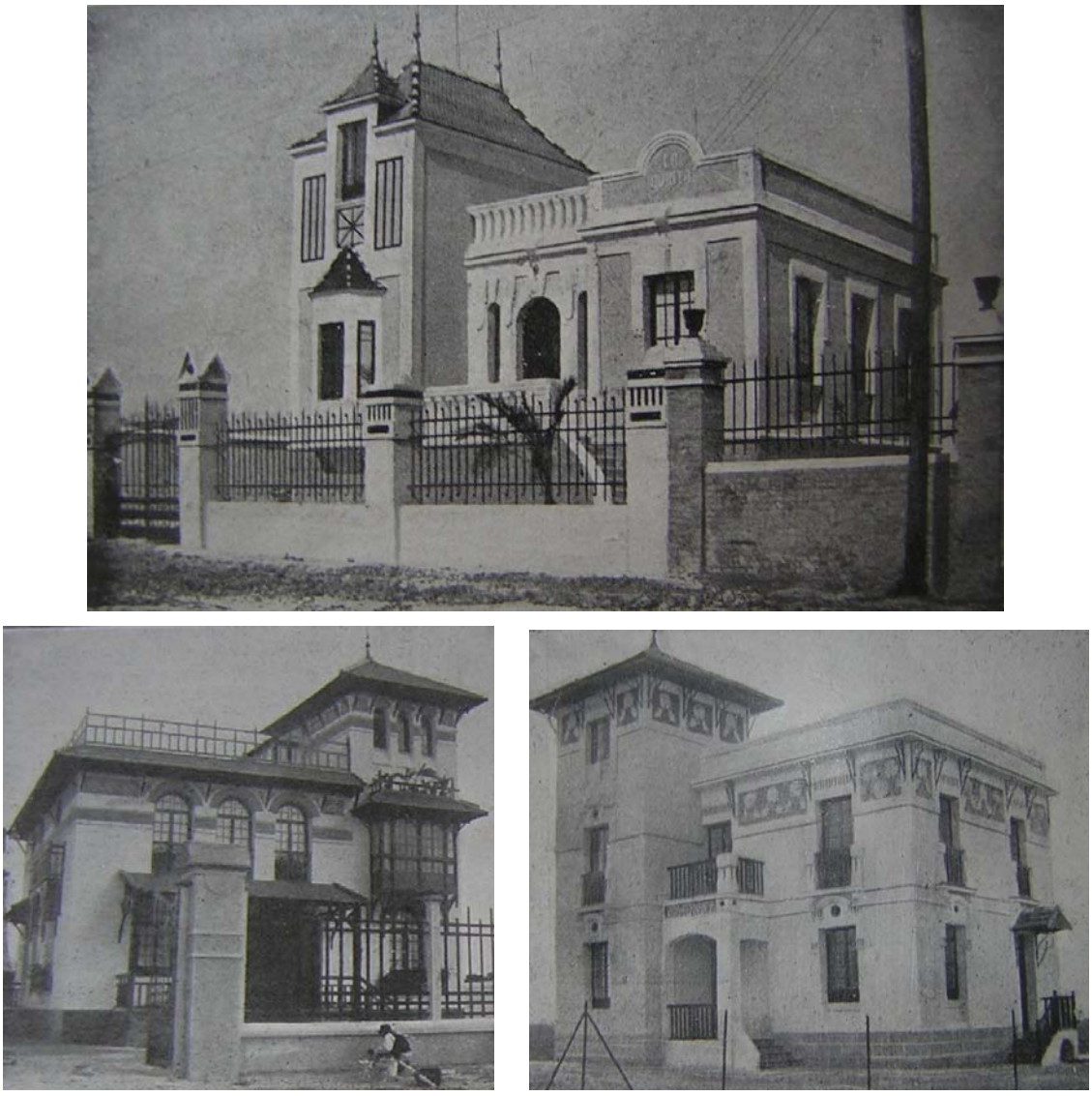


Figura 203. Villas construidas con elementos estructurales de hormigón armado en Sevilla. Arriba, en la Cruz del Campo, abajo, avenida de San Sebastián y calle de Oriente. 1908-1914. Juan Ramón Sena, ingeniero militar. En *La Construcción Moderna*. Hemeroteca Municipal de Madrid.

A partir de 1910 la recuperación también fue haciéndose palpable en el campo de la fabricación industrial de objetos de hormigón armado. Los más comunes eran los postes para líneas eléctricas y de teléfono, que hasta el accidente del *Tercer Depósito* 1905 habían tenido gran demanda (se instalaron en la red telefónica urbana de San Sebastián, en la de Madrid o en la línea eléctrica de Fernán Núñez a Montemayor). Sin embaro, no se vuelve a registrar su utilización hasta 1910, año en que se constituyó en Madrid la sociedad García Lastia, Berstein y Salvatierra, dedicada a la fabricación de un nuevo tipo de *poste de hormigón armado comprimido LBS*. Según Eduardo Gallego, se trataba del *"poste que pudiéramos llamar ideal, es decir, ligero, rígido, de gran resistencia, duración indefinida, mal conductor del fluido eléctrico y relativamente económico"*. Un millar de estos postes se instalarían en la línea de transporte de *La Huercalense* (en Huercal Overa, Almería). También los elegiría la Compañía Madrileña de Urbanización para su línea de tranvías[435].

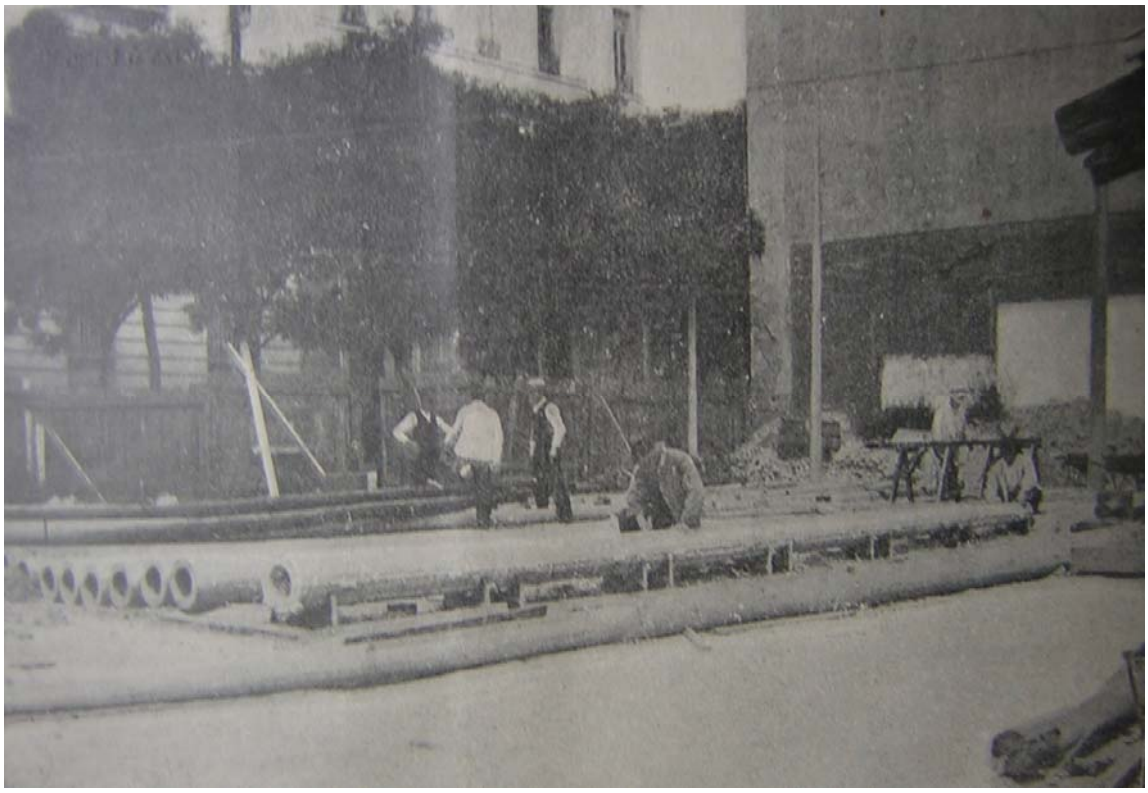


Figura 204. Construcción de postes de hormigón armado en los talleres de la sociedad LBS. Madrid, 1910. En *La Construcción Moderna*. Hemeroteca Municipal de Madrid.

También en 1910 la casa constructora Arrizabalaga, Zubinas y Compañía anunciaba la fabricación de *"cubas para vinos y aceites, silos para carbón y grano, depósitos para petróleo, estanques, cisternas y en particular nuestro pozo aséptico y decantador biológico sistema Sarría"*. El director técnico de esta compañía era Ramón Sarría, un ingeniero que había trabajado con la casa francesa Piketty construyendo un depósito elevado de hormigón armado en la ciudad de Constantina (Argelia)[436].

En 1912 se formó en Madrid otra empresa dedicada a la fabricación de postes para líneas eléctricas, la *Compañía constructora de postes de hormigón armado, S.A.* Frente a los postes tubulares ordinarios, su "poste universal aligerado", presentaba la ventaja de una considerable reducción de peso[437].

Por su parte, la empresa catalana Butsems y Compañía, cuya actividad principal era la fabricación de baldosas y piedra artificial, también se animó a probar suerte con los prefabricados de hormigón armado. Hacia 1916 se hizo con el importante contrato de las tuberías para la conducción de aguas de Moncada, en Barcelona.



Figura 205. Tuberías de hormigón armado en la fábrica de Butsems y C[ia]. Barcelona, 1916. *La Construcción Moderna*. Hemeroteca Municipal de Madrid.

Dentro del campo de los prefabricados, en los años de la Gran Guerra, debido a la escasez y altos precios del acero, empezaron a hacerse populares las viguetas prefabricadas de hormigón armado, que venían a sustituir a la tradicional viguería metálica en los forjados de bovedillas tabicadas de ladrillo

Hacia 1917 los ingenieros valencianos Blanco y Nebot habían diseñado y comercializaban las viguetas "Leo", de sección en doble T con el alma aligerada. Tuvieron bastante aceptación, pues se emplearon, siempre con buenos resultados, en obras de características diversas: unas bodegas, varias fábricas. Su aplicación más destacada fue en la Casa de Salud de Valencia[438].

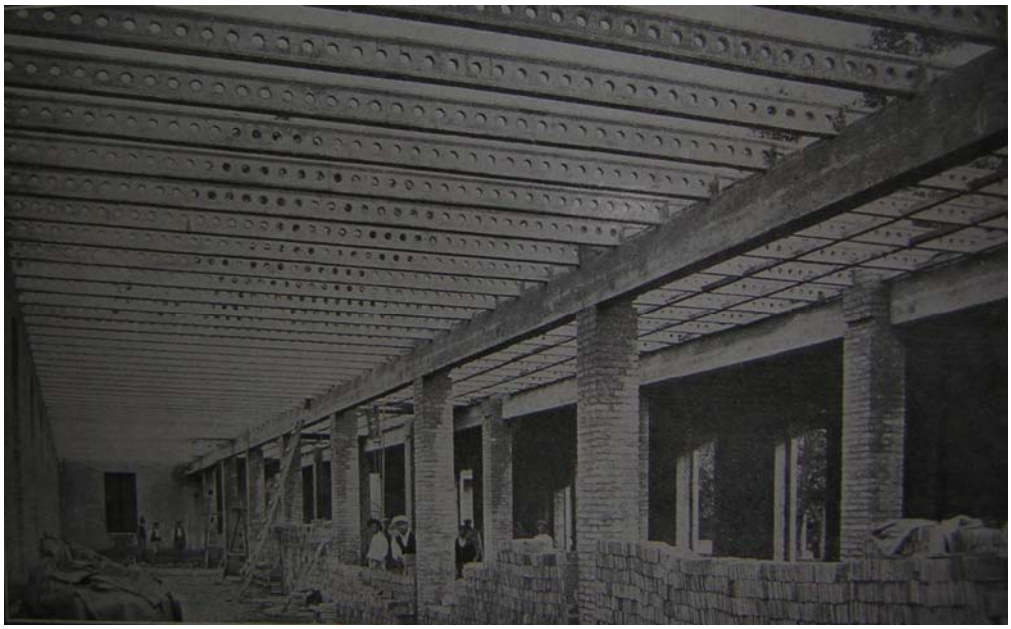


Figura 206. Construcción de un forjado con viguetas “Leo” en la Casa de la Salud de Valencia. 1917.En *La Construcción Moderna*. Hemeroteca Municipal de Madrid.

La *Agencia General del Piso Rápido*, empresa establecida en Bilbao y San Sebastián al final de la década, explotaba otro sistema de construcción de forjados con elementos prefabricados, el alemán *Gitterbalken-Eisenbeton-Doppel-Decke*. Los forjados de este sistema se construían adosando viguetas de sección en doble T y alma aligerada, de tal forma que las alas superiores constituían el suelo del piso y las inferiores el cielo raso. Se hicieron aplicaciones de este sistema en San Sebastián, Bilbao, Valladolid, Burgos y otras capitales. Incluso la Sociedad Anónima Fábrica de Mieres, productora de viguetas metálicas lo adoptó para unos edificios de su factoría[439].

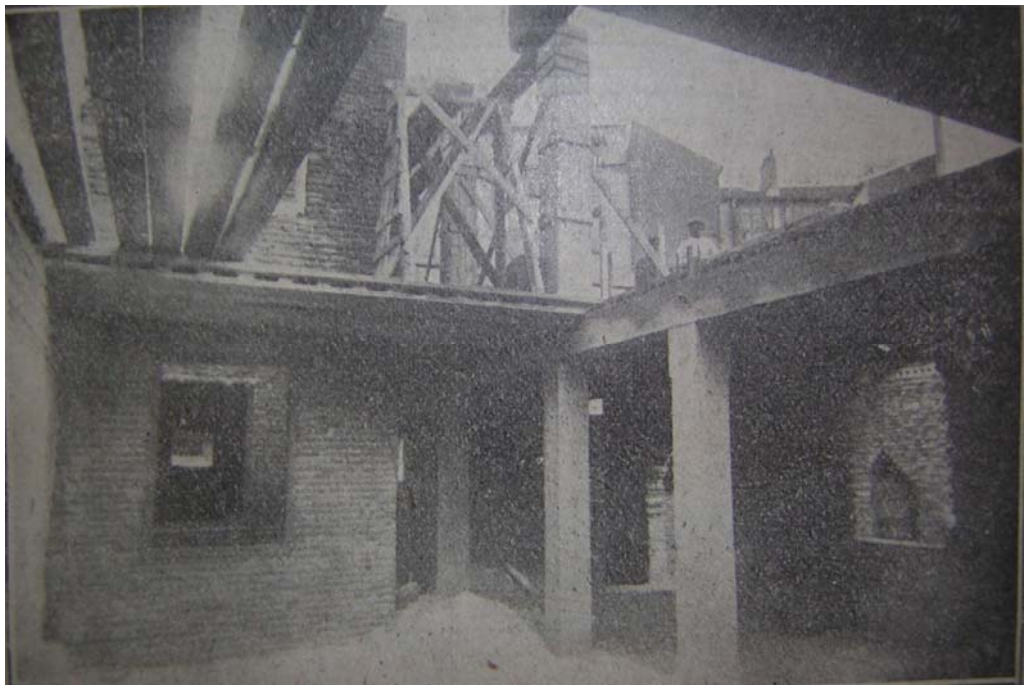


Figura 207. Casa en construcción en Valadolid empleando el sistema de forjados “Piso Rápido”. 1920. En *La Construcción Moderna*. Hemeroteca Municipal de Madrid.

También serían en esta época campo abonado para el hormigón armado los edificios e instalaciones industriales. El acelerado crecimiento industrial que se vivó en nuestro país como consecuencia de su neutralidad en la Gran Guerra impulsó la construcción de nuevas fábricas de todo tipo. La gigantesca factoría de la sociedad "Portlad Iberia" en Castillejo (provincia de Toledo) sería una de las más notables.

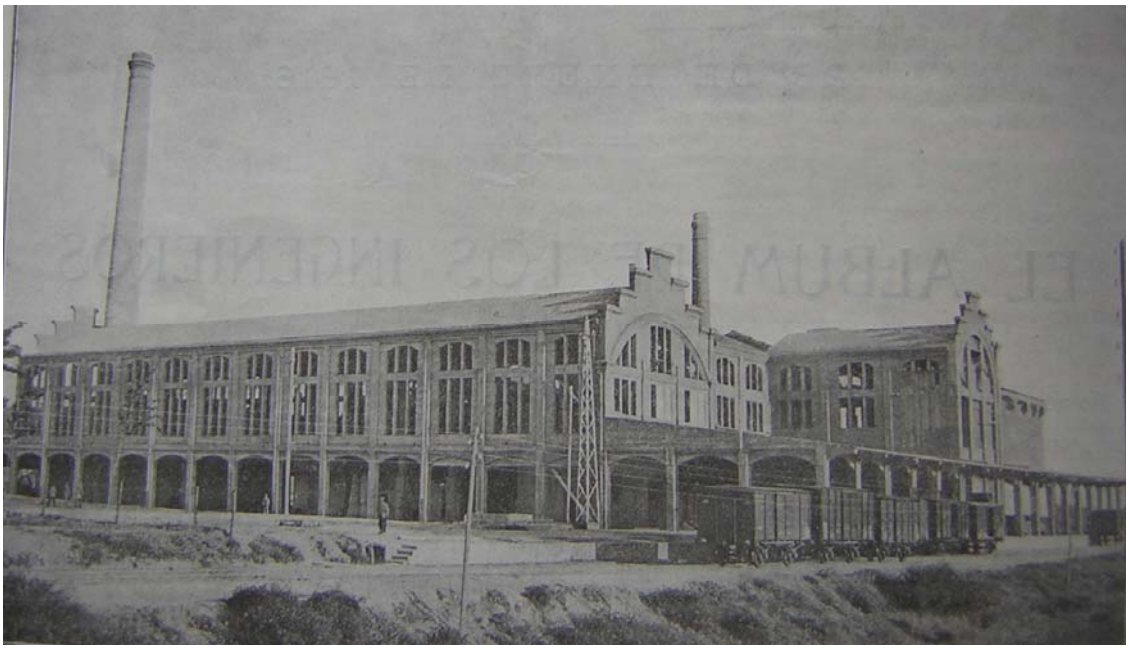


Figura 208. Fábrica de cemento de la sociedad "Portland Iberia" en Castillejo(Toledo). 1915-1916. Antonio López Franco, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Públicas.*

La estructura de las naves principales se formaba con "una serie de pilastras de sección cuadrada de 0,60 metros, enlazadas entres sí; espaciadas cada 5 metros y arriostradas a una altura de 5 metros por arcos rebajados sobre los que existen grandes ventanales". Los forjados también se construyeron con hormigón armado *"apoyados en pilastras y en las fachadas o en los macizos de las fundaciones, y sobre ellos en muchos puntos van instalados máquinas con sus bancadas, cuyos pesos, no despreciables, se han tenido en cuenta en los cálculos correspondientes"*.

En definitiva, este diseño respondía a la pretensión de su proyectista, el ingeniero de caminos Antonio López Franco, de lograr *"que toda la construcción en conjunto con sus elementos, muros, pilastras, fundaciones, bancadas, pisos y en muchos sitios cubiertas, formen un todo monolítico característico del sistema de hormigón armado que, soportando perfectamente las trepidaciones presenta la inmensa ventaja de haberse podido graduar perfectamente las resistencias según los esfuerzos y el haber dejado en los pisos multitud de aberturas de gran tamaño para el paso de las transmisiones y colocación de las tolvas, cosa que con otro sistema de construcción hubiera sido sumamente difícil"*[440].

Además de los edificios principales, esta factoría tenía también otras construcciones auxiliares, todas ellas de hormigón armado: silos de clinker, molino de carbón y hasta una pequeña central hidroeléctrica que incluía una presa en el río Tajo y un canal de derivación.



Figura 209. Canal de derivación y puente de hormigón armado para la fábrica de cemento de la sociedad "Portland Iberia" en Castillejo (Toledo). 1915-1916. Antonio López Franco, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Públicas.*

Reflejo también de la pujanza industrial española en los años de la Gran Guerra fue la implantación de la Compañía Británica Babcock y Wilcox en nuestro país, con el propósito de fabricar locomotoras y calderas. Nada más constituirse la filial española en mayo de 1917, se abrió un concurso para la construcción de una grandiosa factoría en Sestao, formada por "*diez grandes naves de 100 metros por 20, con altura de 12 metros; una nave de 200 metros por 20 por 12 y cuatro de 100 por 20 por 10, todas para destinarlas a talleres"*

Resultó vencedora del concurso la *Sociedad Anónima de Estudios y Obras de la Ingeniería*, dirigida por el ingeniero de minas Valentín Vallhonrat, con un proyecto en el que se resolvían con hormigón armado *"las fundaciones, pilares y vigas soportes de las vigas de grúa"*, con las particularidades de que *"las fundaciones han de hacerse sobre terreno fangoso, y las vias de grúa, que son de hormigón armado, tendrán que soportar carga crecidísimas, pues, por ejemplo, en la nave destinada al montaje de locomotoras circularán por dichas vigas grúas de 40 toneladas, y en la de montaje de calderas una de 30 toneladas y otra de 10"*[441]. Las obras comenzaron en noviembre de 1918.

A caballo entre las instalaciones industriales y las obras públicas otras construcciones que proliferaron en esta época fueron los depósitos. Uno de los representativos fue el de Salamanca, construido en 1915. Su proyecto fue realizado por un ingeniero francés (fallecido en la Primera Guerra Mundial) que trabajaba para la casa Gili de Bilbao.

La cuba cilíndrica de este imponente depósito (tenía 4000 m^3 de capacidad) se elevaba veinticinco metros sobre el suelo mediante doce pilares perimetrales y ocho interiores, arriostrados entre sí por una celosía tridimensional[442].

Otro depósito de aguas destacable de este periodo fue el construido por la casa *Blanco y Nebot, ingenieros* en el Campamento de Paterna (Valencia). También era elevado y tenía una capacidad de sesenta metros cúbicos[443].

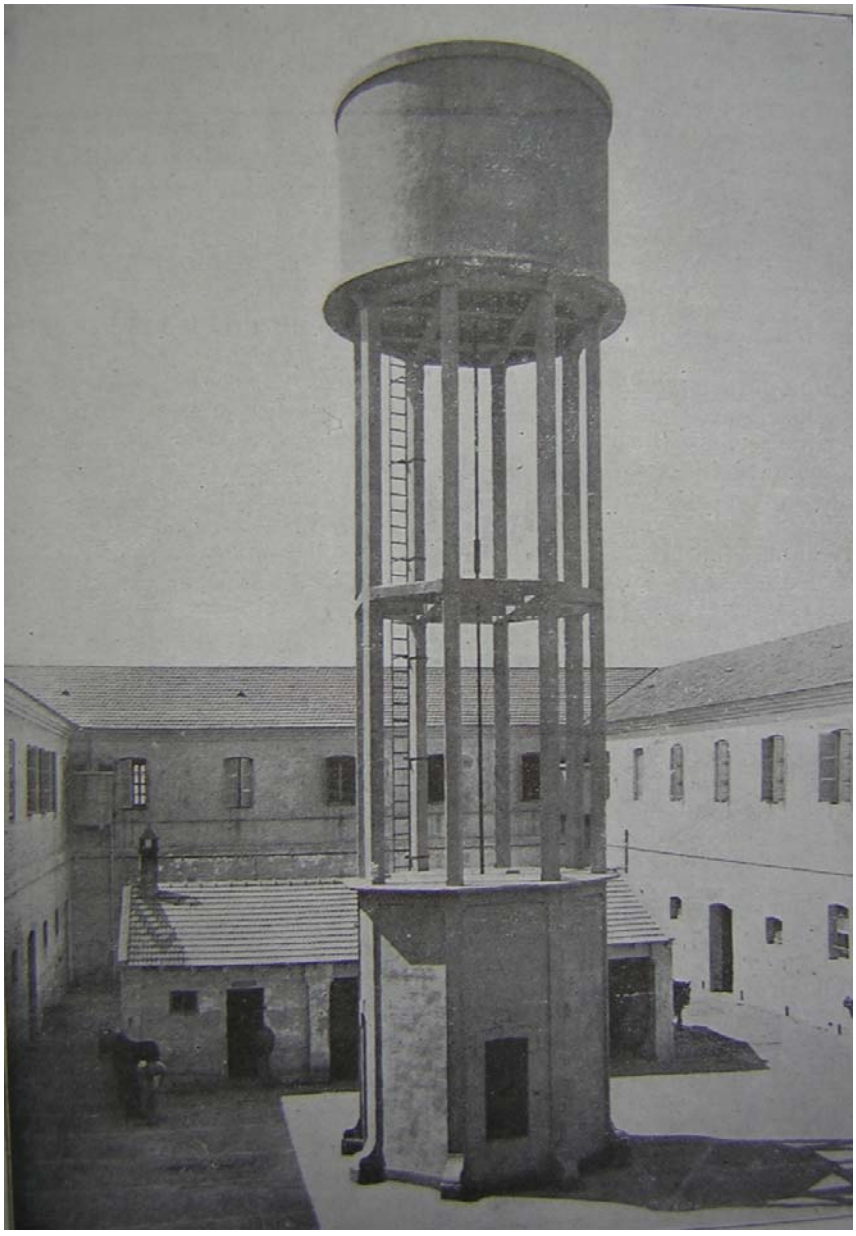


Figura 210. Depósito de agua en el campamento de Paterna(Valencia), Blanco y Nebot, ingenieros. 1918. En *La Construcción Moderna*. Hemeroteca Municipal de Madrid.

Se iba extendiendo asimismo el empleo del hormigón armado en las obras marítimas. Por ejemplo, en 1917 se construyó el nuevo muelle de atraque en Abando, dentro del Puerto de Bilbao. Proyectado por el ingeniero de caminos Luís Camiña, se resolvió con una losa armada apoyada sobre pilotes del mismo material[444].

También hay que resaltar el notable avance que se produjo en la construcción de puentes de hormigón armado, anticipándose al espectacular desarrollo que tendría en la década siguiente.

Entre los más significativos hay que mencionar los viaductos de la Peña y Miraflores, construidos entre 1915 y 1916 por la Sociedad Vallhonrat, Castrillo y Compañía (que, llamada después Sociedad Anónima de Aplicaciones de la Ingeniería, se haría cargo del proyecto de la factoría de Babcock y Wilcox en Sestao). Ambos viaductos formaban parte de la línea férrea de transporte de minerales de la mina Josefa. El de la Peña tenía una longitud de 200 metros repartida en tramos rectos de 18 metros de luz. Más singular si cabe era el de Miraflores, resuelto con un tramo horizontal de 18 metros sobre una carretera y cuatro de 18 metros sobre un talud de acusada inclinación[445].

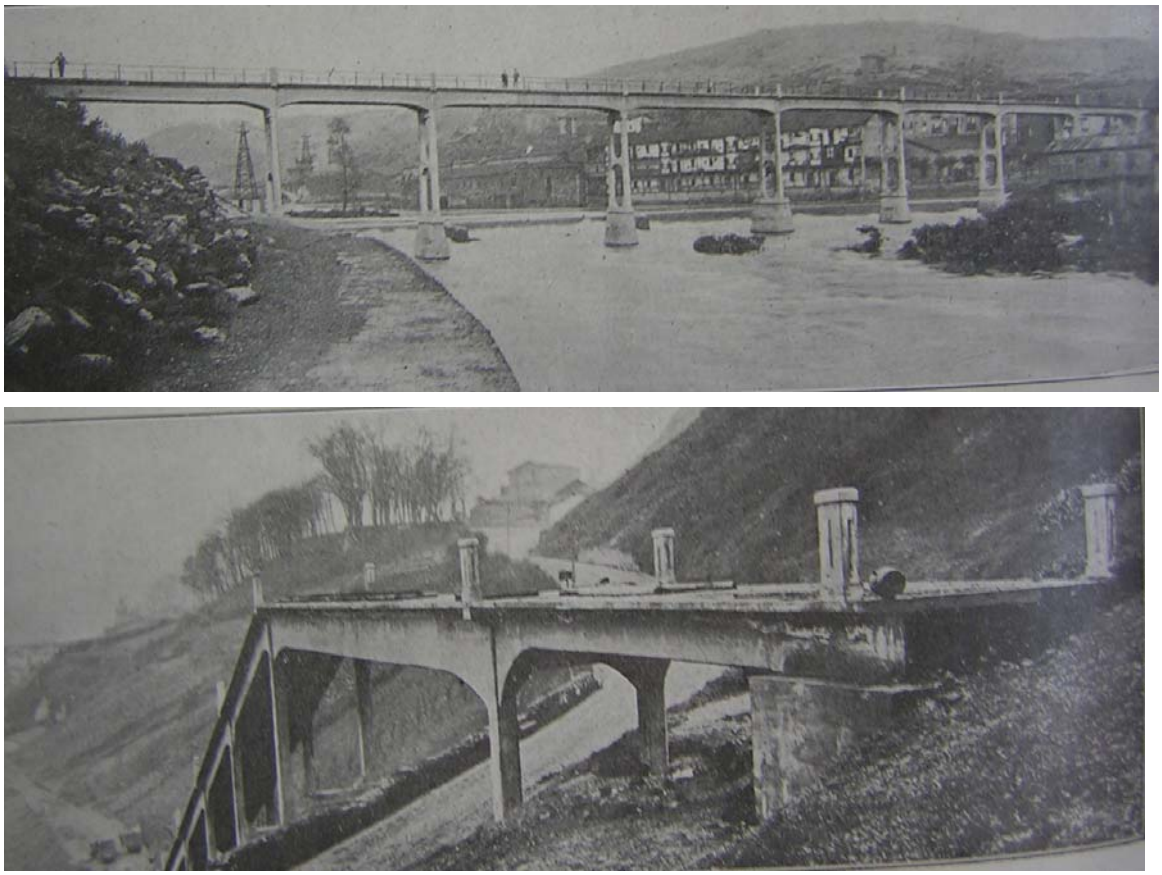


Figura 211. Viaducto de la Peña sobre el Nervión (arriba) y viaducto inclinado de Miraflores. 1915-1916. Vizcaya. Valentín Vallhonrat, ingeniero de minas. En *La Construcción Moderna*. Hemeroteca Municipal de Madrid.

La sociedad de Vallhonrat y Castrillo también se hizo cargo de la construcción de un depósito de aguas de 8000 m^3 de capacidad en Sestao[446].

Siguiendo con los puentes, uno de los proyectos más interesantes de esta época fue el del puente de hormigón armado sobre el río Júcar en Jalance(Valencia), calculado por el ingeniero de caminos Arturo Monfort aplicando la teoría de Elasticidad de E. Mörsch. Constaba de cuatro arcos empotrados sin articulaciones de treinta metros de luz y cinco flecha, con

espesor variable desde cuarenta centímetros en la clave hasta alcanzar un metro en los arranques[447].

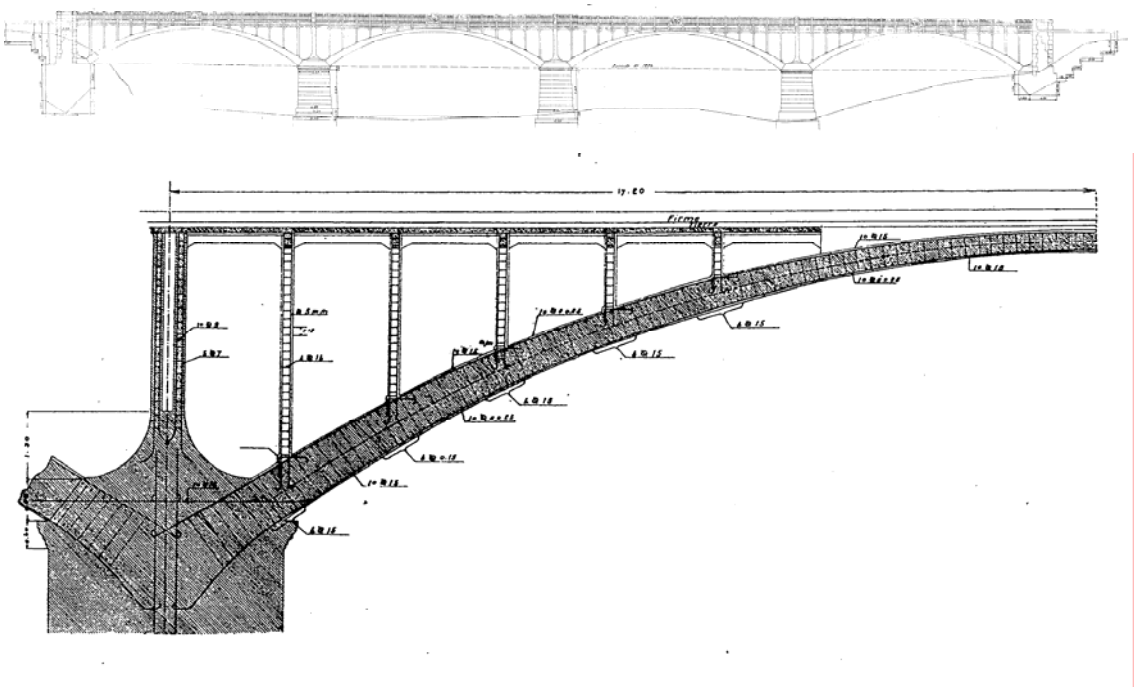


Figura 212. Proyecto de puente sobre el río Júcar en Jalance(Valencia). 1917. Arturo Monfort, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.*

De 1917 data un puente de hormigón armado sobre el río Pisuerga para el camino vecinal de Soto de Cerrato a la carretera de San Isidro de Dueñas a Burgos. A estas alturas, su autor, el ingeniero de caminos José María Sainz, consideraba *"innecesario justificar la elección que hemos hecho de este material, admitido ya en obras públicas de extraordinaria importancia, y cuyas ventajas, desde el punto de vista económico, facilidad y rapidez de ejecución y excelente conservación son evidentes".* Sainz adoptó la tipología de tramos rectos de 14 metros de luz *"por ser los más económicos en su clase y que ya en esta provincia tenemos un caso práctico, el de Triollo, que ha dado excelentes resultados"*[448].

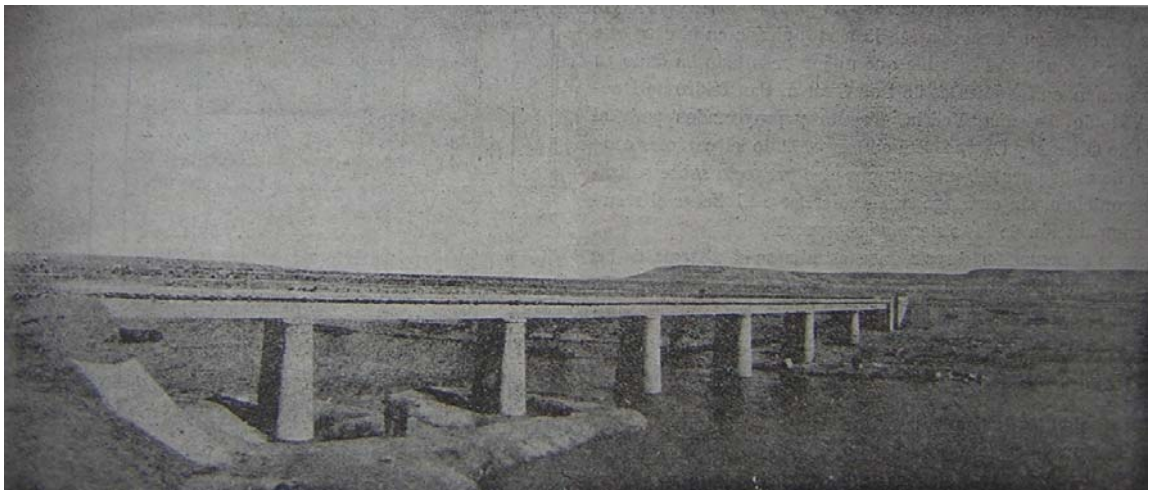


Figura 213. Puente de Soto de Cerrato (Palencia) sobre el Pisuerga. 1917. Jose María Sainz, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Al margen de las obras arquitectónicas y de ingeniería, la escasez y el elevado precio del acero impulsaron el tanteo de nuevas aplicaciones del hormigón armado. Así, en octubre de 1918 el ingeniero de caminos Julio Múrua proyectó con este material una barcaza para el Canal de Castilla[449]. Se llegaron a construir cuatro de estas barcazas, de doce metros de eslora y cuatro de manga. El coste total de cada una de ellas fue de 10.722 pesetas, mientras que *"se pidieron 15.000 pesetas por las de madera y no fue posible obtener precio ni plazo para las de hierro"*. Animado por su relativa buena aceptación, se atrevió a plantear la utilización del hormigón armado para la construcción de vagones de ferrocarril. En 1920 presentó un anteproyecto de vagón de mercancías con una capacidad de carga de veinte toneladas[450]. Para viajeros proponía la utilización de un modelo americano

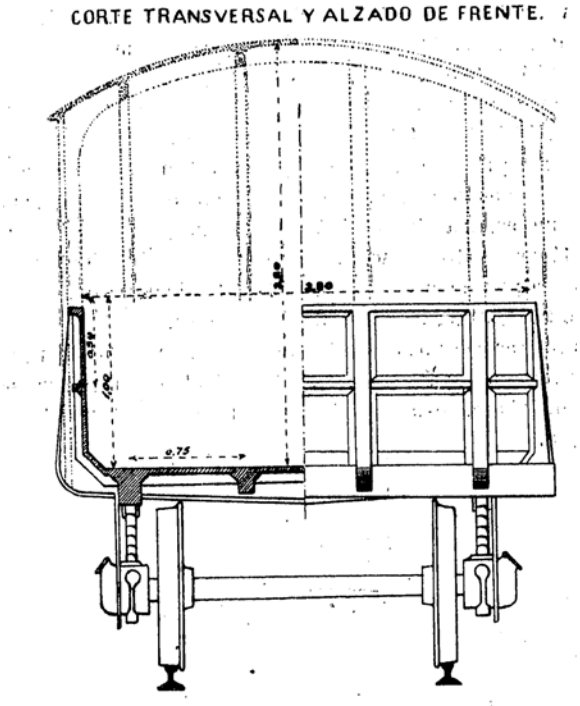


Figura 214. Proyecto de una caja de hormigón armado para vagón de 20 toneladas de carga. 1920. Julio Murúa María Sainz. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

15) El hormigón armado en las ciudades españolas del Norte de África y el Protectorado español de Marruecos.

En la segunda década del siglo entraría en escena una importante zona de expansión para el hormigón armado: el Protectorado español de Marruecos. Aquí los ingenieros militares, que venían apostando fuerte por el nuevo material desde los comienzos, tendrían una participación fundamental.

Definidas en la conferencia de Algeciras de 1904 las zonas de influencia española y francesa en Marruecos, en 1909 se aprobaba, en concierto con el país vecino, un ambicioso programa de obras públicas para el protectorado, que incluía todo tipo de carreteras, obras hidráulicas, portuarias, faros y trabajos de urbanización y saneamiento de ciudades[451]. A finales de ese año el gobierno español, decidido a intensificar la acción de España en Marruecos, envió a Melilla al ministro de Fomento, Rafael Gasset, junto con una comisión de ingenieros civiles, con el objetivo de planificar las obras públicas a realizar en la zona española[452]. Se abrían nuevas oportunidades para los técnicos y constructores españoles, circunstancia a las que se sumaría un notable aumento de la demanda de edificaciones privadas que se registraría en las ciudades de Ceuta y Melilla en los años siguientes.

Por otro lado, las singulares condiciones en que se tuvieron que llevar a cabo estas construcciones abrieron amplias expectativas para el hormigón armado, que encontró en el Norte de África un importante campo de experimentación. Junto con el País Vasco, se convirtió en la región española donde más aceptación alcanzó.

En las ciudades de Ceuta y Melilla y el protectorado español de Marruecos utilizaron el hormigón armado muchos técnicos de diversa formación. El responsable de las primeras construcciones sería una vez más José Eugenio Ribera. Tras el puente sobre el río de Oro, ya comentado, su compañía presentó en diciembre de 1913 los proyectos de una pasarela y un puente sobre el arroyo Mezquita en Melilla. Se trataba en ambos casos de tramos rectos de seis metros de luz, de dos metros de ancho la pasarela y ocho metros el puente[453].

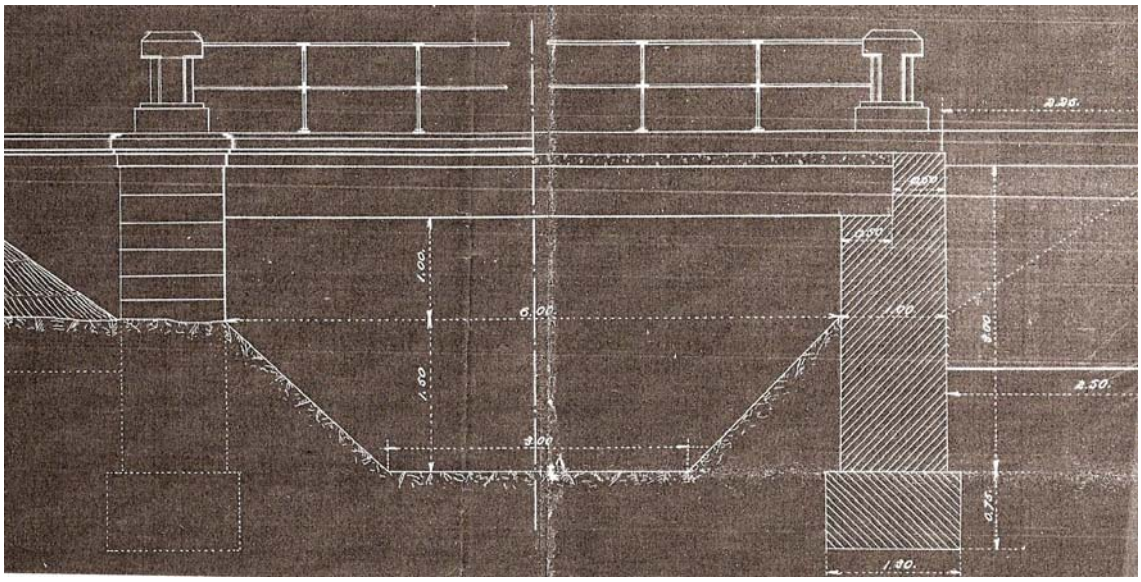


Figura 215. Puente sobre el Arroyo Mezquita. Melilla, 1913. José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos. Archivo Central de Melilla

Serían de de las primeras realizaciones de Ribera en el Protectorado, donde tendría una importante participación en la construcción de los nuevos edificios y obras de ingeniería con los que los gobernantes españoles pretendían impulsar el desarrollo del nuevo territorio colonial.

Sin embargo, el peso de la acción modernizadora de España en Marruecos lo llevarían hasta bien entrados los años veinte los ingenieros militares, quienes por la circunstancia de hallarse la zona en guerra fueron en la mayoría de las ocasiones los únicos técnicos a quien se podía recurrir.

Prácticamente desprovistas de toda infraestructura las poblaciones del Protectorado, la actividad de los ingenieros militares se centraría en el diseño y construcción de vías de comunicaciones, ingeniería sanitaria y trabajos de urbanización.

Pero también tendrían que afrontar la construcción de numerosos edificios públicos, tanto de ámbito militar como civil. Así mismo, la importante demanda de edificación privada les llevaría a proyectar y construir edificios para particulares, lo cual daría lugar a no pocos conflictos a medida que fue normalizándose la situación en el protectorado.

En muchas de estas obras algunos ingenieros militares, al tanto de las modernas técnicas, encontraron en el hormigón armado la solución para muy diversos problemas constructivos.

Por ejemplo, en 1915 Tomás Moreno Lázaro proyectó el edificio de la Nueva Pescadería de Melilla con su estructura completa de hormigón armado[454]. Se trataba de un edificio de planta rectangular, alargado, con una distribución en crujías paralelas que se formaban mediante pórticos planos y bóvedas de cañón rebajadas.



Figura 216. Edificio para los servicios del puerto. Tomás Moreno Lázaro, ingeniero militar. Melilla, 1915. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

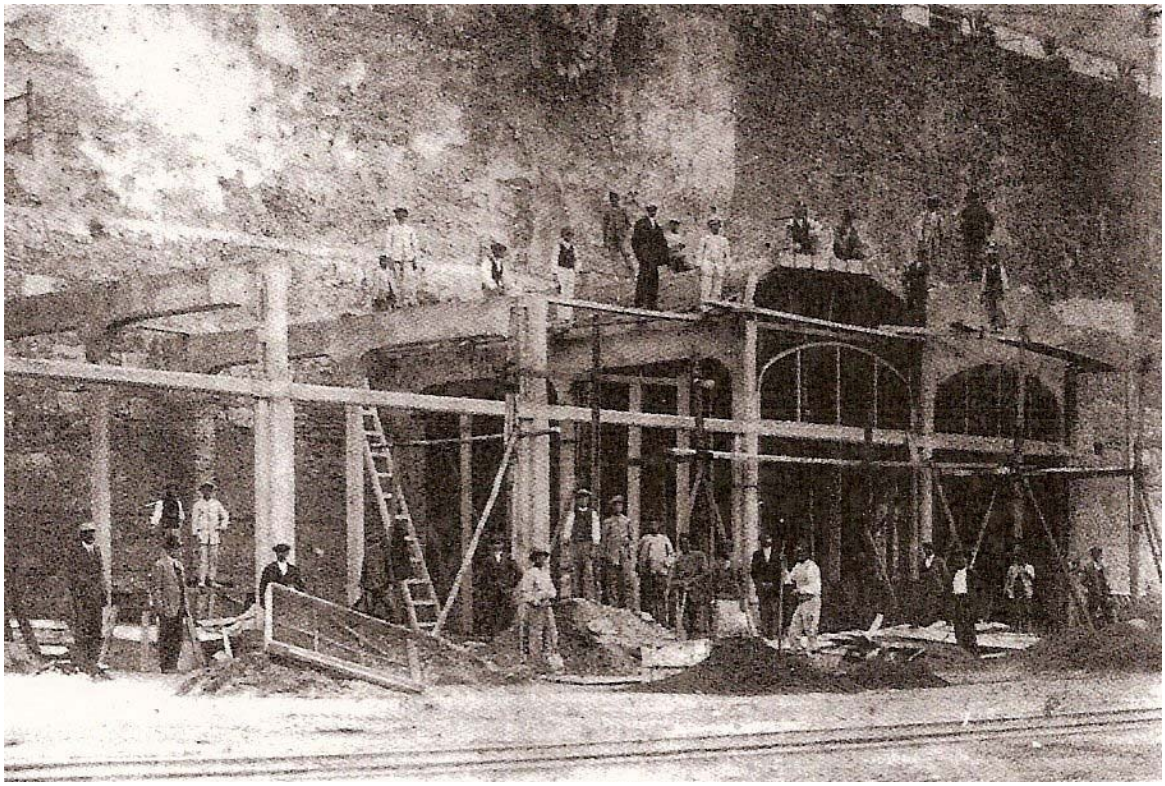


Figura 217. Construcción de la estructura de la Nueva Pescadería de Melilla. 1915. Tomás Moreno Lázaro, ingeniero militar. Cortesía de Antonio Bravo Nieto.

También utilizaría el hormigón armado para construir ese mismo año un depósito de agua elevado de sesenta metros cúbicos de capacidad en el Parque Hernández, de Melilla[455]. La misma solución la adoptaría algunos años más tarde para construir otro depósito de agua en el Barrio de la Reina Regente[456].



Figura 218. Depósito del Parque Hernández. Melilla, 1915. Tomás Moreno Lázaro, ingeniero militar. En Gallego Ramos, *Cemento armado, estudios y tanteos.*

Los ingenieros militares del Protectorado adoptaron rápidamente el hormigón armado para sus trabajos de ingeniería hidráulica y sanitaria. Particularmente extendido fue su uso en depósitos de agua.

Siguiendo en Melilla, Francisco Carcaño, otro destacado ingeniero militar con importantes trabajos de arquitectura y urbanismo[457], construyó con hormigón armado en 1921 el depósito elevado de Maria Cristina[458].

Mientras tanto, en Alcazarquivir el ingeniero militar Mariano Campos había construido en 1915 un depósito rectangular elevado de mil metros cúbicos de capacidad, para el abastecimiento de la población y del campamento militar del Mensak[459].

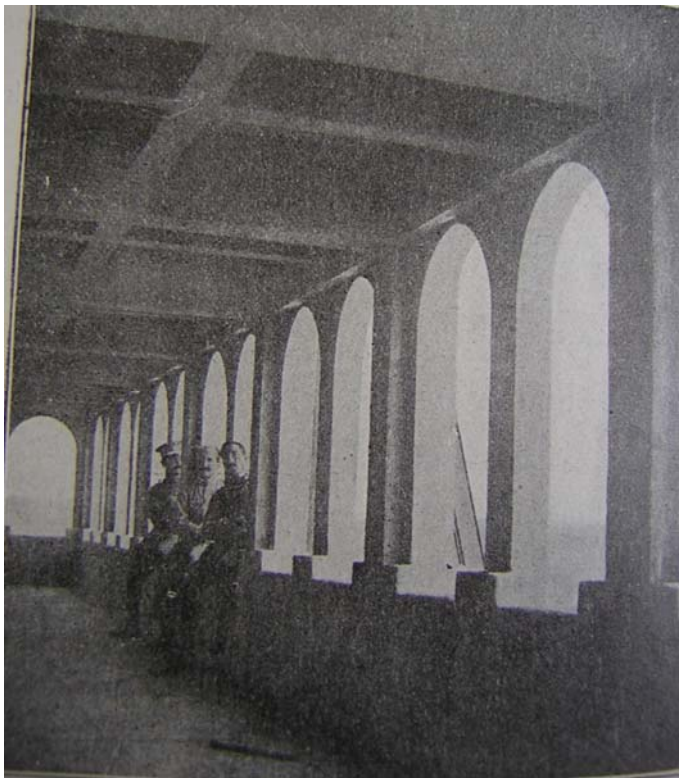


Figura 219. Galería baja del depósito elevado para el abastecimiento de aguas de Alcazarquivir. 1915. Mariano Campos, ingeniero militar. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

En la misma ciudad (Alcazarquivir) el ingeniero militar Antonio Rodríguez construyó en 1916 la casa vivienda de los señores Salvador. Constaba de dos pisos y azotea, con lavaderos y locales de servicio. Todo su entramado resistente era de cemento armado[460].



Figura 220. Casa vivienda de los señores Salvador. Alcazarquivir (Marruecos), 1916. Antonio Rodríguez, ingeniero militar. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

También registró actividad en el Marruecos Español la empresa Construcciones y Pavimentos, responsable de la construcción de una de las más importantes edificaciones de hormigón armado del Protectorado: la estación de Radiotelegrafía de Larache[461]. De inspiración neoárabe, es posible que en su proyecto participara el ingeniero militar Miguel García de la Herrán, a quien se debe una importante relación de obras arquitectónicas y de ingeniería construidas en Larache entre 1912 y 1916[462]. Sin duda la más destacada sería el puente del Kermán sobre el río Lucus, colgante de un solo tramo de 60 m de luz y apoyado en estribos de cemento armado[463].

Construcciones y Pavimentos también edificaría con estructura de hormigón armado los talleres de artillería de Larache. Antes de 1920 ya estaban en servicio.

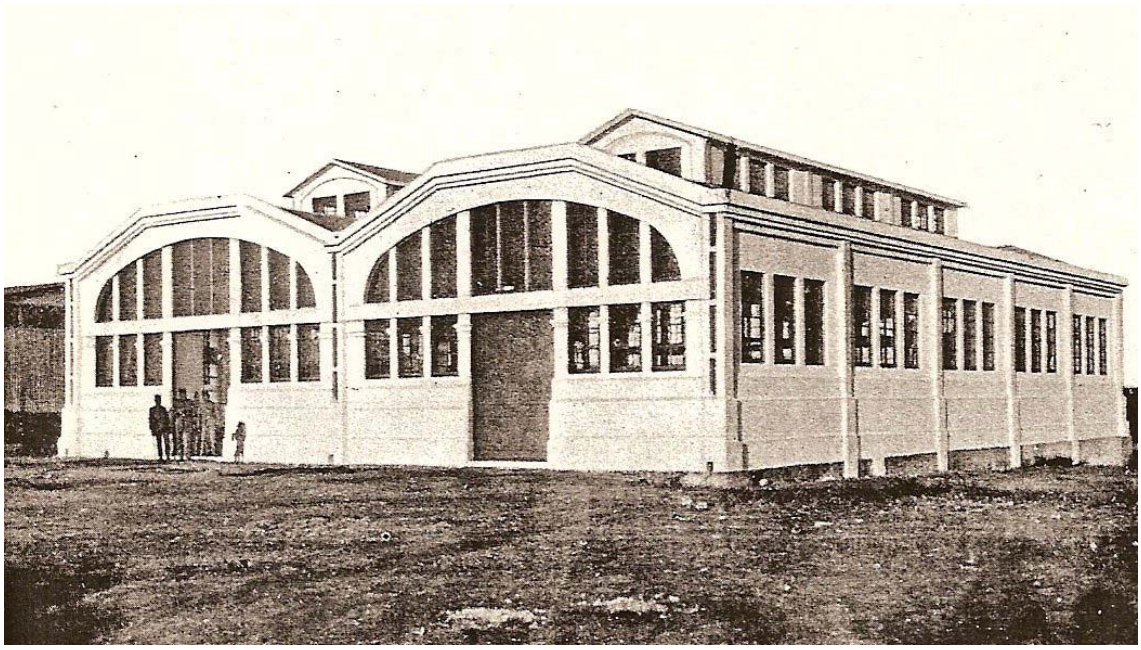


Figura 221. Talleres del cuartel de artillería de Larache (Marruecos).1916. Construcciones y Pavimentos. Col-legi d'arquitectes de Barcelona.

En enero de 1923 Jorge Palanca y Martínez de Fortún, capitán de ingenieros, presentó su proyecto de la nueva Escuela General y Técnica de Melilla, para la que diseñó una estructura de pilares y jácenas de hormigón armado[464]. Como ingeniero de la Junta de Arbitrios tendría una intervención destacada entre 1922 y 1926 en las obras municipales de la ciudad norteafricana[465].

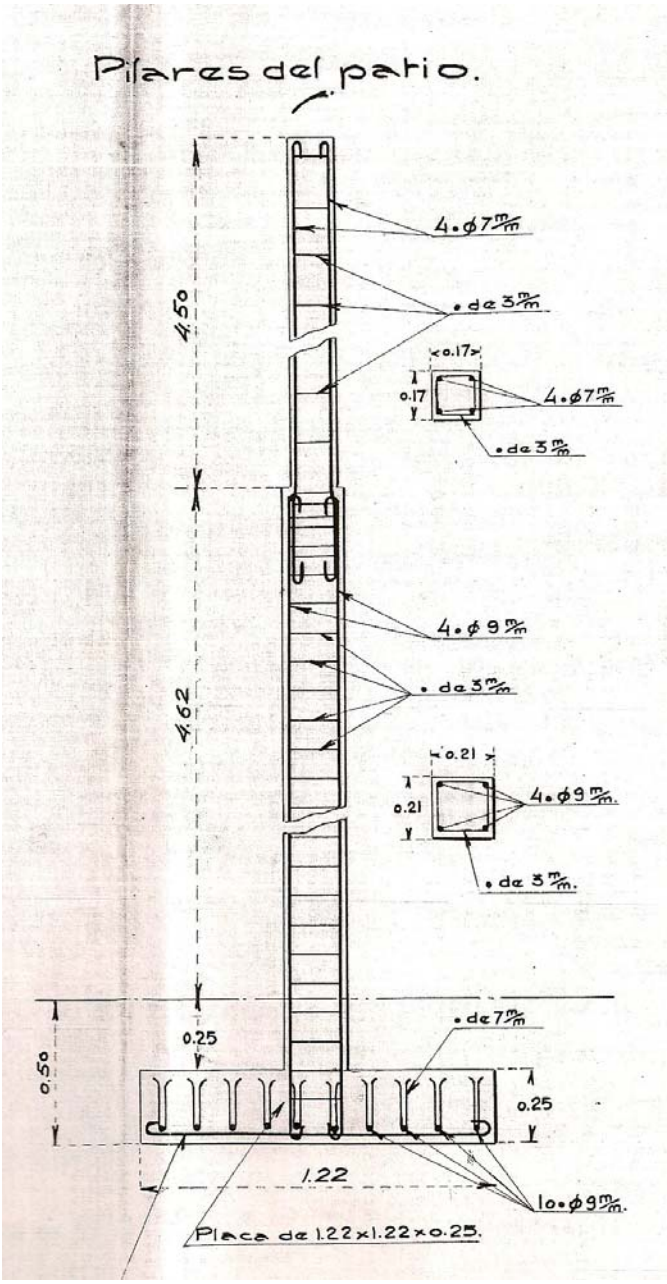


Figura 222. Proyecto de Nueva Escuela General y Técnica de Melilla. Detalle de pilares. 1923. Jorge Palanca y Martínez de Fortún, ingeniero militar. Archivo Central de Melilla.

El desarrollo de las nuevas vías de comunicaciones que necesitaba el Protectorado impulsó la construcción de gran número de puentes. Lastrados por serias contingencias (dificultad para abastecerse de materiales, trabajo en zona de guerra, condiciones climáticas muy duras, con riesgo de aparición de paludismo y otras enfermedades, etc) los ingenieros militares tuvieron que desplegar muy variados recursos para afrontar su construcción. De este modo, los hay colgantes metálicos como el ya citado del Kermán, en arco *Bow-String* de madera (puente de Izarduy, 1918) o rectos sobre palizadas (río Smir, 1914), sin que faltaran los de fábrica tradicional y de hormigón en masa o armado[466].

El puente sobre el río Kert bien podría ser un buen ejemplo de los problemas a los que tendrían que hacer frente los ingenieros militares españoles en los primeros tiempos del Protectorado.

Forzado el paso de este río por las tropas españolas y ocupado su curso medio e inferior en mayo de 1915, inmediatamente se decidió la construcción del puente como elemento fundamental de la estratégica carretera de Kaddur a Tikermin.

De su proyecto se hizo cargo el comandante de ingenieros Manuel García Díaz, quien inicialmente *"pensó construirlo de cemento armado, pero las casas dedicadas a estos trabajos dieron precios tan elevados, que eran inadmisibles y no se comprometían a terminarlo en el plazo fijado. En vistas de esas dificultades, tratóse de hacerlo de hierro; pero las fábricas tampoco se comprometían a proporcionar el material necesario en fecha conveniente".*

Así que al final García Díaz lo resolvió con tres bóvedas rebajadas de hormigón en masa de veinte metros de luz cada una, sobre pilas y estribos de hormigón y mampostería hidráulica. Sus obras *"empezaron en agosto de 1915, pero estuvieron interrumpidas durante meses, bien por tener que tomar parte las compañías de ingenieros en las operaciones, ya por falta de consignación o de materiales".* Finalmente fue inaugurado en mayo de 1917.

García Díaz dirigió todas las obras de esta importante carretera, que incluía ocho atarjeas y dos puentes más como el del Kert, pero de menor entidad: uno sobre el río Melja, con un arco de hormigón de doce metros de luz y otro de ocho metros sobre el río Sarremor[467].

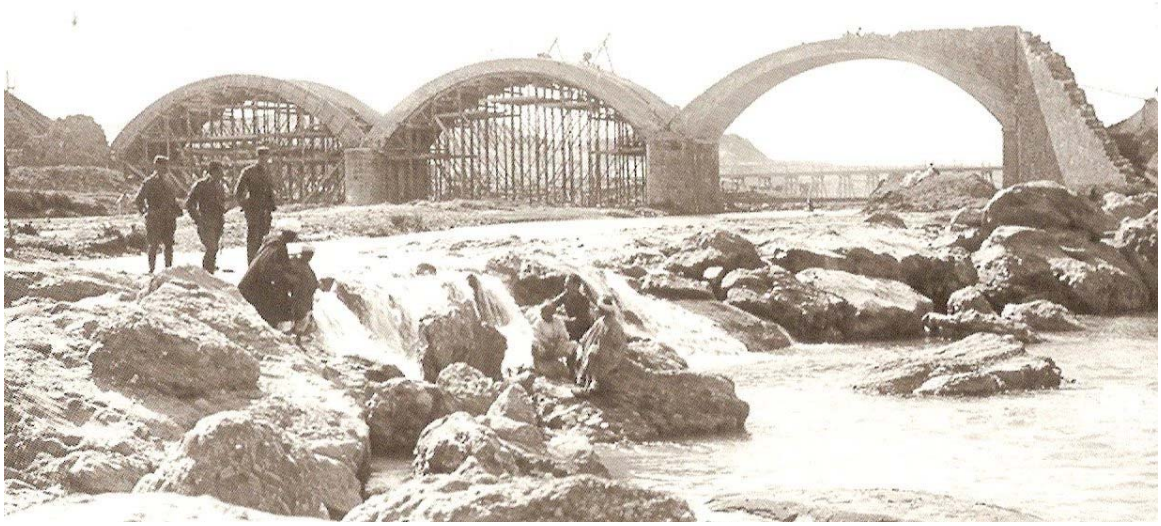


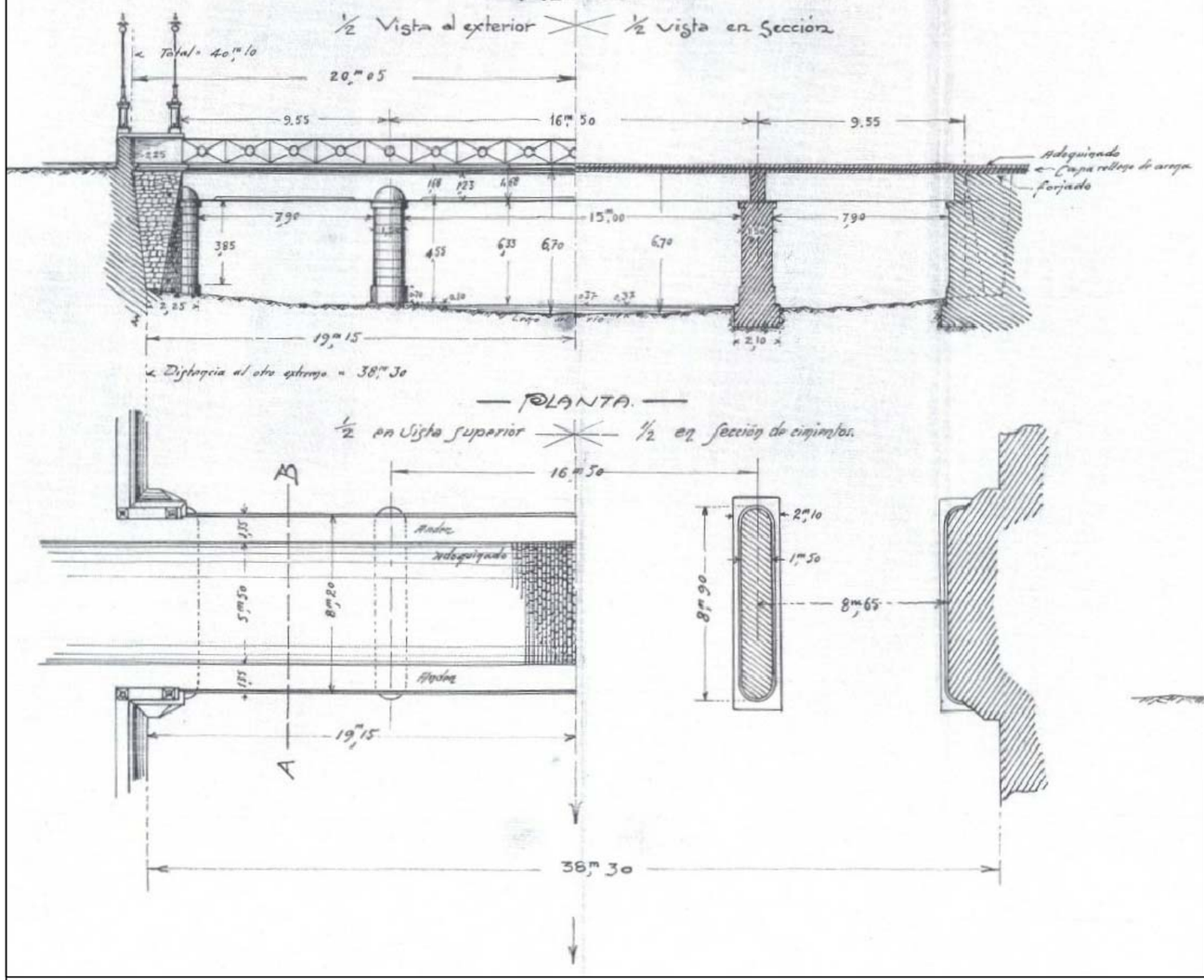
Figura 223. Puente sobre el río Kert.(Marruecos).1917. Manuel García Díaz, ingeniero militar. Cortesía de Antonio Bravo Nieto.

PLANO DEL PUENTE SOBRE RIO DE ORO DE LA CARRETERA → DE MELILLA A NADOR.

ESCALA = 1/200

— ALZADO —

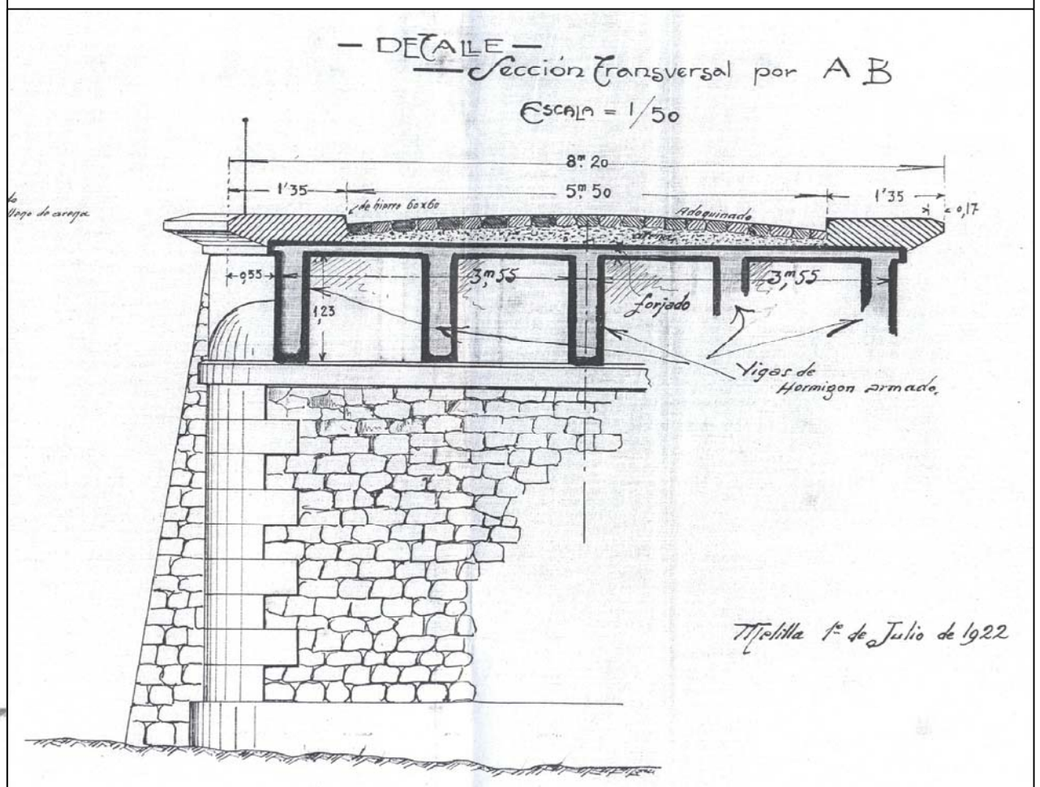
½ Vista al exterior ½ vista en Sección



— DETALLE —

— Sección Transversal por A B

ESCALA = 1/50



Melilla 1º de Julio de 1922

Menos dificultades encontraría cinco años más tarde el también comandante de ingenieros Mariano del Pozo para su proyecto de Puente sobre el Río de Oro en Melilla (que sustituía al antiguo Puente de Camellos). Aunque su propósito inicial era construir *"un solo tramo metálico en arco parabólico triarticulado"* por su elevado coste se decidió al final por una *"solución de tramos rectos de hormigón armado, que reducen el presupuesto a menos de la mitad"*[468].

Se componía este puente de seis tramos rectos de 7,50 m de luz apoyados sobre palizadas. Tanto estas como los estribos se cimentaban con pilotes de hormigón armado.

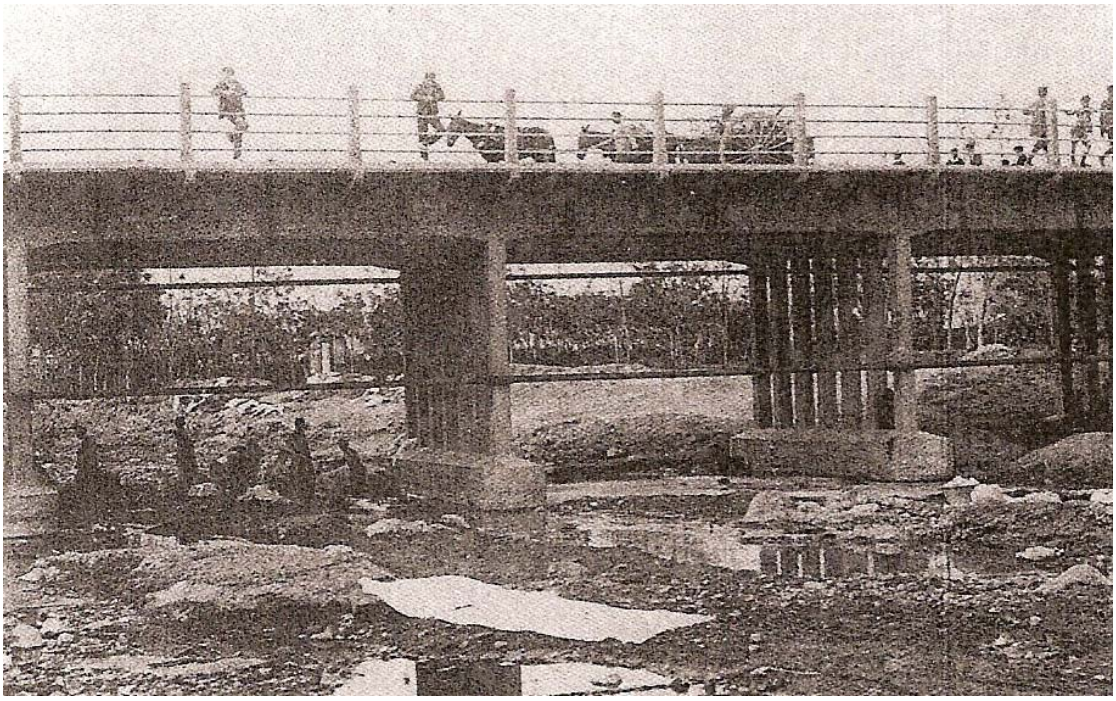


Figura 224. Puente sobre el Río de Oro (Puente de Camellos). Melilla. 1922. Mariano del Pozo, ingeniero militar. Cortesía de Antonio Bravo Nieto.

También con hormigón armado se construyeron, ya en los años veinte, varios puentes a la entrada del ferrocarril minero en Melilla. Formando parte, como obras auxiliares, del complejo proyecto del Cargadero de la Compañía Española de Minas del Rif en el puerto de Melilla, se construyeron un nuevo puente sobre el río de Oro y un paso superior sobre la carretera de Melilla a Nador. Ambos responden al mismo esquema estructural de viga recta de celosía con tablero inferior. El paso superior tiene un tramo central de celosía de 32 metros de luz flanqueado por dos tramos rectos sencillos de cuatro metros de luz. Su peculiar diseño le permitía soportar cargas de hasta 2250 toneladas[469].

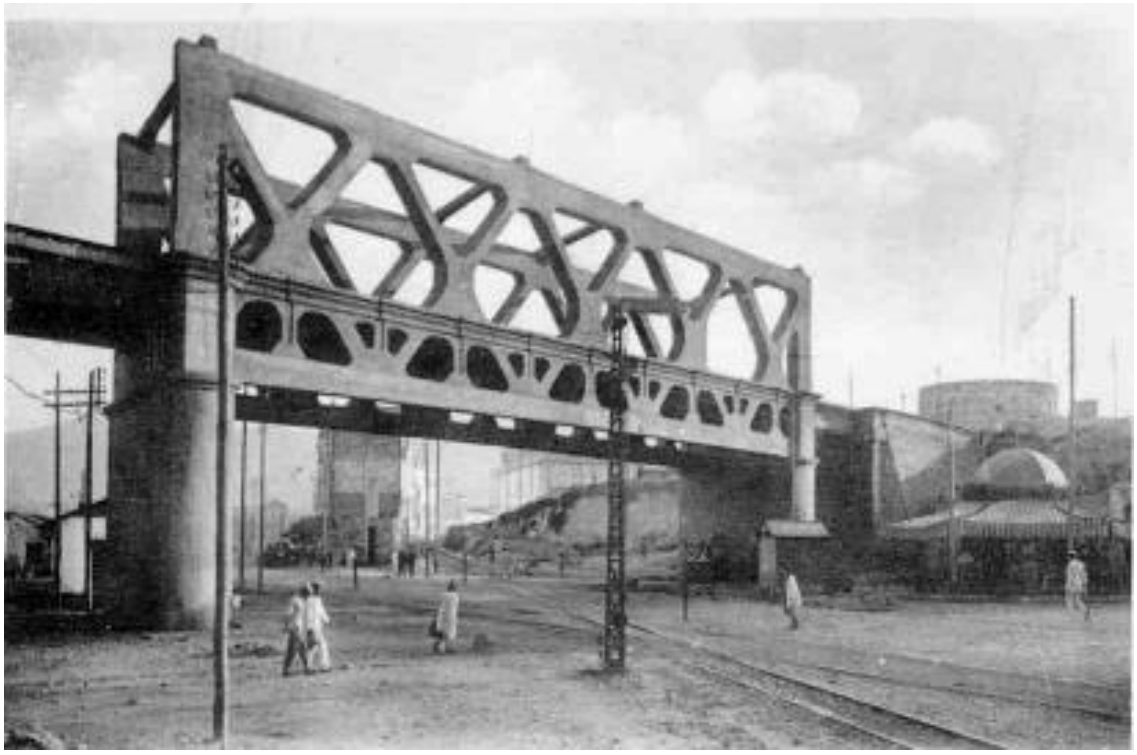


Figura 225. Paso superior del ferrocarril de la C.E.M.R sobre la carretera de Melilla a Nador. Hacia 1920. Colección Juan Díez Sánchez.

El Cargadero de mineral del puerto de Melilla fue en este tiempo sin duda la construcción de hormigón armado más importante del Protectorado y una de las más significativas de toda España. El cargadero propiamente englobaba tres construcciones principales: *"un Depósito de mineral con sus túneles de carga, un Viaducto sobre el depósito de minerales y un Viaducto para las cintas de carga"* [470]. Además formaban parte del proyecto otras construcciones auxiliares no menos importantes como los puentes ya citados.

Constituida la *Compañía Española de Minas del Rif* en julio de 1908, un año después inició la construcción de una línea de ferrocarril de 32 km que enlazaba sus minas de hierro de Beni-Buifrur, en Guelaya, provincia de Nador, con Melilla. Como punto final de la línea, el ingeniero de caminos Manuel Becerra, su proyectista, presentó en 1910 un proyecto de cargadero con estructura metálica en el puerto melillense, que no fue aceptado.

Terminado definitivamente el ferrocarril minero en 1914, pronto se hizo evidente la necesidad de construir un cargadero en el puerto de la ciudad norteafricana, pues el mineral se introducía en los buques mediante barcazas que se cargaban y descargaban a brazo.

Decidida la *Compañía* a emprender la construcción de un embarcadero propio encargó en 1914 un anteproyecto al ingeniero de caminos Emilio Kowalski. Obtenida la concesión administrativa ese mismo año, se encargó al ingeniero de minas Alfonso Gómez-Jordana la realización del proyecto de ejecución. Basado como el de Manuel Becerra en la utilización de estructura metálica, fue presentado en diciembre de 1915.

No obstante, en cumplimiento del *Reglamento de la Zona Militar de Costas y Fronteras de 1903,* debía someterse a una comisión mixta formada por la empresa, el Ejército y la Junta de Arbitrios de Melilla. En representación de esta última intervendría el capitán de ingenieros Tomás Moreno Lázaro, que ya se había destacado en el empleo del hormigón armado. Esta comisión estuvo revisando el proyecto casi dos años, dando su aprobación definitiva en 1915.

Durante ese tiempo la *Compañía* estuvo trabajando en su mejora, presentando en diciembre de 1917 un nuevo proyecto reformado, en el que se proponía la sustitución de todas las estructuras metálicas por otras de hormigón armado.



Figura 226. Vista aérea del Cargadero de Mineral de la C.E.M.R. en el puerto de Melilla. En primer término el muelle de amarre con el viaducto de cintas. Detrás, el depósito de mineral.

La primera instalación del Cargadero propiamente dicho era el depósito de mineral, una construcción alargada levantada sobre una plataforma de pilotes. Los trenes circulaban por encima, sobre dos viaductos de tramos rectos de hormigón armado, dejando caer el mineral al fondo del depósito. A través de varias aperturas se precipitaba en los túneles de carga, situados debajo. Había cinco de estos túneles, cada uno con su cinta transportadora. Con ellas se llevaba el mineral hasta un edificio intermedio, situado perpendicularmente, en la zona de transición entre mar y tierra. Ahí arrancaba el viaducto de las cintas transportadoras. El depósito tenía una capacidad de almacenamiento de 110.000 toneladas[471].

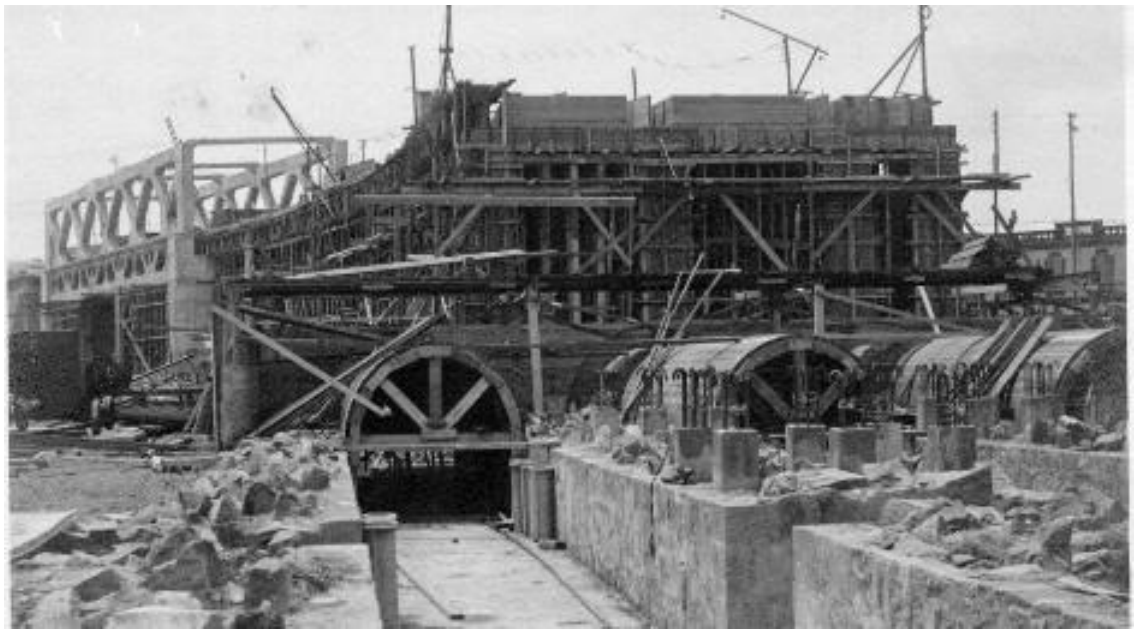


Figura 227. Cargadero de la C.E.M.R en el puerto de Melilla. Construcción del depósito de mineral y viaductos.1920-1925. Cortesía de Juan Díez Sánchez.

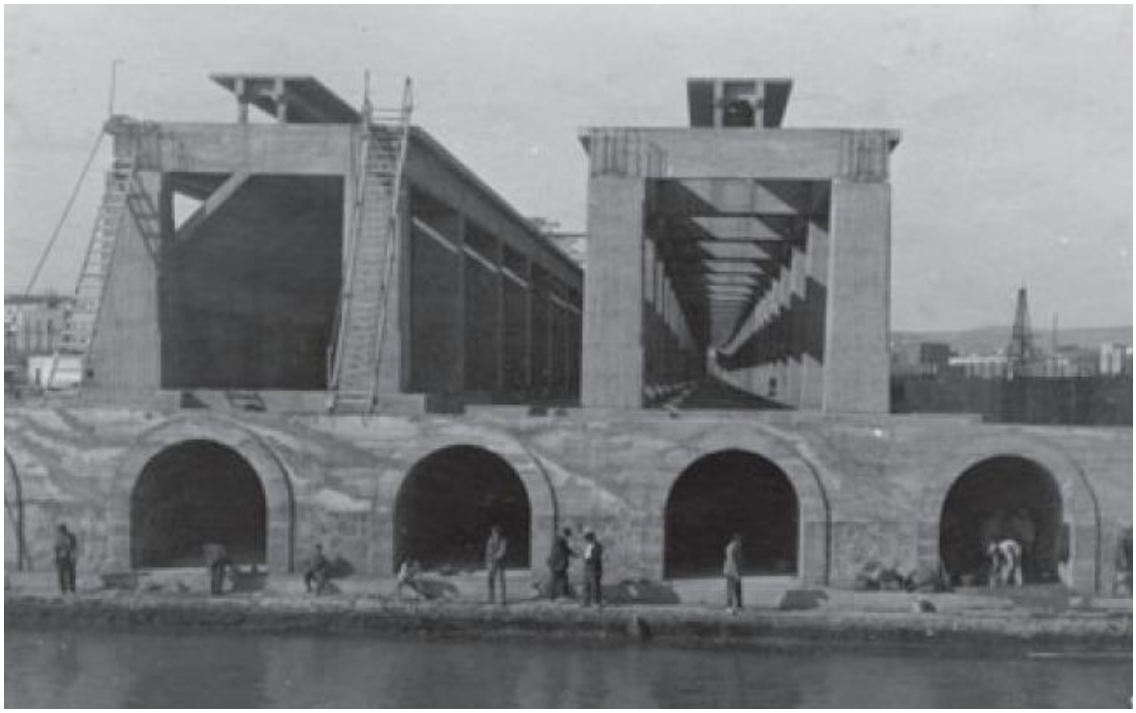


Figura 228. Cargadero de la C.E.M.R en el puerto de Melilla. Sección transversal del depósito de mineral con sus túneles de carga y viaductos.1920-1925. Cortesía de Juan Díez Sánchez.

Desde el edificio de transición partía el viaducto de las cintas de carga, también de tramos rectos de hormigón armado sobre pilares y jácenas del mismo material. Tenía 273 metros de longitud, de los cuales los 97 primeros tenían una notable inclinación. Este viaducto discurría sobre el muelle de amarre de los buques, de 313 metros de longitud que discurría sobre el muelle de amarre de los buques. Desde este viaducto de cintas, cuya plataforma se cerraba con una cubierta a dos aguas, se diría el mineral hacia los buques, concretándose el embarque mediante torres de carga de celosía metálica.

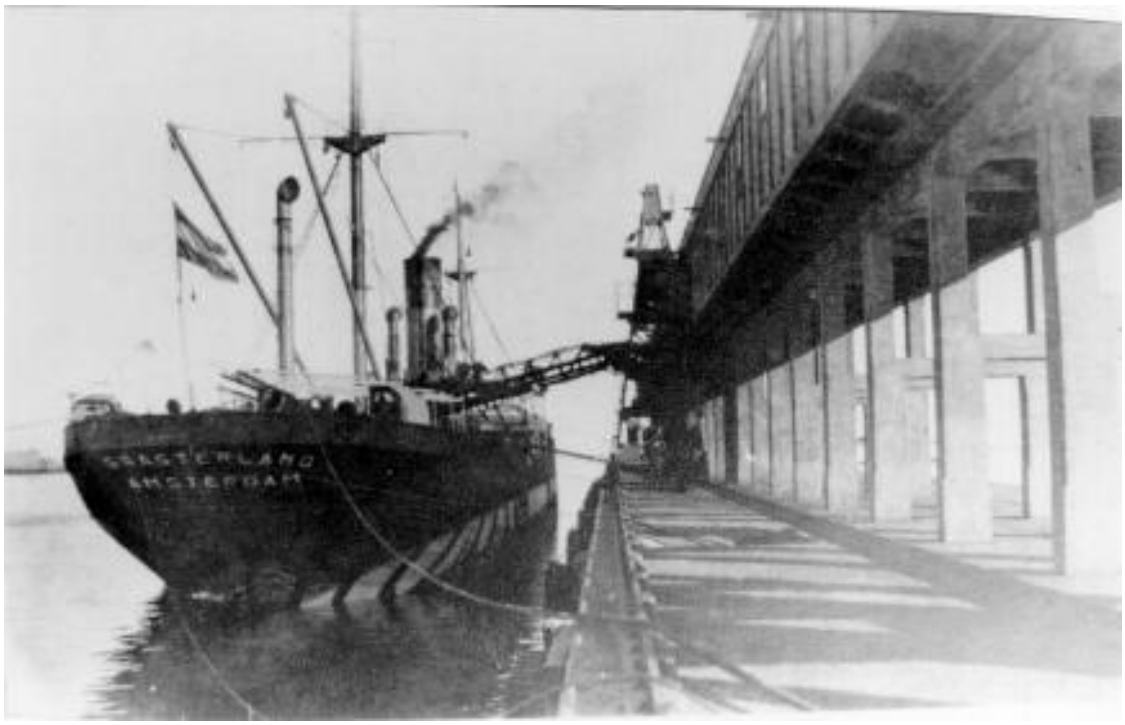


Figura 229. Cargadero de la C.E.M.R en el puerto de Melilla. Muelle de amarre y viaducto con las cintas de carga. Cortesía de Juan Díez Sánchez.

El Cargadero entró en servicio en 1926. Esta soberbia construcción, hoy en gran parte reutilizada, sería la última gran obra de los comienzos del hormigón armado en España.

16) La consagración del hormigón armado en la década de los veinte.

A lo largo del primer cuarto del siglo XX se fueron sentando las bases para que el hormigón armado llegara a ser la principal técnica de construcción en España. Gracias al empuje de unos cuantos pioneros, movidos bien por una fe inquebrantable en las posibilidades del nuevo material, bien por afán de prosperar, bien por ambas cosas, se había conseguido que a principios de los años veinte estuviera definitivamente implantado en nuestro país, aunque no de forma generalizada. Entonces, una afortunada combinación de circunstancias lo llevaría a la consagración definitiva.

Aunque el desarrollo no había corrido parejo al de otros países europeos, después de un cuarto de siglo haciendo obras de hormigón armado en España nadie podía cuestionar ya su validez como material de construcción. Atrás quedaban los temores provocados por los primeros accidentes, lógicos, sin embargo, de los comienzos de toda técnica constructiva. El buen comportamiento de la inmensa mayoría de estas construcciones, probado ya en un periodo de tiempo razonablemente largo, terminó por despejar todas las dudas.

Por otra parte, a principios de los veinte el hormigón armado había inevitablemente dejado de ser un producto comercial sujeto a patentes. Aunque no habían desaparecido del todo los privilegios de explotación, el nuevo material estaba a disposición de quien quisiera utilizarlo. Y de hecho cada vez tenía más implantación entre los constructores.

Para ello ya se contaba con una incipiente reglamentación. De 1912 datan las *"Instrucciones reglamentarias para el empleo del cemento armado"*, emitidas por el Laboratorio del Material de Ingenieros del Ejército. En junio de 1917 el Ministro de Fomento decretaba la creación de una Comisión para la *"redacción de bases de instrucción para proyectos de obras de hormigón armado aplicables a toda clase de obras públicas"*. Constituida a imitación de una similar formada en Francia tres años antes, la comisión estaba absolutamente justificada, pues *"van siendo ya numerosas las obras que por este procedimiento se ejecutan en España, no sólo en construcciones civiles, sino también en obras públicas de carreteras, construcciones hidráulicas, etcétera"*[472].

Entre los vocales de la Comisión estaba Juan Manuel de Zafra, que desde hacía algunos años venía impartiendo la asignatura de *Hormigón Armado* en la Escuela de Ingenieros de Caminos. Su inclusión en los programas de las escuelas técnicas universitarias sería otro paso trascendental.

Así pues, la técnica del hormigón armado había alcanzado su madurez y estaba en condiciones de liderar la construcción precisamente en el momento en que comenzaba una fase económica expansiva, en la que la industria de la construcción viviría un espectacular desarrollo.

A ello se sumaría también la superación de la crónica crisis política que había atenazado a los últimos gobiernos del *Turno dinástico.* Con la instauración de la Dictadura del General Primo de Rivera comenzó una etapa de estabilidad desconocida en España desde mucho tiempo atrás.

El nuevo régimen, además, estaba especialmente interesado en fomentar la construcción y las obras públicas. Una vez solventadas las dificultades iniciales y asentado en el poder impulsaría una extraordinaria campaña de construcciones estatales.

Se conformaban, pues, los años veinte como una época de múltiples oportunidades para la realización de proyectos de todo tipo. Esta coyuntura tan favorable coincidiría con la aparición de una excepcional hornada de técnicos de la construcción, en la que destacaron especialmente los ingenieros de caminos.

Precisamente con uno de ellos, Alfonso Peña Boeuf, se puede considerar que empieza la etapa de consolidación definitiva del hormigón armado en nuestro país. Discípulo destacado de Juan Manuel de Zafra (a quién sucedió en la cátedra de Hormigón Armado de la Escuela de Caminos), fue, como este, gran investigador y hombre de ciencia.

Todavía sin haber terminado la carrera daría a conocer sus primeros estudios teóricos[473], que luego continuaría desde el Laboratorio Central de la Escuela de Caminos. También realizaría otros estudios de índole práctica, como el que, en colaboración con el también ingeniero Eduardo Castro, llevó a cabo sobre la acción del agua de mar sobre el hormigón armado. Estos trabajos serían la base de su manual de Hormigón Armado, publicado en 1933[474].

Pero junto a su importante aportación teórica, Peña Boeuf tendría una destacada trayectoria como proyectista y constructor. Su primera obra importante fue el puente de la Presa sobre el río Urumea, en la carretera de Lecumberri a Hernani. Se componía de dos arcos parabólicos de 41,50 metros de luz, sobre los que se apoyaba el tablero[475].



Figura 230. Puente de la Presa en la carretera de Lecumberri a Hernani. 1916. Alfonso Peña Boeuf, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

Peña Boeuf trabajaría en muy variados campos de la ingeniería civil, intentando extender la aplicación del hormigón armado en todos ellos. Por ejemplo, en 1917 presentó un proyecto de presa de 90 metros de altura, formada por bóvedas y contrafuertes de hormigón en masa combinados con pantallas de hormigón armado[476]. El tema de las presas se convertiría en una constante en su vida profesional, llegando a idear más adelante un sistema propio.

También probó fortuna con el hormigón armado en la construcción naval. Junto con un empresario portugués llamado Abrunhoza y el ingeniero español Salvatierra constituyó la sociedad *"Moderna Constructora Naval"*, para la que proyectó un barco-pontón de hormigón armado de 700 toneladas de carga, que fue botado en sus astilleros de Viana do Castelo (Portugal) en octubre de 1920[477].

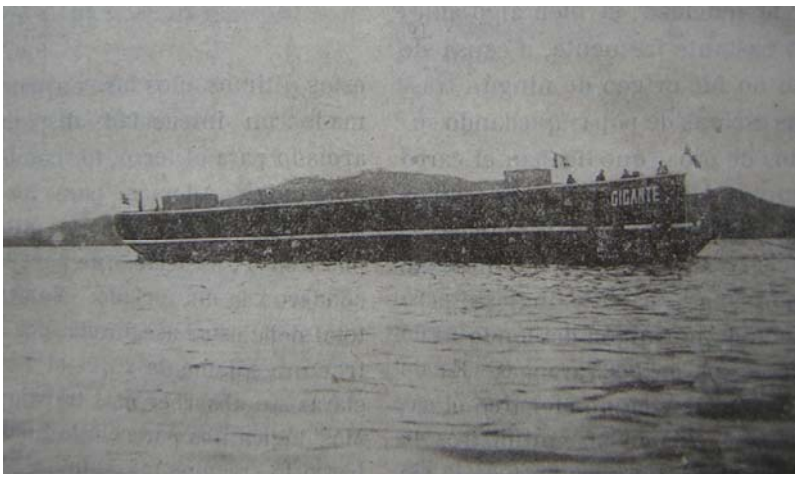


Figura 231. Barco-pontón de hormigón armado de 700 t de carga. 1920. Alfonso Peña Boeuf, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

Pero sin duda su trabajo más reconocido fue una obra hidráulica, el acueducto de Tardienta, diseñado con una caja de sección transversal semicircular[478].

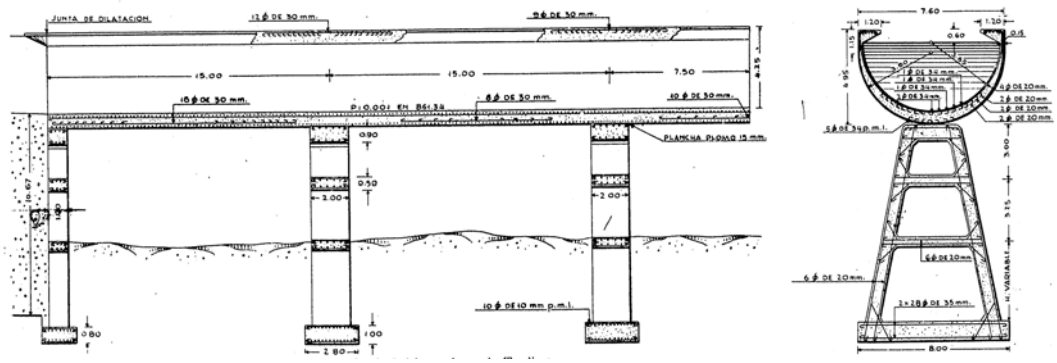


Figura 232. Acueducto de Tardienta. Alzado y sección transversal. 1930. Alfonso Peña Boeuf, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

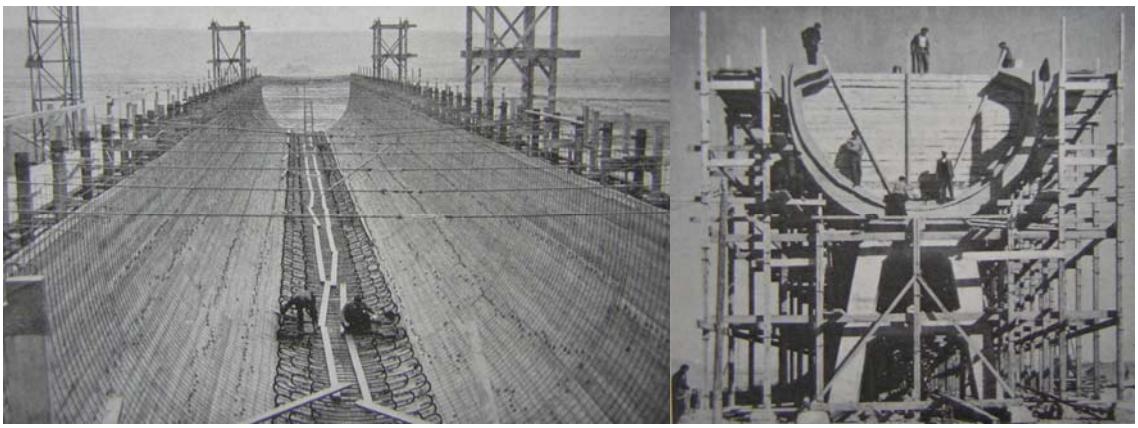


Figura 226. Construcción del Acueducto de Tardienta. 1930. Alfonso Peña Boeuf, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

Las obras hidráulicas, que habían sido uno de los emblemas del *Regeneracionismo*, durante la Dictadura continuaron siendo especialmente fomentadas. Nuevos proyectos de canales se sumaron a los construidos en las dos décadas anteriores. En lo que se refiere al hormigón armado destacan los magníficos acueductos construidos en este periodo.

Por ejemplo, para el Canal del Gállego, perteneciente a los riegos del Alto Aragón, el ingeniero José Núñez Casquete proyectó el acueducto de Valdespartera, con la caja apoyada sobre robustas bóvedas parabólicas[479].

Más livianas eran las palizadas de apoyo del Acueducto de la Adelfa, uno de los que los ingenieros José Luis Casso, Pedro Grajera, Juan Romera y Cristóbal Prieto construyeron para el Canal de Riego del Valle Inferior del Guadalquivir[480].

Para los técnicos de esta generación cada nueva obra suponía un hito en el diseño con hormigón armado. Su confianza en el nuevo material les permitía emprender obras tan espectaculares como el Sifón del Guadalete, obra del ingeniero de caminos Pedro M. González Quijano. Proyectado ya en 1915, las dificultades que la Gran Guerra provocó en el suministro de hierros y cemento dilataron su ejecución, que no se pudo culminar hasta 1922. El sifón

estaba formado por dos grandes arcos de hormigón armado de cuarenta metros de luz, sobre los ríos Guadalete y Majaceite[481].

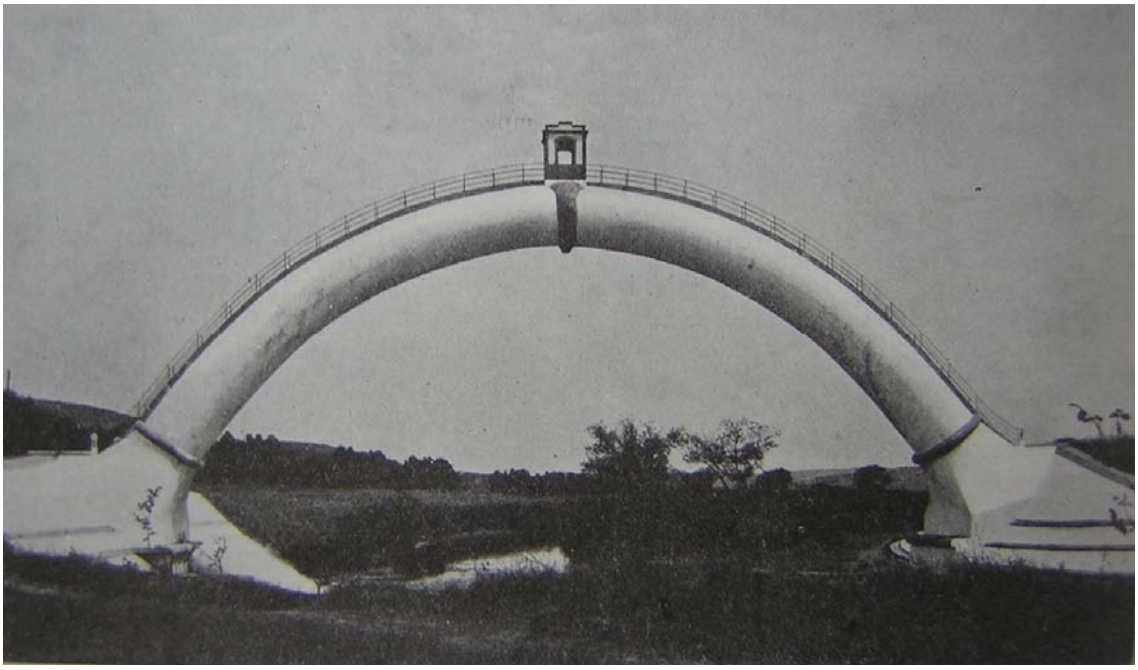


Figura 233. Sifón del Guadalete. Arco sobre el río Majaceite. 1922. Pedro M. González Quijano, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

Junto a las obras hidráulicas, el Gobierno de la Dictadura puso especial empeño en el desarrollo de una moderna red de carreteras. Ello implicaba la construcción de gran número de puentes, siendo ya el hormigón armado el material preferido por los proyectistas de estas obras.

El triunfo final del hormigón armado quedó patente por el gran número de puentes inicialmente proyectados con estructura metálica que finalmente se hicieron con el nuevo material. Entre los más destacados puede citarse el de San Román de Cándamo sobre el río Nalón, en la provincia de Oviedo. Fue proyectado en 1920 por el ingeniero de caminos Javier Marquina, en sustitución de los tramos metálicos contemplados en el proyecto primitivo de 1911. Constaba de tablero superior sobre arco empotrado de 72 m de luz[482].

Pero lo que resultaría determinante en la evolución del hormigón armado sería la aparición de la Colección de modelos oficiales de puentes de carreteras. Se reveló como un instrumento fundamental en el diseño de estas construcciones, siendo profusamente utilizada en las décadas siguientes. Se prepararon una colección de puentes para caminos vecinales y otra para puentes de carreteras de tercer orden. De la primera, Zafra, ayudado por Peña Boeuf, Ramón Serret y Jacinto González (todos ingenieros de caminos) se hizo cargo de los tramos rectos de hormigón armado. Los arcos de hormigón armado y metálicos corresponderían a los también ingenieros de caminos Ribera y Domingo Mendizábal. Ambos ingenieros prepararían también la colección de puentes para carreteras de tercer orden (tramos rectos de hormigón armado, arcos metálicos y arcos de hormigón armado). Posteriormente, Ribera, Mendizábal y

Peña Boeuf volverían a colaborar para la realización de la colección de modelos oficiales de puentes para ferrocarriles de vía ancha[483].

Uno de los primeros puentes que se llevaron a cabo según la *Colección* fue el del río Andarax en la carretera de Almería a la Cuesta de los Castaños por Níjar, formado por cinco tramos rectos de 32 m de luz en celosía de hormigón armado. Proyectado por el ingeniero de caminos José López Rodríguez en 1927, fue el *"primer caso de aplicación de los modelos de alma calada de la mencionada colección de tramos rectos"*[484]. Pascual Aragonés también los utilizó para su puente de Alfonso XIII sobre el río Lucus en Larache, con cinco tramos de luces desiguales comprendidas entre 28 y 33 metros[485].

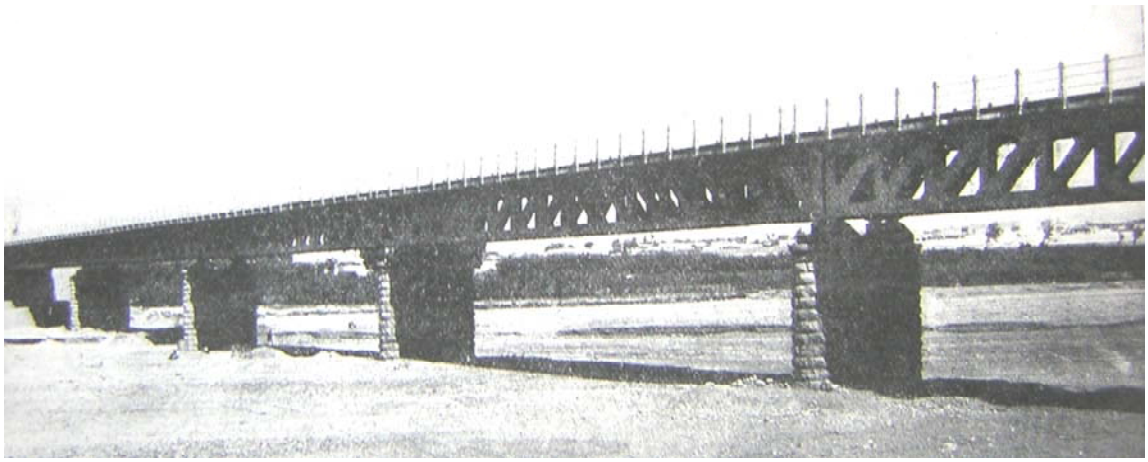


Figura 234. Puente sobre el río Andarax. 1927. José López Rodríguez, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

No se darían más casos de aplicación de esta tipología, de complicada ejecución. Para los tramos rectos el modelo más empleado fue el de sección transversal en π, originalmente planteado por Zafra veinte años antes en los puentes de los Ferrocarriles Suburbanos de Málaga. De este tipo es el que el ingeniero Ángel Elul Navarro proyectó en Serón (Almería) para la carretera de Baza a Huercal-Overa. Tenía un tramo central de 22 m de luz y dos laterales de 11m.

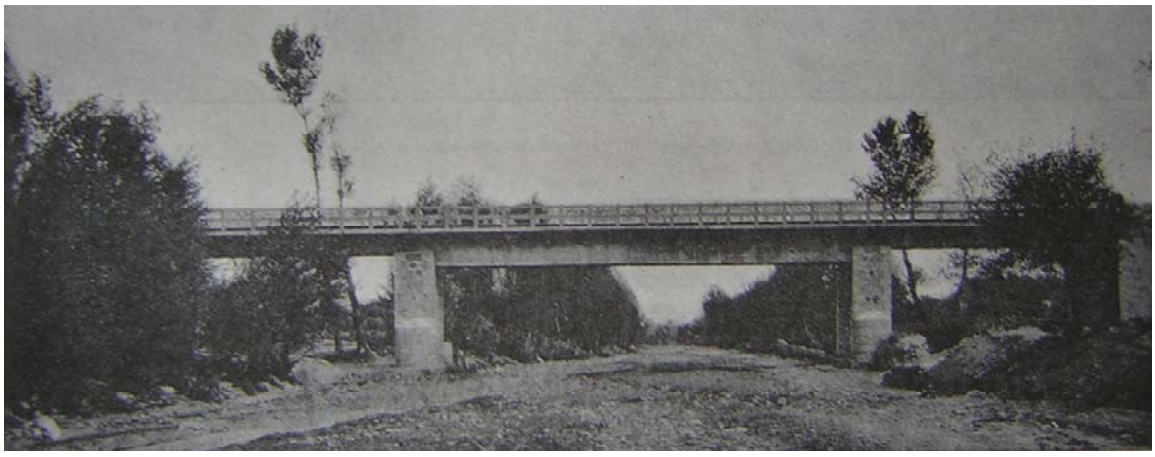


Figura 235. Puente sobre el río Almanzora en Serón (Almería). 1929. Ángel Elul Navarro, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Ángel Elul también utilizó este modelo de la *Colección* para los seis tramos rectos del puente de Purchena (Almería), perteneciente a la misma carretera. Sin embargo, el elemento más significativo de este puente, su gran arco de cincuenta metros de luz empotrado en los estribos no fue proyectado según los modelos oficiales[486].



Figura 236. Puente sobre el río Almanzora en Purchena (Almería). 1929. Ángel Elul Navarro, ingeniero de caminos.

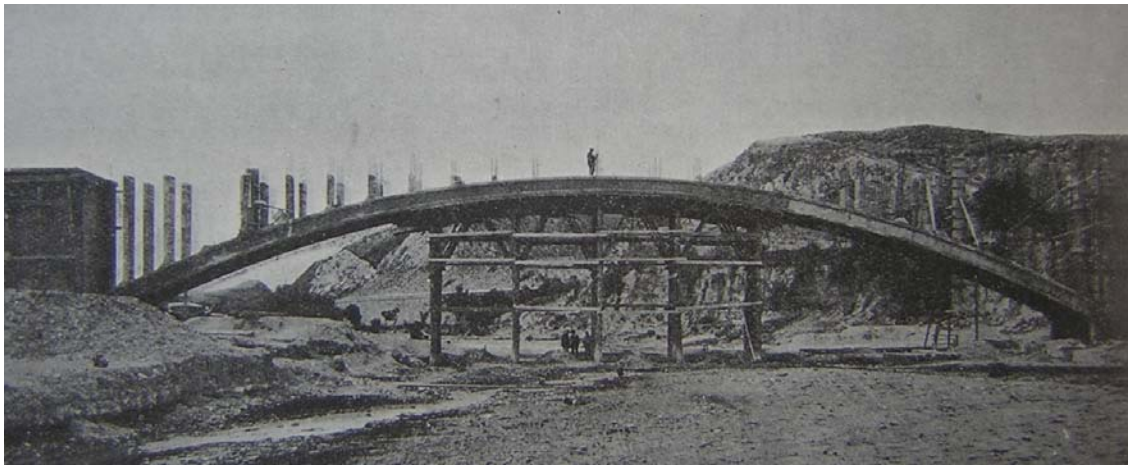


Figura 237. Construcción del puente sobre el río Almanzora en Purchena (Almería). 1929. Ángel Elul Navarro, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

En cambio, sí que sería aplicación destacada de la *Colección* el puente sobre el río Guardal en Huéscar, provincia de Granada, proyectado por el ingeniero José Méndez y Rodríguez Acosta hacia 1927. Consta de un tramo en arco y otro recto de acceso, de 36 y 10 m de luz, respectivamente, que, por la gran altura de rasante sobre el río (62 m), hubo que construir con armaduras rígidas[487].



Figura 238. Puente sobre el río Guardal en Huéscar (Granada). 1927. José Méndez y Rodríguez Acosta, ingeniero de caminos.

En octubre de 1927 se inauguró el puente sobre el río Tajo en Alconétar (Cáceres), obra del ingeniero de caminos Cipriano Salvatierra Iriarte. Constaba de *"doce arcos de medio punto de los modelos oficiales de puentes de hormigón armado para carreteras, con una luz real de 27,20 m cada uno"*[488].

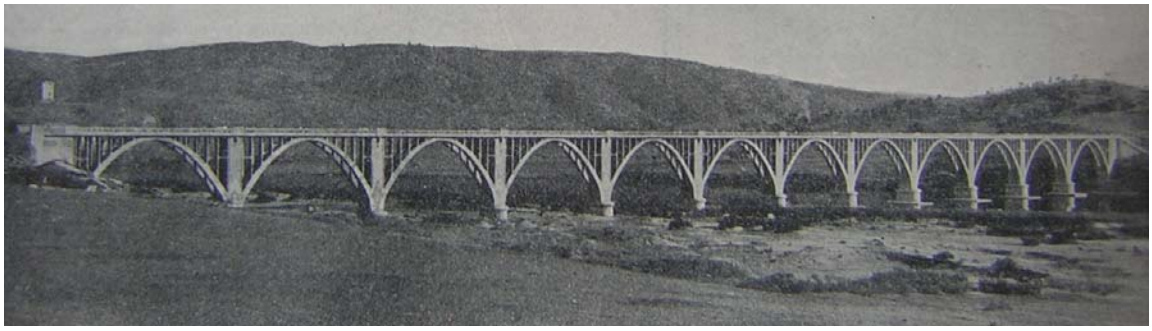


Figura 239. Puente sobre el río Tajo en Alcónetar (Cáceres). 1927. Cipriano Salvatierra Iriarte, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

También arrancarían en la década de los veinte las primeras estructuras de contención de hormigón armado, como la pantalla que el ingeniero de caminos Carlos Morales Lahuerta proyectó y construyó para la línea de ferrocarril de Granada a Sierra Nevada en las inmediaciones de Pinos Genil. En lugar del tradicional muro de mampostería que resiste los empujes por gravedad, su proyectista planteó *"una pantalla que recibe directamente el empuje del corrido y una superficie horizontal, constituida por basa y zarpa, que refiere la acción del muro al cimiento, unidas entres sí por contrafuertes, de modo a formar el todo un conjunto rígido"*[489].

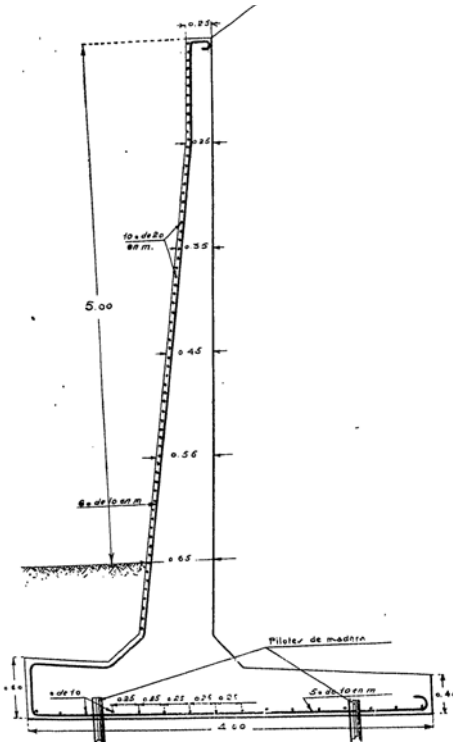


Figura 240. Muros de contención de hormigón armado para el tranvía de la Sierra. Pinos Genil (Granada). 1924. Carlos Morales Lahuerta, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

En la rambla de Carricalejo (provincia de Murcia) se construyó una importante obra de hormigón armado para sustituir en la línea de ferrocarril de Albacete a Cartagena. Para sustituir a un viejo puente metálico se levantó un terraplén de considerable altura, recortado en su pie por un muro de hormigón armado de cuatro metros de altura. En la base, cinco grandes tubos de sección oval permitían el desagüe de la rambla. Fue proyectado por Domingo Mendizábal, ingeniero de caminos[490].

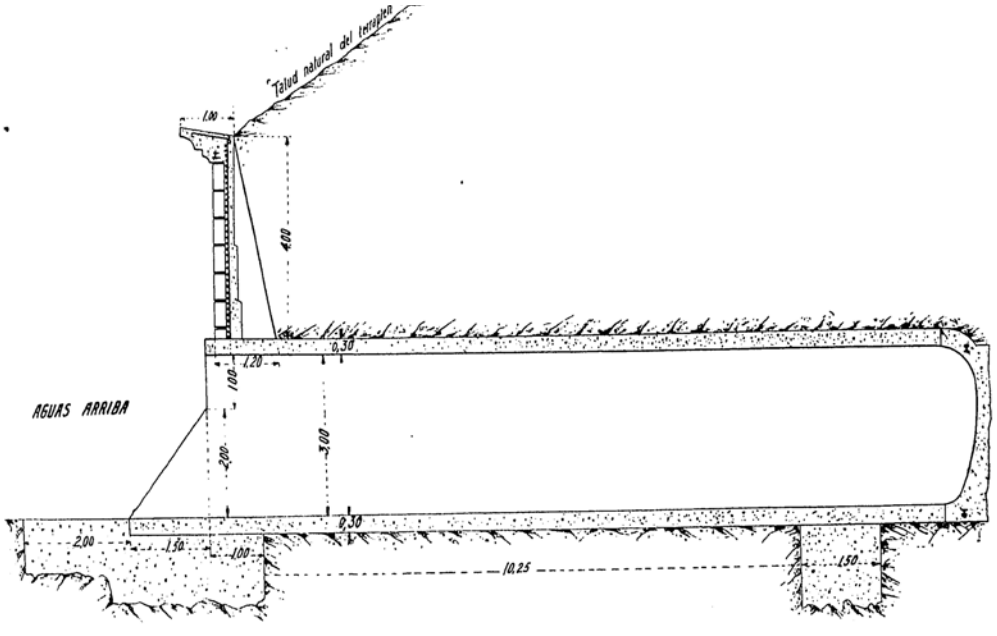


Figura 241. Obra de hormigón armado en la Rambla de Carricalejo(Murcia). 1925. Domingo Mendizábal, ingeniero de caminos. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Pero a pesar de su preponderancia ya incontestable en el campo de la obra civil, en arquitectura el hormigón armado seguía sin tener excesivo predicamento. Se iba extendiendo su uso en diversos elementos estructurales, aunque no tanto como pudiera esperarse. En la edificación común dominaban los materiales tradicionales, hierro y ladrillo.

En 1925 el ingeniero de caminos Alberto Laffón se lamentaba de que *"así como la vigueta de acero laminado destronó totalmente a la de madera en la construcción de forjados de pisos, era de esperar que actualmente en que el hormigón armado ha adquirido tanto desarrollo fuera el forjado de este material el que sustituyera al metálico en los entramados horizontales de los edificios y, sin embargo, la experiencia denota claramente que el empleo del hormigón armado en la edificación se encuentra muy restringido"*[491].

Ello era debido, a su entender, a que los constructores modestos, responsables de la gran mayoría de obras, al desconocer los fundamentos del hormigón armado preferían optar por los procedimientos tradicionales. Sin embargo, Laffón utilizó este material con éxito en los forjados de varios edificios de la calle Serrano de Madrid (números 89 y 91), construidos mediante un sencillo encofrado de chapa por *"operarios no especializados, simples peones, dirigidos por un maestro* [de obras] *inteligente, y utilizando chapas de dimensiones comerciales".*

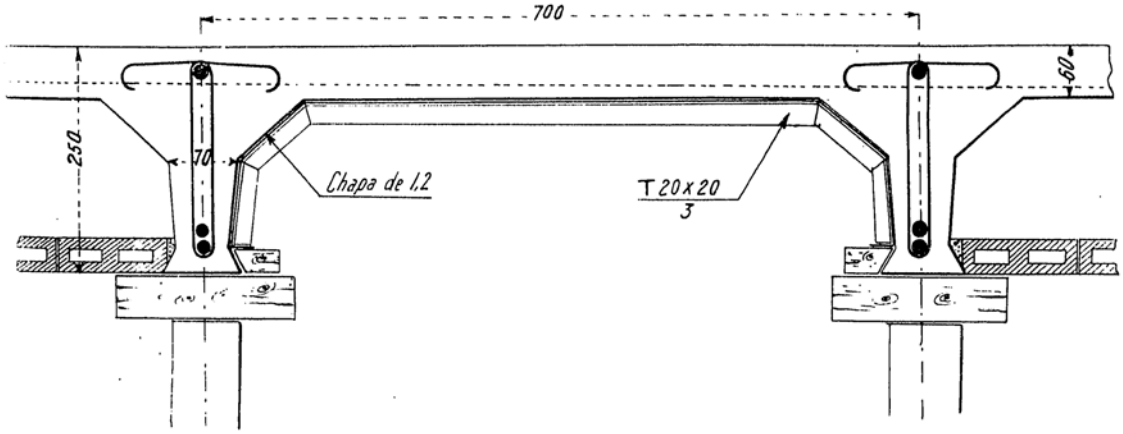


Figura 242. Forjados de hormigón armado para los edificios situados en los n°s 89 y 91 de la calle Serrano de Madrid. 1923. Alberto Laffón, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

A mediados de los años 1920 la estructura de entramados metálicos era la más utilizada en edificios de gran altura. Combinándola con el ladrillo y la piedra se habían ya ejecutado multitud de edificios, habiéndose alcanzado un notable perfeccionamiento. Constructores, contratistas y trabajadores se habían adaptado y familiarizado con esos materiales, lo cual representaba una importante garantía de éxito tanto desde el punto de vista técnico como del económico.

Pero frente a tantas circunstancias favorables a los entramados metálicos, el hormigón armado ofrecía la ventaja del monolitismo y la de poder construir con él también las cimentaciones y todos los elementos auxiliares de la edificación, así como un coste muy

inferior. Los arquitectos empezaron a valorarlo y poco a poco la estructura de entramados de hormigón acabaría imponiéndose en los edificios importantes.

No obstante, su progreso fue muy lento y dificultoso. Aún había muchos técnicos, como el ingeniero industrial Celso Máximo, que sostenían, en base a razones de coste y plazo de ejecución principalmente, que para la gran mayoría de los edificios era preferible la estructura metálica: *"En edificios urbanos, de planta generalmente irregular, con cargas que rara vez pasan de los 500 kilogramos por metro cuadrado, sujetos siempre a modificaciones en su construcción o en su ulterior destino, y donde tiene una capital importancia la diafanidad y la rapidez de ejecución, el entramado metálico resulta insustituible. Mucho más habida cuenta de perfecto conocimiento que hoy se tiene de las condiciones del trabajo del acero y la facilidad de encontrar buenas casas constructoras para la ejecución del entramado"*. Añadía además, que la utilización de otros materiales (léase hormigón armado), sólo podía justificarse por *"un afán de emulación o un alarde de pretendido snobismo"*[492].

No obstante, cuando se requerían soluciones estructurales complejas cada vez había menos dudas de que la solución era el hormigón armado. Así ocurrió, por ejemplo con el Palacio del Hielo y del Automóvil, edificio singular construido en Madrid entre 1920 y 1922, según proyecto del arquitecto belga Edmon de Lune. Se hicieron con hormigón armado "los entramados verticales y horizontales de todo el edificio[…] habiendo quedado al descubierto las vigas principales y los nervios del forjado del gran salón de patinar""[493].

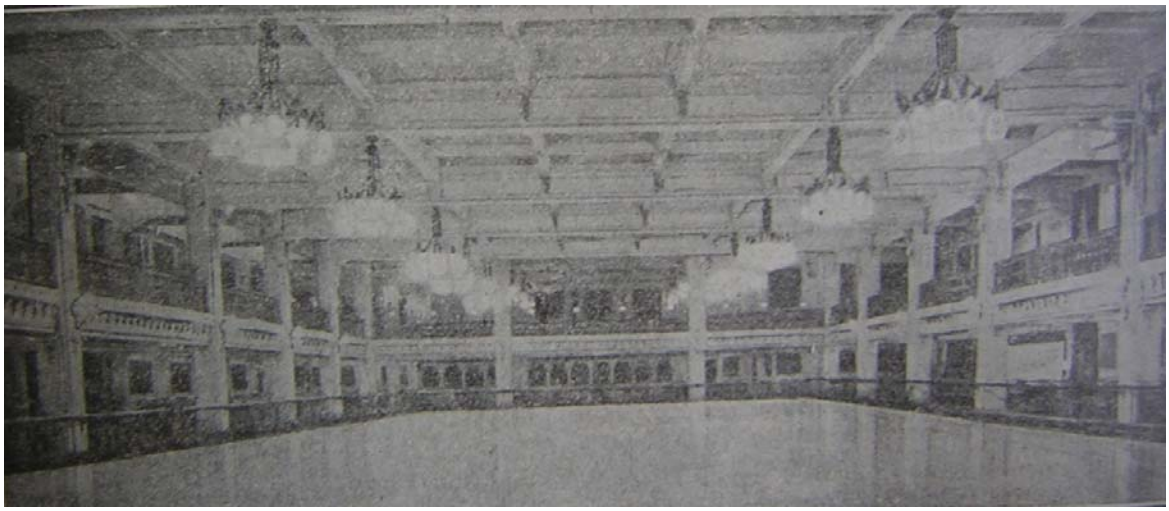


Figura 243. Salón de patinar del Palacio del Hielo y del Automóvil. Madrid, 1922. Edmon de Lune, arquitecto. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Otro de los nuevos grandes edificios madrileños con estructura de hormigón armado sería la monumental sede del Banco de Bilbao en la calle de Alcalá. Lo proyectó el arquitecto bilbaíno Ricardo Bastida, cuya relación con el nuevo material venía desde principio de siglo. Este edificio lo proyectó *"con cimientos en hormigón de portland y hormigón armado; muros de sótano de ladrillo y hormigón; muros de carga de ladrillo cerámico; suelos formados por armazón mixto de hierro y hormigón armado [...] y cubierta en cerámica sobre armazón de hormigón armado"* [494].



Figura 244. Edificio del Banco de Bilbao en Madrid. 1923. Ricardo Bastida, arquitecto.

En el primer tercio de siglo XX esta zona de la capital (Paseo del Prado-Alcalá-Gran Vía) sería objeto de una intensa remodelación urbanística, impulsándose la construcción de muchos inmuebles singulares, de gran altura, que hoy configuran en buena medida la imagen de la ciudad. Para la evolución del hormigón armado estas actuaciones tendrían mucha trascendencia, porque, aunque la mayoría se hicieron con estructura metálica, en algunos ya se empezaron a incorporar entramados del nuevo material.

La figura más llamativa de esta etapa de la arquitectura madrileña fue el arquitecto Antonio Palacios Ramilo, proyectista de varios de los edificios más representativos (Palacio de Comunicaciones, Banco Español del Río de la Plata, Círculo de Bellas Artes). En todos ellos se sirvió, bien en parte de su estructura, bien en su conjunto, del hormigón armado, realizando una importante contribución a su implantación en nuestro país.

Ya en el proyecto de la primera de sus grandes realizaciones, el nuevo palacio de Comunicaciones (una colaboración con el también arquitecto Joaquín Otamendi), planteaba su utilización en la parte superior de la torre central del edificio, que se debía construir *"con hormigón armado, colocando barras verticales empotradas en su base y arriostradas entre sí, quedando este esqueleto metálico embutido en hormigón; el conjunto tendrá pues una solidaridad grandísima y resistirá perfectamente a los esfuerzos de tracción originados por las diversas tensiones de los hilos aéreos que a ella convergen"*[495]

Sus proyectos posteriores hasta 1920, todos resueltos con entramados metálicos, no supusieron ningún avance en el empleo del hormigón armado. Ese año fue escogido su proyecto del emblemático edificio del Círculo de Bellas Artes, en la calle de Alcalá. Desde el primer momento, Palacios creyó que *"la solución más económica y racional era emplear el hormigón armado en toda la estructura, con las ventajas de incombustibilidad, rigidez y solidaridad propias de aquel material, y así lo tenía proyectado. Pero en la época en que debían comenzar las obras, y por efecto de una acumulación de contratas de hormigón armado en Madrid, los obreros que se consideraban como especialistas en estos trabajos iniciaron una serie de huelgas, algunas con atentados personales, y pretendieron tales prerrogativas y salarios que, ante el temor de un retraso y encarecimiento considerable de la construcción, se decidió Palacios a modificar su estructura, que realizó con entramados metálicos, menos expuestos, en aquella época al menos, a las contingencias de huelgas y paradas de las obras".* No obstante, la última parte del edificio, una torre destinada a alojar diversos estudios artísticos, sí que la pudo realizar como inicialmente pretendía, recurriendo al hormigón armado *"para conseguir la mejor solidaridad de esta construcción, sometida, por su gran altura, a los esfuerzos directos del viento"*[496].



Figura 245. Edificio del Círculo de Bellas Artes en Madrid. 1926. Antonio Palacios Ramilo, arquitecto.

Finalmente, pudo utilizar el nuevo material en el Hotel Avenida, cuya estructura se concibió buscando *"desarrollar el criterio racional de lo que debe ser un edificio de hormigón, o sea procurando sacar el mayor partido posible del monolitismo".* Como elementos principales de resistencia, este edificio tiene *"dos recintos de hormigón armado, uno exterior que define las fachadas y la medianería, y otro interior, que forma un gran patio, estando los elementos verticales de unos y otros fundados directamente, y los del patio arriostrados al nivel de los cimientos"*[497].

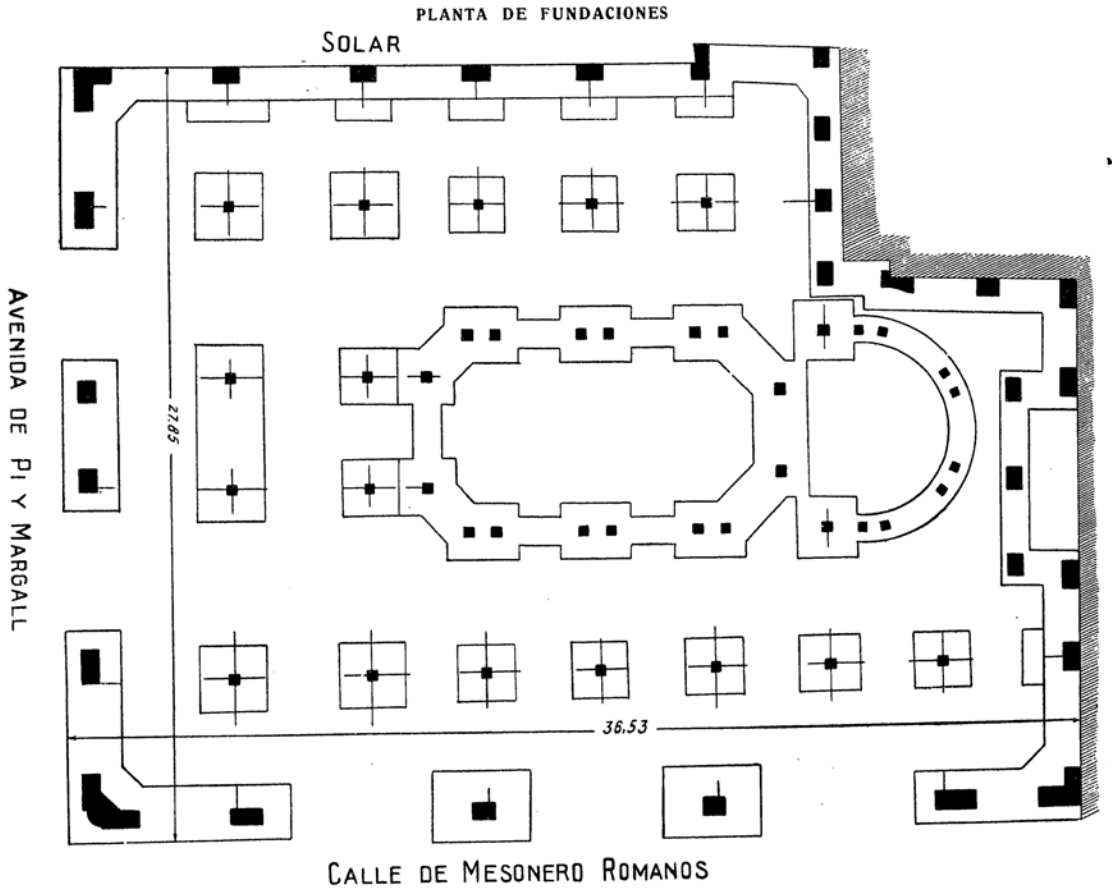


Figura 246. Planta de cimentaciones del Hotel Avenida. Madrid. 1922. Antonio Palacios Ramilo, arquitecto. *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos.

Fuera de Madrid, supondría un hito la construcción del nuevo edificio del Banco Pastor en La Coruña, proyectado por los arquitectos Peregrín Estellés y Antonio Tenreiro. Colaboraría en el diseño de la estructura la empresa de Valentín Valhonrat[498].

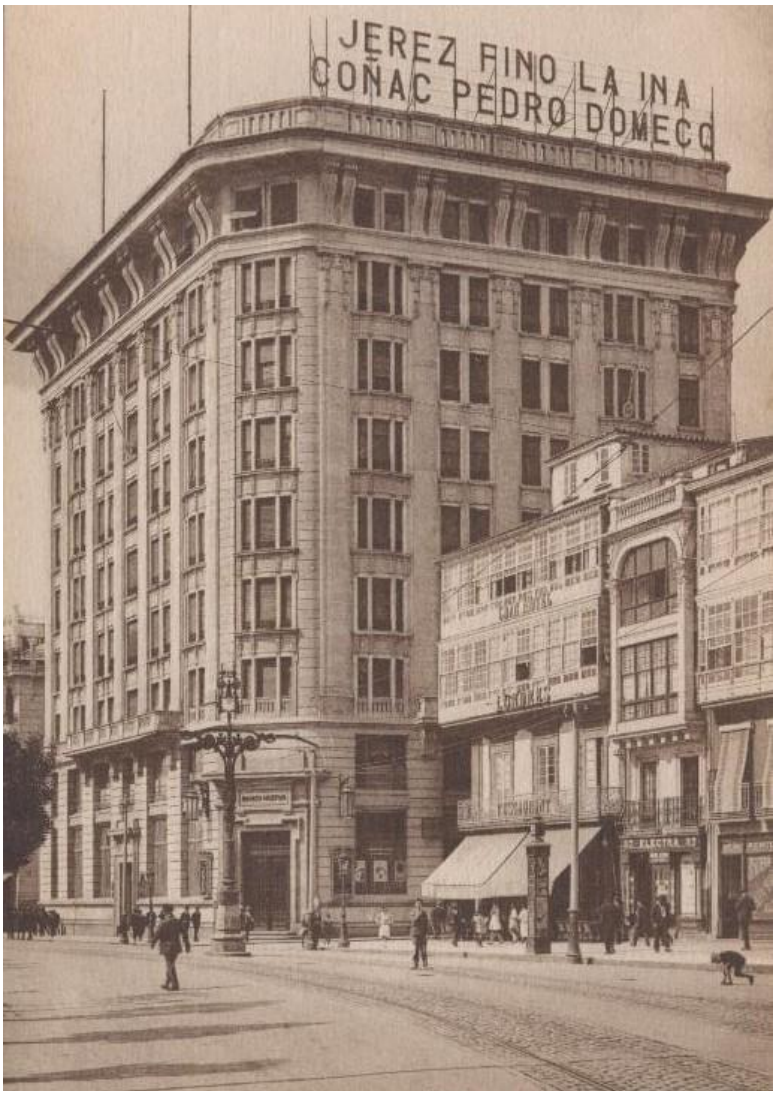


Figura 247. Edificio del Banco Pastor en La Coruña. 1922. Antonio Terneiro y Peregrín Estellés, arquitectos. Valentín Vallhonrat, colaborador.

De esta época fue especialmente trascendente la aparición del innovador arquitecto Teodoro de Anasagasti y Galván, que propuso una renovación de la arquitectura española basada fundamentalmente en el *estructuralismo*. Anasagasti contrapondrá al *"abuso ornamental del barroquismo del cemento moldeado"* un tratamiento realista y sincero de las estructuras de hormigón armado de sus edificios[499].

Su primer edificio importante con estructura de hormigón armado data de 1922. Fueron los almacenes Madrid-París, situados también en la Avenida de Pi y Margall, la segunda fase de la Gran Vía madrileña.



Figura 248. Almacenes París-Madrid.Madrid 1922-1923. Teodoro Anasagasti, arquitecto.

Más importancia tendría el *Monumental Cinema,* inaugurado en 1923. La particular idiosincrasia del interior del edificio, con un amplio patio de butacas, dos pisos de palcos y dos anfiteatros (con una capacidad total de 4000 plazas numeradas) obligó al diseño de una compleja estructura de hormigón armado. Para ello, el arquitecto contó con el apoyo de los técnicos de la Compañía de Sestao, que se encargó también de su construcción[500].

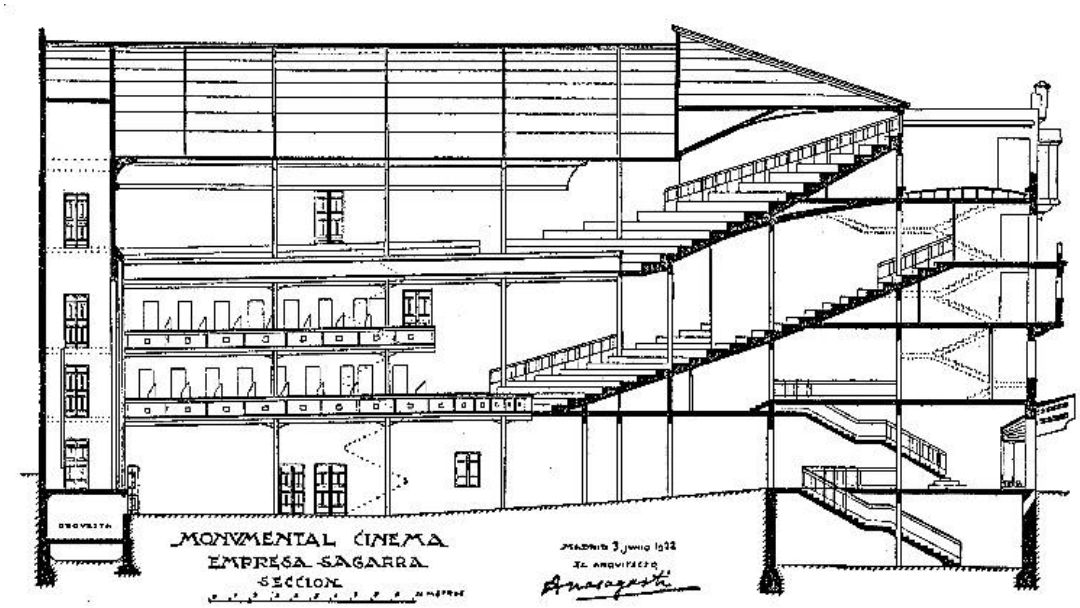


Figura 249. Sección transversal del Monumental Cinema. Madrid, 1923. Teodoro Anasagasti, arquitecto. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

17) El hormigón armado y los arquitectos e ingenieros de la generación del 27.

En la segunda mitad de los años veinte arrancaría la trayectoria profesional de una magnífica generación de arquitectos e ingenieros que, en paralelismo con la surgida al mismo tiempo en el campo del arte y la literatura, viene siendo reconocida como la *"generación del 27 de la arquitectura y la ingeniería".* Con ella se puede dar por terminada la fase inicial del hormigón armado en España, que tras el lamentable paréntesis que supuso la Guerra Civil, alcanzaría su madurez en los años cuarenta y cincuenta del pasado siglo.

De la generación del 27 formaron parte notables protagonistas de la ingeniería civil, en todas sus ramas, y otras ciencias en España en el siglo XX[501]. En el campo de las estructuras sobresaldrían algunos de sus más destacados componentes, como Sánchez Del Río, Fernández Casado, Francisco Martín Gil y César Villalba Granda. Todos tendrían como nota distintiva el empleo del hormigón armado, que sabrían utilizar con maestría para superar definitivamente su etapa embrionaria.

Además de su pertenencia a la misma generación, estos ingenieros compartían la circunstancia de haber sido discípulos de José Eugenio Ribera, profesor de la asignatura "Puentes de Fábrica y Hormigón Armado" entre 1918 y 1931. Ribera hizo escuela entre muchos de sus alumnos, contagiándoles su fervor por el material de construcción al que había dedicado tantos esfuerzos. Pero además a muchos de ellos les dio la oportunidad de comenzar su andadura profesional colaborando con él en su empresa constructora.

En 1924, dos años después de terminar la carrera, Ildefonso Sánchez del Río pasó a trabajar como ingeniero municipal del ayuntamiento de Oviedo, empleo en el que permaneció hasta 1941. En esos años se reveló como un singular proyectista de construcciones de muy diversa naturaleza, en las que logró conjugar los planteamientos ingenieriles de resistencia y economía con la estética cuidada propia de la obra arquitectónica. Pese a la escasa difusión que han tenido, sus obras deben considerarse como hitos fundamentales en la construcción con hormigón armado en nuestro país.

En una de sus obras más importantes, el cuarto depósito de aguas de Oviedo, dejó patente su empeño por diseñar obras de ingeniería con una apariencia bella y en armonía con el entorno. Fijado su emplazamiento en los altos de Buenavista, un montículo que domina la ciudad de Oviedo, Sánchez del Río fue consciente de *"la necesidad de estudiar un proyecto que armonizase con todo aquel ambiente singularmente bello y altivo, desafiante de los grandes macizos montañosos: la cordillera Cantábrica y montes del Aramo al Sur y el del Naranco al Norte"*[502].

Así pues, diseñó un depósito de planta circular, con una cámara de llaves también circular en el centro y una cubierta formada por cuarenta y ocho arcos parabólicos, articulados

en la clave, que descansaban en el perímetro sobre contrafuertes de mampostería hidráulica y en el centro en un anillo resistente enmarcado por la cámara de llaves.

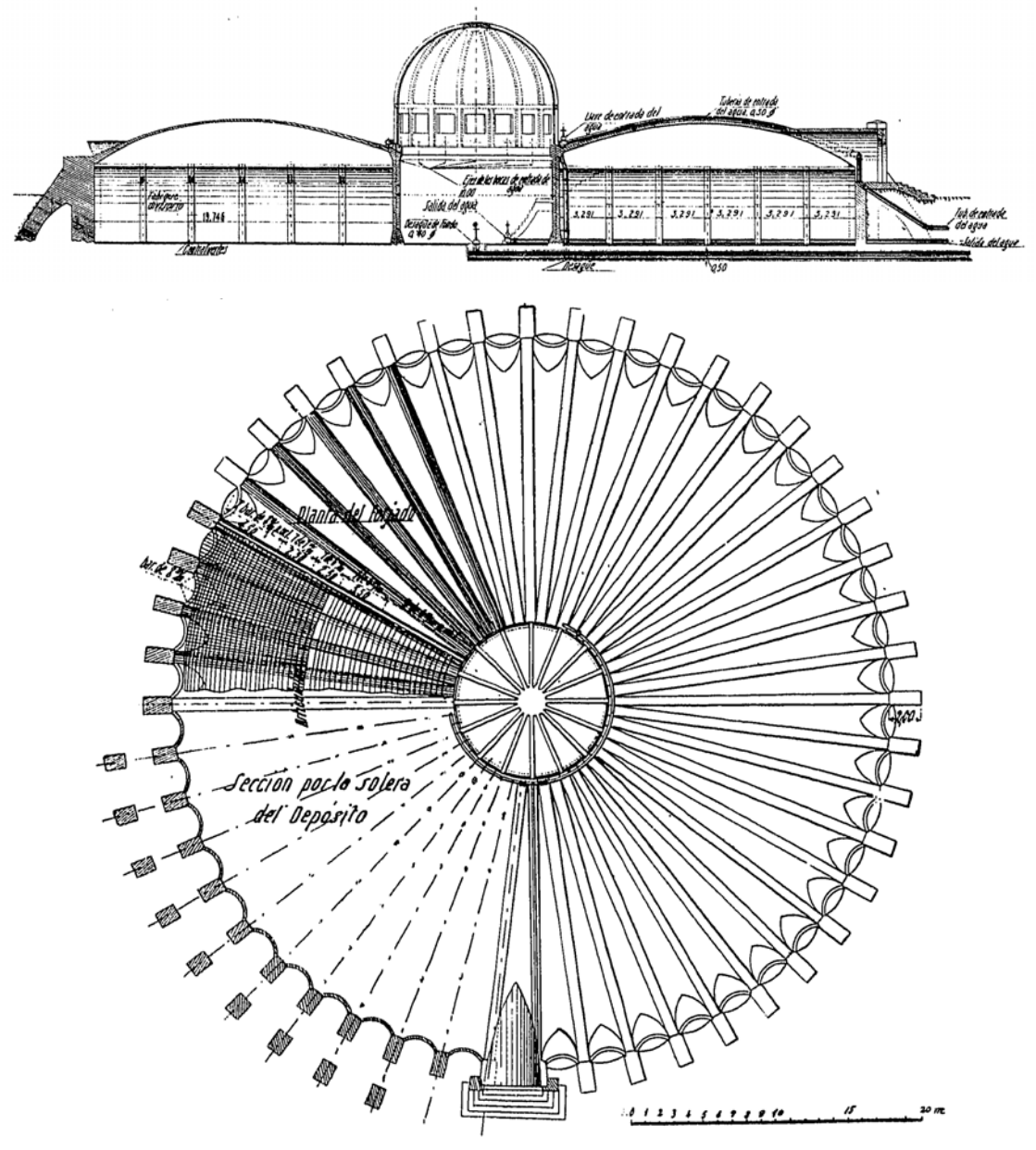


Figura 250. Estructura del Cuarto Depósito de Aguas de Oviedo. 1929. Sección transversal y planta de la cubierta. Ildefonso Sánchez del Río, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

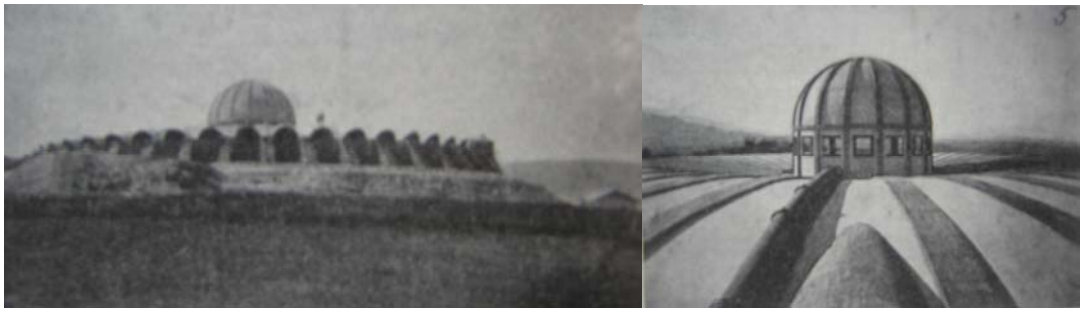


Figura 251. Cuarto Depósito de Aguas de Oviedo. 1929. Ildefonso Sánchez del Río, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

A partir de esta configuración estructural desarrollaría su proyecto para el Cuarto Depósito de Aguas de Madrid, cuyo concurso tuvo lugar en 1930. En lugar del tradicional modelo de depósito rectangular planteado por la Administración, Sánchez del Río concibió *"dos depósitos circulares yuxtapuestos en forma de gran ocho"*[503]. Su propuesta no consiguió la aprobación de los responsables del concurso, que muchos tacharon de atrevida.

Tan original como el de sus depósitos fue el diseño del puente de Requejo sobre el río Narcea, formado por dos arcos de 41 m de luz, con una articulación en la clave. Tenía forjado intermedio, resuelto con los tramos laterales en voladizo[504].

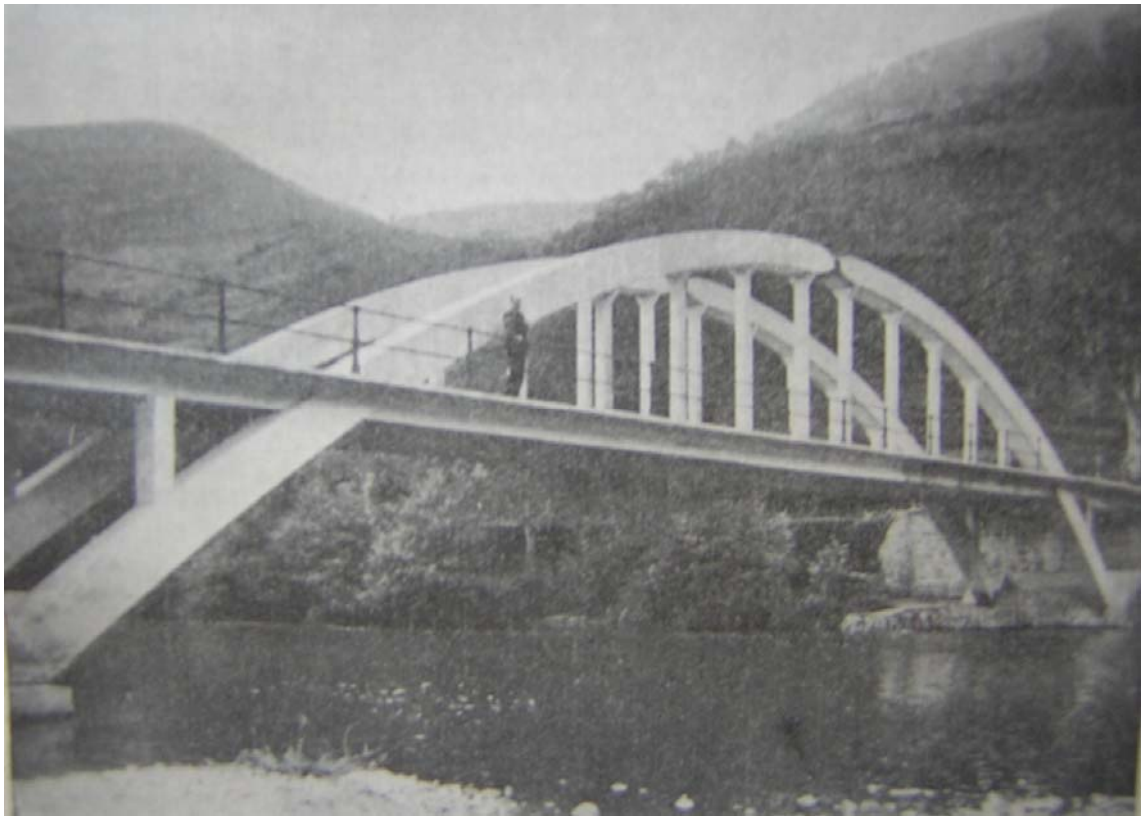


Figura 252. Puente de Requejo sobre el río Narcea (Asturias).1930. Ildefonso Sánchez del Río, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Hasta en sus obras más sencillas, como la marquesina en forma de paraguas que proyectó en 1931 para el mercadillo de venta de leche en Oviedo[505], fue fiel a los cuatro principios que habrían de guiar su trayectoria profesional: diseñar la estructura adecuada para cada necesidad, que resultara arquitectónica a la vez que ingenieril y que su construcción fuese lo más sencilla posible. El cuarto principio, la economía, se derivaba de los otros tres, pues, en palabras del propio Sánchez del Río, *"de la buena mezcla de estas tres condiciones sale la cuarta, consecuencia pura de ellas, cual es la de resultar una obra económica. Esto es evidente, porque hacer las cosas bien cuesta, generalmente, menos dinero que hacerlas mal"*[506].



Figura 253. Marquesina en forma de paraguas para el mercado de Oviedo.1931. Ildefonso Sánchez del Río, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

En 1931 marcaría otro hito con el Mercado de Pola de Siero. El emplazamiento elegido por el Ayuntamiento, si bien respondía a las condiciones de funcionalidad de la obra, planteaba un complicado problema de diseño por su forma, pues se trataba de un perfecto triángulo rectángulo isósceles. Sánchez del Río, convencido de que *"mediante un estudio racional podría conseguirse el aprovechamiento perfecto del terreno con una construcción que armonizase con el uso a que iba a estar destinada"*[507], lo resolvió de forma magistral con una gran bóveda formada por dos superficies cilíndricas que intersecaban según la mediatriz del triángulo. En la fachada, un plano vertical cortaba diagonalmente a los dos cilindros, dejando dos grandes ventanales semicirculares. Completaba el diseño un paseo cubierto perimetral.



Figura 254. Mercado de Pola de Siero (Asturias).1931. Ildefonso Sánchez del Río, ingeniero de caminos.



Figura 255. Vista aérea del Mercado de Pola de Siero (Asturias).1931. Ildefonso Sánchez del Río, ingeniero de caminos.

Determinada racionalmente la forma óptima de la cubierta, restaba el no menos peliagudo problema de desarrollar la solución constructiva, la estructura en definitiva. Aquí el punto crítico estaba en el arco funicular central donde tenía lugar la intersección de las dos superficies cilíndricas. Este elemento quedó resuelto con un gran arco de hormigón armado con articulaciones del tipo Mesnager.

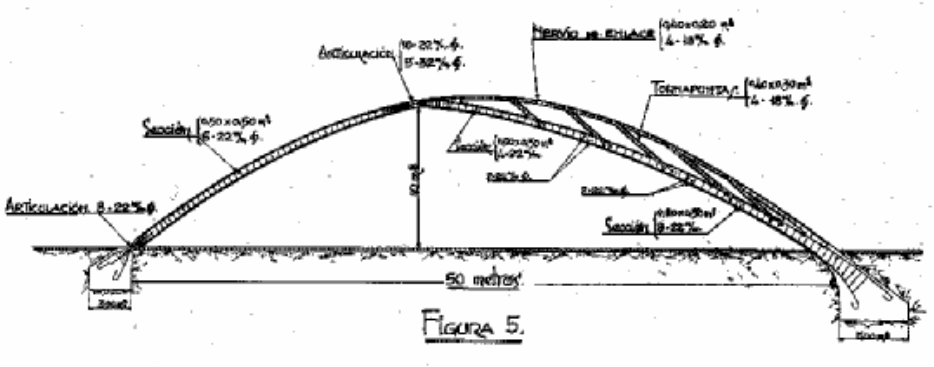


Figura 256. Funicular central del Mercado de Pola de Siero (Asturias).1931. Ildefonso Sánchez del Río, ingeniero de caminos. En *Hormigón y Acero.* Biblioteca del Instituto Eduardo Torroja.

Otra de las grandes personalidades de la generación del 27, dentro de la ingeniería, fue Carlos Fernández Casado. Alumno de gran precocidad (terminó la carrera en 1925, a los diecinueve años), tardaría algún tiempo en dedicarse plenamente a las estructuras. Hasta 1932 no se establecería como proyectista[508], publicando un año después su *Colección de puentes de atura estricta*, trascendental aportación al desarrollo del hormigón armado y de la ingeniería de puentes de nuestro país.

La *Colección* se componía de siete series de puentes, diseñados para salvar luces comprendidas entre los seis y los cincuenta metros. Se utilizaban cuatro tipos de estructuras diferentes: pórtico sencillo, pórtico triple con pilares extremos, tablero de tres tramos y losa continua sobre columnas. Con ella Fernández Casado consideraba resuelto el habitual problema de "*salvar las luces prácticas más corrientes con la mínima pérdida de altura*", pudiendo tener aplicación en *"la gran mayoría de los pasos de cauces en caminos vecinales y carreteras secundarias; el cruce de ramblas en las proximidades de su desembocadura, caso típico y muy repetido en las carreteras de la costa mediterránea; travesías de ríos navegables; obras de paso superior de carreteras, o carretera sobre ferrocarril; cruce de calles a distinto nivel, y otros similares"*[509]

Auque la mayor parte de su obra la desarrollaría tras la Guerra Civil, antes ya pudo llevar a cabo algunas aplicaciones prácticas. De 1933 data su puente sobre el río de la Vega en Jaén, de veinte metros de luz y construido según el modelo en TT de la serie tercera. Un año después vería terminado su famoso puente de Puerta de Hierro para la carretera de Madrid a La Coruña. Constaba este de una palizada de acceso y de un tramo principal, un dintel de tres tramos salvando una luz total de cincuenta metros, y resuelto con tablero de hormigón armado sobre cuatro vigas de canto variable [510].



Figura 257. Puente de Puerta de Hierro. Madrid. 1934. Carlos Fernández Casado, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Para la palizada de acceso Fernández Casado se decidió por *"una estructura típica de hormigón armado, losa continua sobre columnas"*, diseñada con las más avanzadas teorías de cálculo de la época. Las columnas, de sección circular se remataban con capiteles troncocónicos para ampliar la superficie de apoyo de la losa[511].

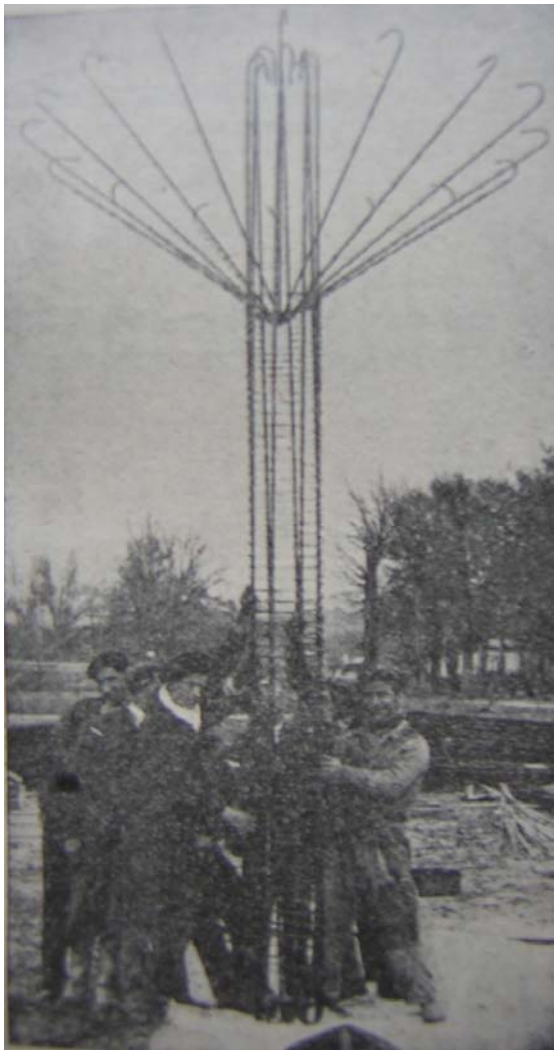


Figura 258. Puente de Puerta de Hierro. Armaduras de las columnas en la palizada de acceso. Madrid. 1934. Carlos Fernández Casado, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

A Francisco Martín Gil se le conoce principalmente por el viaducto sobre el río Esla que lleva su nombre. No obstante, la parte fundamental de su obra la llevó a cabo en la provincia de Málaga. Hacia 1930 pasó a la jefatura de Puentes y Cimentaciones del Estado, desde donde proyectó el famoso viaducto y un puente sobre el río Guadalhorce en Pizarra (Málaga)[512]. Los trabajos de construcción comenzarían bajo su dirección, pero no podría culminarlos por su repentino fallecimiento, ocurrido en 1933.

Asumiría entonces la tarea de ejecutar las obras otro destacado ingeniero de caminos del 27, César Villalba Granda. Para descimbrar y corregir las flechas de este arco de 50 metros de luz se siguió el método de Freyssinet, que se basaba en la utilización de gatos hidráulicos en el arco[513].

En los años anteriores César Villalba se había revelado como un gran especialista en puentes arco de hormigón armado. Suyos son dos grandes puentes sobre el Guadiana: el de Villanueva de la Serena, puesto en servicio en 1932[514] y el de Lobón, de 538 m de longitud, inaugurado en 1934[515]. También proyectó y construyó un puente sobre el río Tajo en Alarza, formado por un arco central de 70 m de luz y dos tramos laterales rectos, también de hormigón armado de 20m de luz. Hasta la construcción del Viaducto de Martin Gil fue el puente arco de hormigón armado de mayor luz construido en España[516]. Después de la guerra, Cesar Villalba construiría seguiría construyendo varios puentes importantes más, todos ellos con hormigón armado.

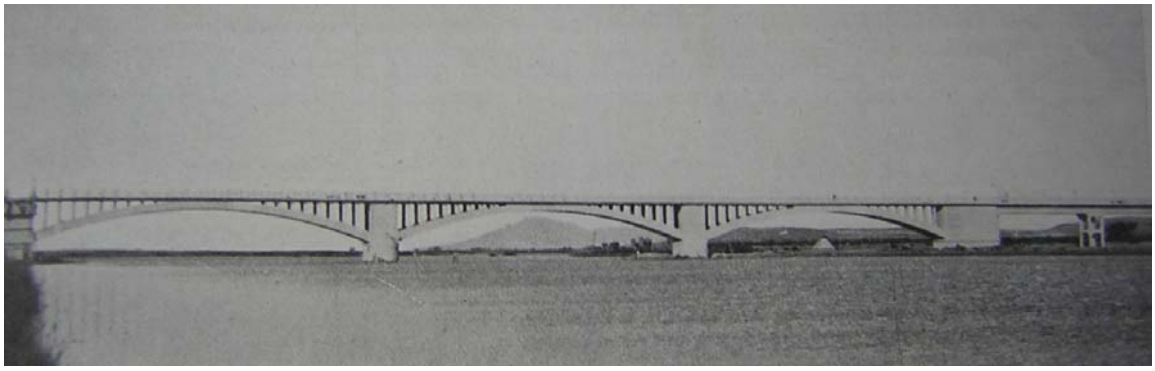


Figura 259. Puente sobre el río Guadiana en Lobón. 1934. César Villalba Granda, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Entre los arquitectos del 27 no fue sin embargo distintivo, como en el caso de los ingenieros, la predilección por el hormigón armado. Lo que caracteriza al grupo de García Mercadal, Rafael Bergamín, Luís Gutiérrez Soto, Luís Blanco Soler, Manuel Sánchez Arcas, Martín Domínguez, Carlos Arniches Moltó y Casto Fernandez Shaw, es la superación de los estilos tradicionales (eclecticismo y regionalismos) que llevaban dominando la arquitectura española del primer tercio de siglo, para incorporarse a las nuevas corrientes racionalistas que triunfaban por entonces en Europa. La obra principal de esta generación, realizada durante el corto periodo que va desde 1927 a la Guerra Civil, comprende las más genuinas manifestaciones de la Arquitectura Moderna en España.

Para la historia del hormigón armado una de las figuras más representativas es la de Carlos Fernández-Shaw. Poco después de titularse como arquitecto (en 1919), entró a formar parte de la Compañía Urbanizadora Metropolitana, donde proyectaría (junto con el también notable arquitecto Julián Otamendi) los Edificios Titanic, otros de los primeros grandes inmuebles de Madrid con estructura de entramados de pórticos de hormigón armado.

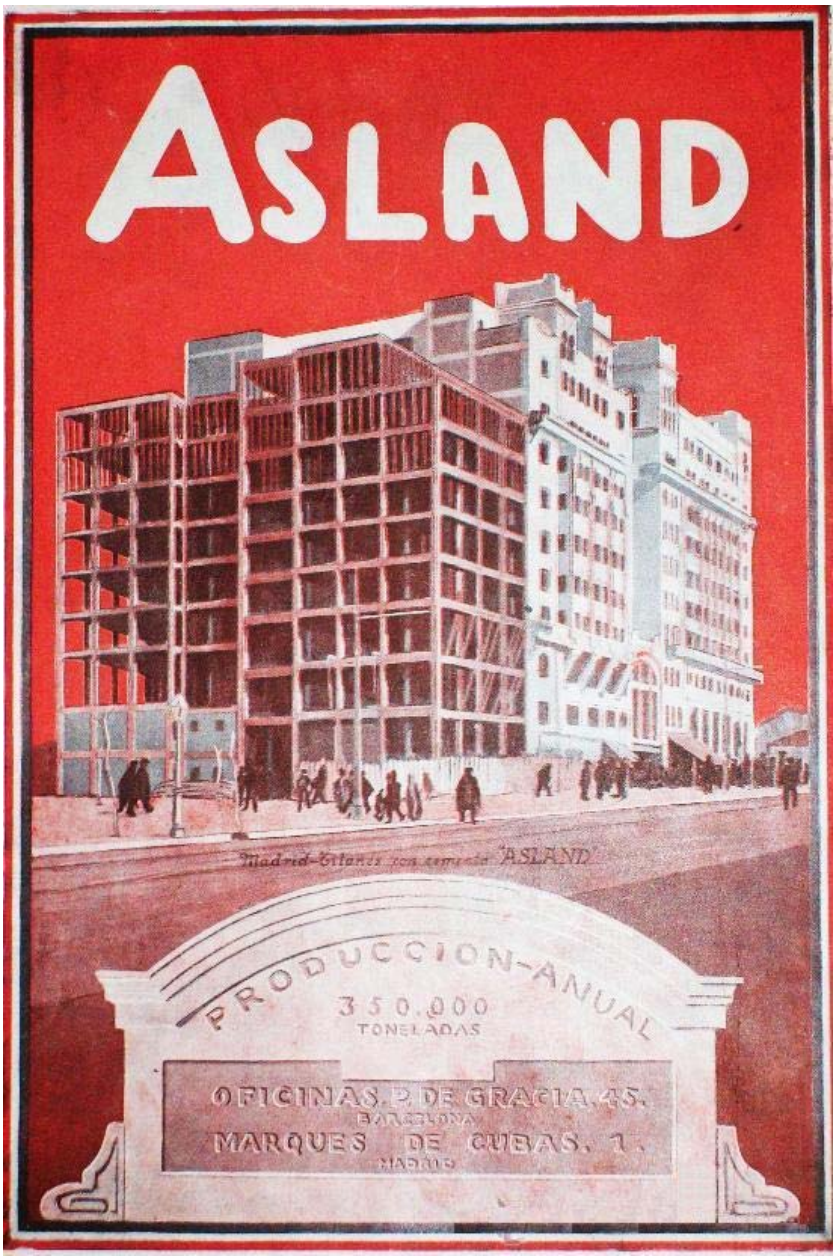


Figura 260. Edificios “Titanic” en un anuncio de cementos Asland. Madrid, 1925. Carlos Fernández-Shaw y Julián Otamendi, arquitectos.

En 1922 proyectará, junto con el ingeniero Carlos Mendoza, las presas de El Carpio y Pedro Abad, en la provincia de Córdoba. Con ellas comenzaría una extensa colaboración con los ingenieros que, según el mismo reconocería, sería clave en *la valoración de los problemas estructurales dentro de la arquitectura como un camino fundamental para la renovación arquitectónica*[517].

Esta concienciación del valor de la estructura dentro de la obra de arquitectura quedará patente en su obra más conocida, la gasolinera Porto Pí de Madrid, construida en 1927. Estaba formada por un pabellón con una torre y una marquesina *“para protección de los coches que se estén aprovisionando”*. Desde el punto de vista estructural, la marquesina era lo más destacado. Tenía veintitrés metros de longitud por siete de ancho, y se formaba con una placa de hormigón armado, reforzada por mensulas que arrancaban de una viga central apoyada, a

su vez, en cuatro pilares de sección rectangular 30 x 40 cm. En un plano superior se disponía otra más pequeña *"para proteger el tragaluz construido para dar luz al escaparate".* Estaba constituida por una placa de 12 cm de espesor.

También era muy significativa *"la torre de hormigón armado de trece metros y medio de altura, colocada en uno de los extremos del pabellón y destinada a llamar la atención del público"*.

Pero la importancia de esta construcción no radica sólo en los aspectos estructurales. En su apariencia también jugó un papel fundamental, pues fue concebida por Fernández-Shaw de forma que *"la estructura de hormigón armado se conservara en toda su pureza, salpicándose tan sólol con cemento y arena de mármol"*[518].

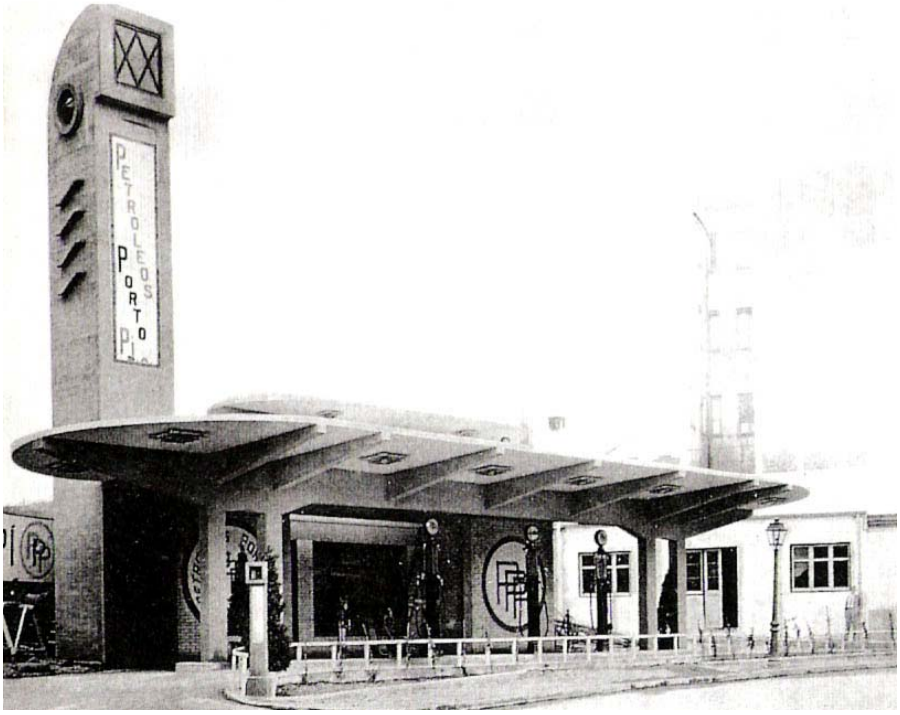


Figura 261. Gasolinera Porto Pi. Calle Alberto Aguilera Madrid, 1927 Casto Fernandez Shaw, arquitecto

Gran parte de los arquitectos racionalistas de los años treinta compartirían con Fernández-Shaw ese empeño en dar más protagonismo a la estructura como parte esencial de la obra de arquitectura. Esto impulsaría una estrecha colaboración entre arquitectos e ingenieros en los años inmediatamente anteriores a la Guerra Civil, que daría el impulso definitivo a la construcción con hormigón armado.

Así por ejemplo, Javier Ferrero Llusiá, que desde 1927 venía incorporando los nuevos criterios racionalistas y funcionalistas a las instalaciones del Ayuntamiento de Madrid recurriría en 1930 a Alfonso Peña Boeuf para diseñar la estructura del Mercado de Frutas y Verduras de Madrid, "*obra de gran importancia, edificada totalmente con hormigón armado"*[519]. Continuaría después esta línea con otras dos edificaciones singulares: la Imprenta Municipal(1933) y el Mercado de Pescados (1934).

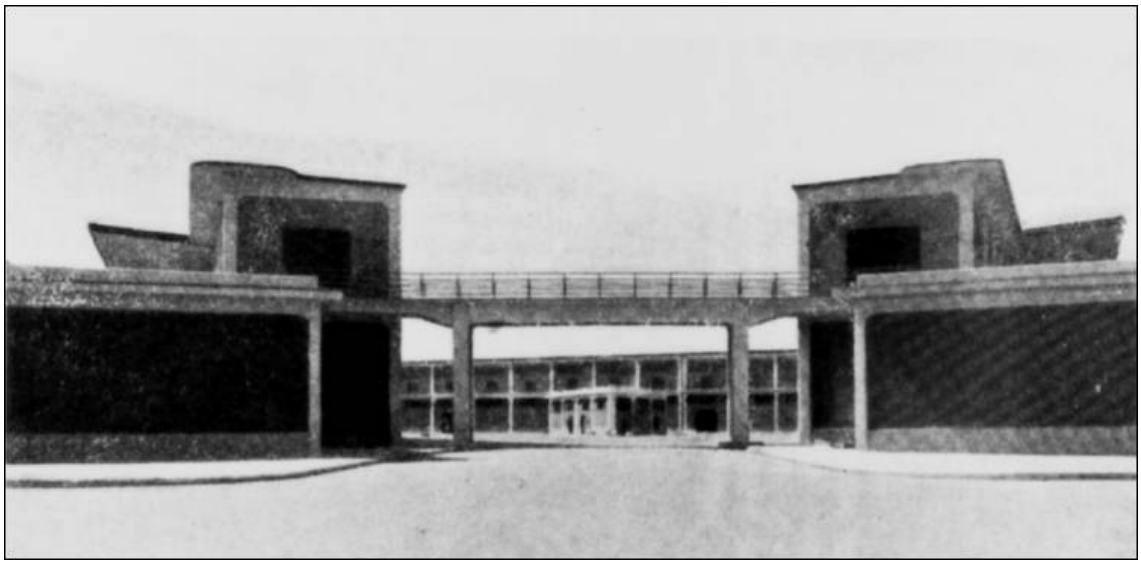


Figura 262. Mercado de Frutas y Verduras. Madrid, 1934. Javier Ferrero Llusiá, arquitecto, y Alfonso Peña Boeuf, ingeniero de caminos.

En los años treinta el hormigón armado iría imponiéndose finalmente a las estructuras metálicas, poco a poco relegadas a un papel secundario también en la arquitectura. Un buen ejemplo de ello lo constituye el emblemático Edificio Carrión, *"uno de los mejores edificios madrileños de todos los tiempos y, sin duda, el más representativo del siglo XX"*[520].



Figura 263. Edificio Carrión (también llamado "Capitol"). Madrid.1931. Luís Martínez-Feduchi y Vicente Eced, arquitectos.

Proyectado por los arquitectos Luís Martínez-Feduchi y Vicente Eced Eced en 1931, este innovador edificio de servicios múltiples (hotel, cine, cafetería, apartamentos, oficinas) tenía una estructura mixta, con partes metálicas y partes de hormigón armado. Entre estas destacan las cuatro grandes vigas Vierendell de la cubierta de la sala de espectáculos. Con sus 31 metros de luz por 3,10 de altura fueron las mayores de Europa en su momento[521].

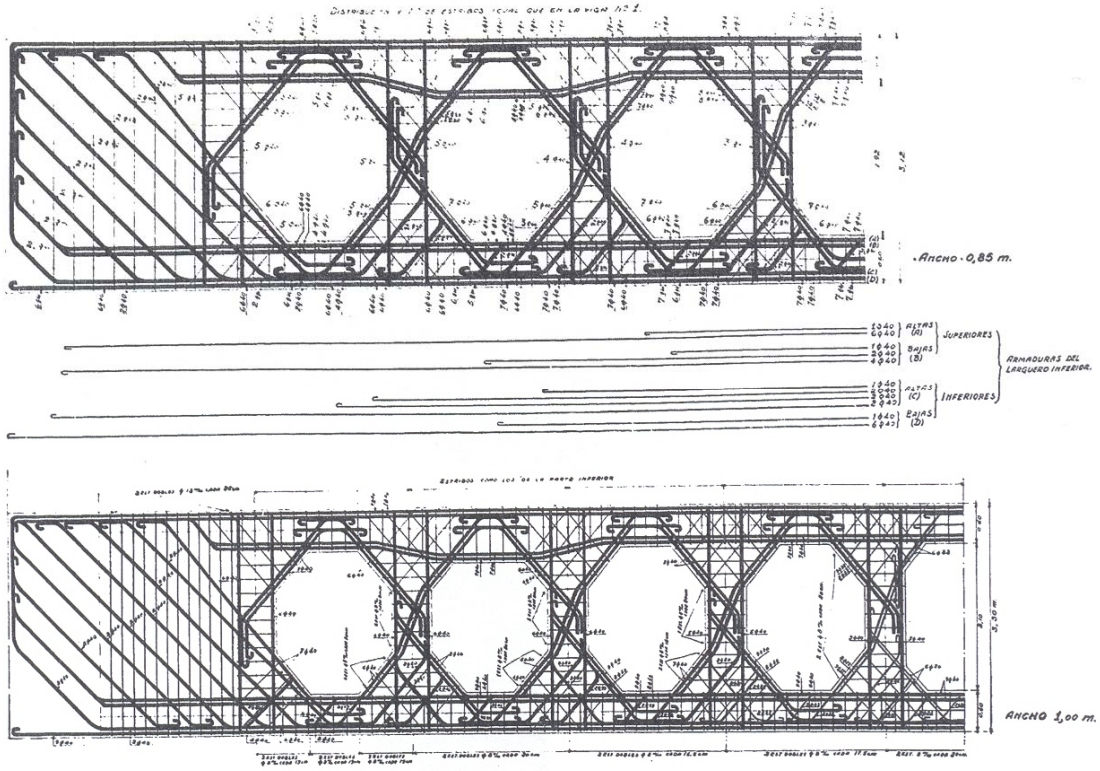


Figura 264. Vigas Vierendell de la cubierta de la sala de espectáculos del edificio Carrión. Madrid. 1931. Luís Martínez-Feduchi y Vicente Eced, arquitectos. En *Arquitectura*. Biblioteca Nacional de España.

Los años anteriores a la Guerra Civil serían también los de la irrupción del genial ingeniero Eduardo Torroja, en muchos aspectos la figura más destacada de toda la generación. En su obra, universalmente reconocida, se conjugan de forma admirable ingeniería y arquitectura. Torroja, extraordinario investigador y teórico de la ciencia de la construcción, fue sobre todo el gran maestro de las estructuras de hormigón armado, su material predilecto, el único que le permitía *"alcanzar el alto objetivo de expresividad del fenómeno resistente, donde se funden el fenómeno tensional y el efecto estético (la máxima valoración de la función resistente en la expresión estética) y, por supuesto, sin recurrir a ornamentos, donde la belleza se basa en la racionalidad de la estructura, y todo ello sin apariencia alguna de penoso esfuerzo ni de trabajada técnica, como si el límite de sus posibilidades estuviera más allá todavía"*[522]. Torroja cerraría definitivamente en España la etapa de desarrollo del hormigón armado.

Discípulo aventajado de Ribera, pasó a trabajar en su empresa, la *Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles*, nada más terminar la carrera (en 1923). Allí participaría en algunas de sus más destacadas realizaciones de los años veinte: el dique de Carena de

Cádiz, el puente de San Telmo en Sevilla, etc. Entre todas ellas sobresale el revolucionario acueducto de Tempul sobre el río Guadalete, construido en 1926 para el abastecimiento de agua de Jerez de la Frontera, que mostraba una solución estructural *"propia ya del futuro hormigón pretensado"*[523].



Figura 265. Acueducto de Tempul. Provincia de Cádiz.1926. Eduardo Torroja, ingeniero de caminos.

A finales de los años veinte formó su propia oficina técnica de estructuras, iniciando una creadora y estimulante etapa de colaboración con diversos arquitectos que se prolongaría hasta la Guerra Civil.

Impulsada directamente por el monarca, en 1927 se creaba por Real Decreto la *Ciudad Universitaria* de Madrid, ambicioso programa que englobaba edificios, obras civiles y urbanismo. Para proyectarla y gestionar su construcción se constituyó un gabinete técnico cuya dirección se encargó al prestigioso arquitecto Modesto López Otero. Formaban parte del gabinete, elegidos por López Otero, los arquitectos Miguel de los Santos, Manuel Sánchez Arcas, Agustín Aguirre y Luís Lacasa. Blanco Soler y Bergamín realizarían colaboraciones puntuales y a Torroja le fueron encomendados *"las obras de ingeniería, viaductos, puentes y cálculos especiales"*[524].

Entre las obras de ingeniería civil más importantes, el propio Torroja destacaría un gran muro de contención de once metros de altura y más de cien de longitud en la Avenida Universitaria; los viaductos de Quince Ojos, del Aire y de los deportes; y varios pasos inferiores del tranvía (Fuente de las Damas, Estadio).

El Viaducto de Quince Ojos fue diseñado para que sus *"líneas armonizasen con las del muro de contención antedicho, cuya ornamentación proyectada por los arquitectos de la Ciudad Universitaria, y todavía sin ejecutar, presenta multitud de perspectivas comunes con el viaducto"*. Con estos condicionamientos, Torroja apostó por el hormigón en masa para *"salvar la vaguada con una arcada múltiple de bastante masa compuesta por quince arcos de siete metros de luz con pilas de 1,70 metros en sentido longitudinal, y tres arcos iguales en sentido*

transversal con pilas centrales de 1,70 metros de anchura y las laterales de 6,80 para alcanzar el total de 35,00 metros de anchura de la vía" [525].



Figura 266. Viaducto de Quince Ojos en la Ciudad Universitaria. Madrid, 1930. Eduardo Torroja, ingeniero de caminos.

El Viaducto del Aire se prestaba más a la solución clásica de arco, puesto que tenía su emplazamiento *"en uno de los valles más hermosos de la Ciudad, valle muy encajado y sobre el cual la rasante pasa alta; para perturbar lo menos posible el paisaje, y por resultar una solución muy apropiada estructuralmente, se voltearon dos arcos gemelos de 36 metros de luz por 18 m de altura, sobre los que apoya la palizada que sostiene al tablero"* [526].



Figura 267. Viaducto del Aire en la Ciudad Universitaria. Madrid, 1930. Eduardo Torroja, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos Canales y Puertos.

En el tercero de los viaductos no había, en cambio, estos importantes condicionamientos paisajísticos, por lo se optó por *"una obra exclusivamente estructural, sin ornamentación ninguna"*. Se resolvió con cuatro tramos rectos de hormigón armado sobre pilastras.

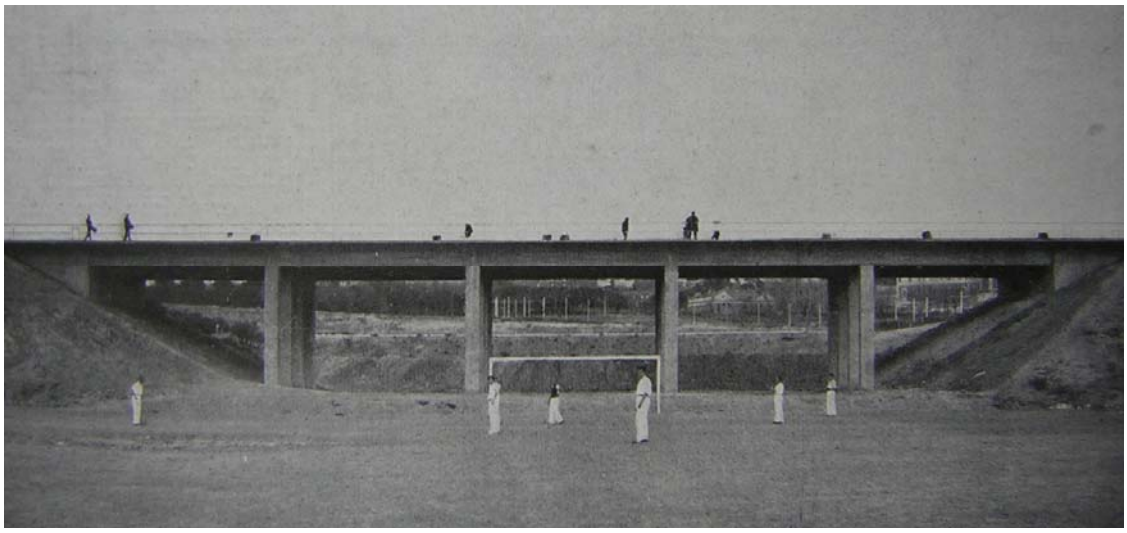


Figura 268. Viaducto de los Deportes en la Ciudad Universitaria. Madrid, 1930. Eduardo Torroja, ingeniero de caminos. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos Canales y Puertos.

La intervención de Torroja en la Ciudad Universitaria no se limitó a las obras de ingeniería. Proyectó la estructura de la mayoría de sus edificios: Facultades de Medicina, de Farmacia, de Físicas, de Químicas, de Filosofía y Letras, Hospital Clínico, Escuela de Arquitectura y Residencia de Estudiantes, *"demostrando una gran capacidad creativa y para el trabajo en equipo"*[527].



Figura 269. Facultad de Medicina de la Ciudad Universitaria, en construcción. Madrid, 1930. Modesto López Otero y Miguel de los Santos, arquitectos. Eduardo Torroja, ingeniero de caminos.

Precisamente en la Ciudad Universitaria comenzaría una fructífera relación con el arquitecto Manuel Sánchez Arcas. Entre ambos proyectaron los dos edificios más renovadores del conjunto universitario: el Pabellón de Gobierno (1931) y la Central Térmica (1935).

La asociación entre Torroja y Sánchez Arcas trascendería con el emblemático Mercado de Algeciras, proyectado y construido entre ambos en 1933. En este edificio destaca su bóveda de casquete esférico apoyada puntualmente en los vértices de un recinto octogonal.



Figura 270. Mercado de Algeciras (Cádiz), 1933. Manuel Sánchez Arcas, arquitecto, y Eduardo Torroja, ingeniero de caminos.

Ese mismo año los arquitectos Carlos Arniches y Martín Domínguez recurrirían a Torroja para diseñar las marquesinas del pabellón de párvulos del Instituto Escuela de Madrid, otra de las obras esenciales del Movimiento Moderno en España.



Figura 271. Marquesinas del pabellón de párvulos del Instituto Escuela. Madrid, 1933. Carlos Arniches y Martín Domínguez, arquitectos. Eduardo Torroja, ingeniero de caminos.

Los tres se presentarían al concurso del nuevo Hipódromo de Madrid, resultando vencedor su proyecto en diciembre de 1934. Torroja desplegó todo su genio para resolver con un sencillo esquema estructural el singular diseño arquitectónico de esta edificación.

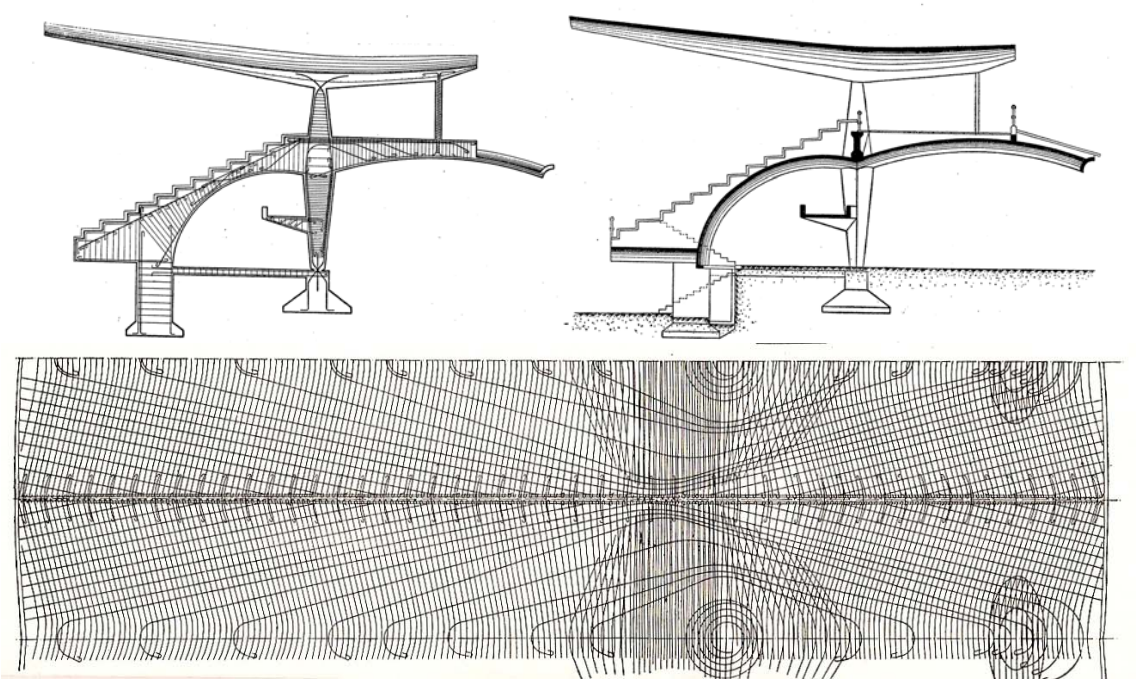


Figura 272. Configuración estructural de los graderíos y cubierta del Hipódromo de la Zarzuela. Madrid, 1933. Carlos Arniches y Martín Domínguez, arquitectos. Eduardo Torroja, ingeniero de caminos

Culminaría Torroja sus colaboraciones con arquitectos con uno de los edificios más emblemáticos de la arquitectura española del siglo XX, el Frontón Recoletos. Proyectado junto con el también excepcional arquitecto Secundino Zuazo, era verdaderamente extraordinario. Su cubierta, formada por la intersección de dos bóvedas de cañón paralelas, hechas con hormigón armado, queda para la posteridad como *"clarividente ejercicio de arquitectura-ingeniería"*[528]. Desgraciadamente, el Frontón tendría una vida efímera, teniendo que ser demolido poco después de su inauguración (1935), al resultar muy afectado por los bombardeos de la Guerra Civil.

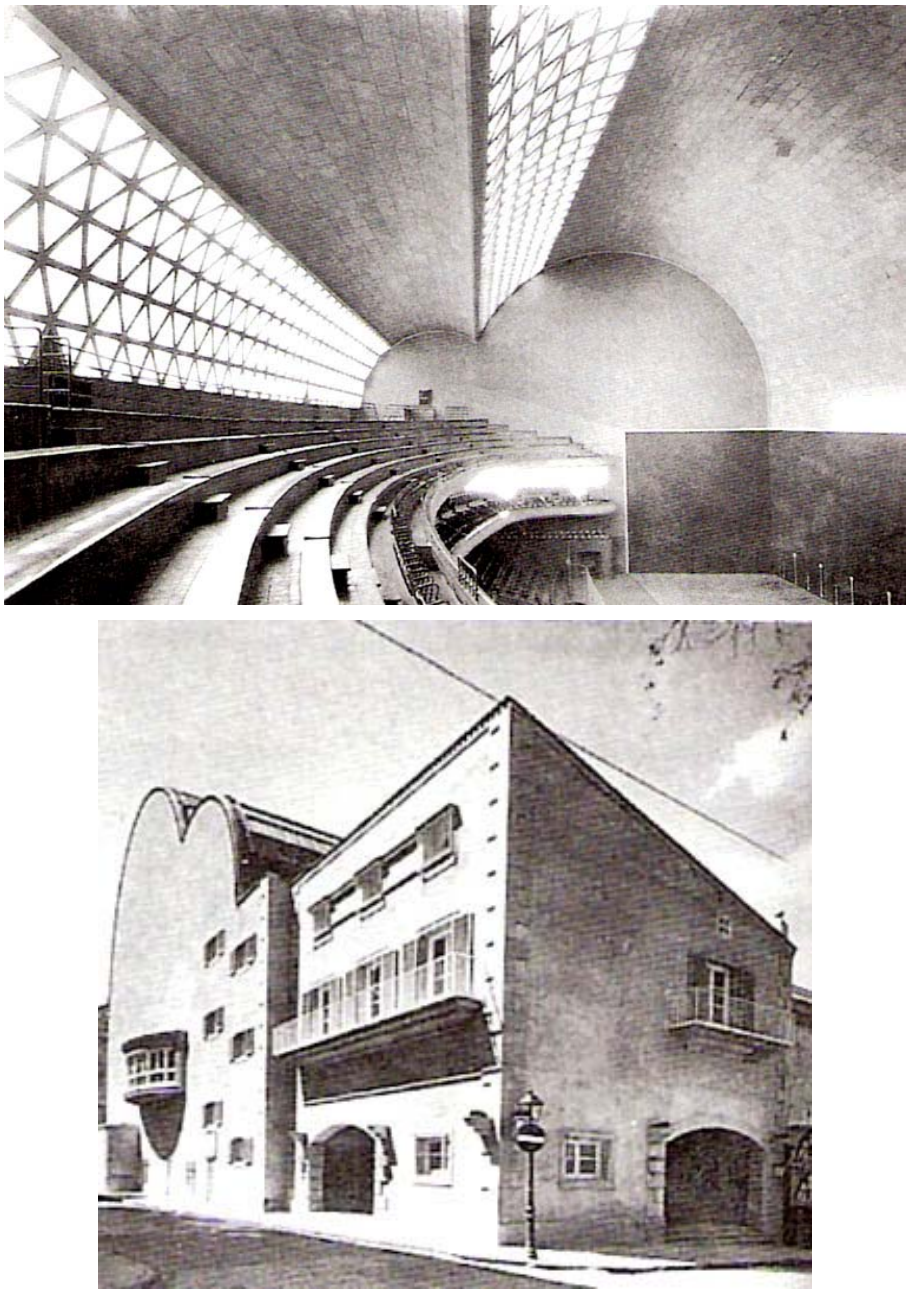


Figura 273. Frontón Recoletos. Madrid, 1936. Secundino Zuazo, arquitecto, y Eduardo Torroja, ingeniero de caminos.

NOTAS AL CAPÍTULO CUARTO

[1] "Nota sobre la aplicación del cemento para la conservación de la madera debajo del agua de mar", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año I, número 5. Madrid, 1 de julio de 1853.

[2] Uhagón, Félix: "De los efectos del agua de mar en los morteros hidráulicos y hormigones", publicado en la *Revista de Obras Públicas,* año II, nº 5, Madrid, abril de 1854.

[3] Valdés, Nicolás: "Bóvedas de hormigón rebajadas y de aristas", publicado en el *Memorial de Ingenieros del Ejército*, tomo XIX. Madrid, 1864.

[4] Sáez y Moya, Constantino: "Informe", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año VI, nº22. Madrid, 15 de noviembre de 1858.

[5] Rebolledo, José Antonio: *Casas para obreros o económicas*. Madrid, Imprenta de la viuda e hijos de Galiano, 1872. p.p. 97-98.

[6] Belmás, Mariano: *Las construcciones económicas del sistema Belmás bajo los puntos de vista social, económico y constructivo*. Madrid, Imprenta y Esterotipia de Aibau y Cª, 1881.

[7] González Regueral,Salustio: "Obras de puertos", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año XIII, número 14. Madrid, 15 de julio de 1865.

[8] González, F.:"Noticias Varias", publicado en la *Revista de Obras Públicas,* año XIV, número 2. Madrid, 15 de enero de 1866.

[9] "Puerto de Barcelona", publicado en la *Revista de Obras Públicas,* año XIV, número 16. Madrid, 15 de agosto de 1866.

[10] "Nota sobre el revestimiento de los diques de escollera con prismas de hormigón", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año XX, número 2. Madrid, 31 de enero de 1872.

[11] Pelayo y Gómiz, Eduardo: *Experimentos sobre la resistencia y comparación económica de los cementos españoles y extranjeros en el Dique de Carena construido en la bahía de Cádiz por la empresa de vapores y correos trasatlánticos A. López y Cia.* Barcelona, Imprenta Peninsular de Mariol y López, 1884.

[12] Valdés, Julio: "Puerto de Barcelona. Estudio teórico y práctico de los bloques huecos propuestos para la construcción de nuevos muelles", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año XXXV, número 24. Madrid, 30 de enero de 1887.

[13] García Morón, José: "Memoria sobre el progreso de las obras del Puerto de Manila", publicado en la *Revista de Obras Públicas,* año XXXVII, número 23. Madrid, 15 de diciembre de 1889.

[14] Churruca, Evaristo: "Memoria que manifiesta el estado y progreso de las obras de mejora de la ría de Bilbao durante el año económico de 1890 a 1891", publicado en la *Revista de Obras Públicas,* año XL, número 14. Madrid, 30 de julio de 1892.

[15] Martínez, Félix: "El puerto de Cartagena, en 30 de junio de 1896", publicado en la *Revista de Obras Públicas,* año XLIV, número 1120. Madrid, 11 de marzo de 1897.

[16] González, F.:"Noticias varias", publicado en la *Revista de Obras Públicas,* año XIII, número 23. Madrid, 1 de diciembre de 1865.

[17] "Memoria relativa a los arcos de hormigón hidráulico construidos en la carretera de primer orden de Soria a Logroño", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año XV, número 2. Madrid, 15 de enero de 1867.

[18] Landa Setién, Pascual: "Memoria sobre la reconstrucción del puente de Luchana", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año XXV, número 11. Madrid, 1 de junio de 1877.

[19] Manso de Zúñiga, José: "Proyecto de modificación del puente sobre el río Calamantio en el trozo 3ª de la carretera de3er orden de Lerma a Venta de la Estrella por Salas de los Infantes, Anguiano y Nájera". 1881. Archivo General de la Administración, Fondo de Obras Públicas, legajo 21382.

[20] Uhagón, Recaredo: *Proyecto de Saneamiento General de Valladolid. Memoria descriptiva*. Valladolid, Establecimiento tipográfico de F. Santarén, 1890. p 125-134, 206-225, 250-264.

[21] Rodríguez de Quijano y Arroquia, Ángel: "La fortificación en 1867". Monografía publicada en el *Memorial de ingenieros del Ejército.* Madrid, 1868.

[22] Marvá y Mayer, José: "Noticia de algunas baterías de costa construidas durante el año 1896", publicado en *Memorial de ingenieros del Ejército.* Madrid, 1897.

[23] Bassegoda Nonell, Juan: *Aproximación a Gaudí*. Madrid, Doce Calles, 1992.

[24] "Mampostería que resiste a esfuerzos de extensión", publicado en *El Cemento Armado,* año I, nº 11. Madrid, 30 de noviembre de 1901.

[25] *Catálogo y nota de precios de las construcciones Sistema Monier.* Barcelona, Litotipografía de L. Tasso.1895. p. 22.

[26] Homdedeu, Lluis:"Macià i l'esperit de progrès", publicado en *La Sitja*, revista local de Puigverd de Lleida, enero de1996.

[27] "Depósitos para agua. Precios". Publicado en *El Cemento Armado,* año I, nº 4. Madrid, 30 de abril de 1901

[28] Patente de invención 19962. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

[29] Patente de 27 de agosto de 1884 (nº 4433) relativa a unos *"Perfeccionamientos introducidos en las traviesas de ferro-carriles, aplicables a los travesaños para formar recipientes de todas clases y a las construcciones en general de hierro y cemento, por D. José Monier, constructor de París".* Y adición de 5 de agosto de 1886, registrada con el nº 6156. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas

[30] *Catálogo y nota de precios de las construcciones Sistema Monier.* Obra citada. p. p. 19-25.

[31] "Preguntas y Respuestas", publicado en *El Cemento Armado*, año I, número 9. Madrid, septiembre de 1901.

[32] Proyecto de reparación del depósito Municipal de Mieres. 1899. Archivo Municipal de Mieres.

[33] E.C.i.C.:"D. Claudi Durán", publicado en el *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*. Barcelona, 1926.

[34]Ribera, J.E.: "Revestimientos de canales y depósitos con camisas de cemento armado", publicado en *El Cemento Armado*, año I, número 12. Madrid, 31 de diciembre de 1901.

[35] Rodríguez Carril, José: "España. Cemento Armado", publicado en *El Cemento Armado,* año I, nº 8. Madrid, 31 de agosto de 1901.

[36] "Construcciones sistema Monier. Balsas depuradoras y depósitos para melazas", publicado en *Arquitectura y Construcción,* año VI, número 123. Barcelona, octubre de 1902.

[37] Anuncio publicado en el *Anuario de Arquitectos de Cataluña* de1906.

[38] Carta de Daniel de Basaldúa, contratista de la obra, enviada en noviembre de 1906 al Ayuntamiento de Orduña y a la Junta del Monumento reclamando el pago de la liquidación. Archivo Municipal de Orduña.

[39] "Excursión a San Sadurní de Noya", publicado en el *Anuario de Arquitectos de Cataluña.* Barcelona, 1910.

[40] Bassegoda Nonell, Juan: *Aproximación a Gaudí.* Madrid, Doce Calles, 1992.

[41] Expediente conservado en el Archivo de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[42] Gallego Ramos, Eduardo: *Cemento armado. Estudios y tanteos*. Madrid, Establecimiento de A. Marzo, 1918.

[43] V.V. A.A.: *Cents ans du béton armé.* París, Science & Industrie, 1949. p. 73

[44] Ribera, José Eugenio:"En mi última lección, establezco mi balance profesional", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXXIX, nº 2582. Madrid, 1 de octubre de 1931.

[45] *Puentes de hierro económicos, muelles y faros sobre palizadas y pilotes metálicos*, publicado en 1895.

[46] El Proyecto de abastecimiento de agua a la Villa de Mieres, redactado por Ribera en 1895, se conserva en el Archivo Municipal de Mieres.

[47] Todos los proyectos con sus respectivas liquidaciones se conservan en el Archivo Municipal de Mieres

[48] Ribera, J.E:: *Hormigón y cemento armado, mi sistema y mis obras.* Madrid, Imprenta de Ricardo Rojas, 1902. p.XIII.

[49] Ribera, J.E:: *Hormigón y cemento armado, mi sistema y mis obras.* Obra citada, p.43.

[50] Ribera, JE.: *Hormigón y cemento armado, mi sistema y mis obras.* Obra citada, p.XIV.

[51] Ribera, J.E.: "Puente de 50 metros de luz de hormigón articulado en Las Sesgadas (Asturias)", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año XLVIII, nº 1335. Madrid, 25 de abril de 1901.

[52] "Nuestros colaboradores: José Eugenio Ribera", publicado en *El Cemento Armado,* año I, número 6. Madrid, 30 de junio de 1901.

[53] Ribera, J.E.: Prólogo al libro de Luengo y González, *Cementos Armados*. Madrid, 1900.p. III

[54] Carta de Hennebique a J. Septon dando cuenta de su encuentro con Ribera. Citada por Gwenaël Delhumeau en *L'invention du béton armé. Hennebique 1890-1914.* París, Norma Editions, 1999. p.125

[55] Ribera, J.E.: Hormigón y cemento armado, mi sistema y mis obras. Obra citada, p. 60

[56] Anteproyecto y proyecto de carretera de segundo orden de Santa Rosa, del arquitecto A. Suardiaz Valdés. 1897-98. Se conserva en el Archivo Municipal de Mieres.

[57] Liquidación de las obras del Segundo Tramo de la carretera de Santa Rosa. Se conserva en el Archivo Municipal de Mieres.

[58] "Un puente de hormigón armado", en la *Revista de Obras Públicas.* Año XLVI, número 1262. Madrid, 30 de noviembre de 1899.

[59] Ribera, J.E.: Hormigón y cemento armado, mi sistema y mis obras. Obra citada, p. 63.

[60] Consta en la Memoria de la construcción de la nueva cárcel de Oviedo, escrita por el arquitecto Nicolás García Rivero en 1905. Se conserva en el Archivo Histórico de Asturias.

[61] Ribera, José Eugenio: "El hormigón armado", en la *Revista de Obras Públicas*, año XLV, nº 1188. Madrid, 30 de junio de 1898.

[62] Ribera, J.E.: "Pintura de los hierros con Portland", en la *Revista de Obras Públicas*, año XLV, nº 1177. Madrid, 14 de abril de 1898.

[63] Ribera, J.E.: "El depósito de hormigón armado de Llanes", en la *Revista de Obras Públicas*, año XLVIII, nº 1357. Madrid, 26 de septiembre de 1901.

[64] Archivo Municipal de Llanes.

[65] Según la relación de agentes y concesionarios de Hennebique que figura en el nº 16 (septiembre de 1899) de *Le Béton Armé.*

[66] "Troisième Congrès du Béton de Ciment Armé. Toast de Monsieur Ribera", publicado en *Le Béton Armé,* nº 9. Rennes, 10 de febrero de 1899.

[67] Ribera, José Eugenio.: Prólogo al libro de Luengo y González, *Cementos Armados*. Madrid, 1900. p. III

[68] Proyecto de camino de Valdecuna a Villamartín. 1899. Archivo Municipal de Mieres.

[69] Archivo Municipal de Mieres.

[70] Archivo Municipal de Mieres.

[71] Ribera, José Eugenio:"En mi última lección, establezco mi balance profesional", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXXIX, nº 2582. Madrid, 1 de octubre de 1931.

[72] Ribera, José Eugenio: *Hormigón y cemento armado, mi sistema y mis obras.* Madrid, 1901. p.31

[73] Ribera, José Eugenio: *Los progresos del hormigón armado en España.* Madrid, Imprenta alemana, 1907. p. p. 30-31

[74] Ribera, José Eugenio: *Construcciones modernas de hormigón armado. Conferencia en el Ateneo*. Madrid, 1903.

[75] Ribera, José Eugenio: *Los progresos del hormigón armado en España.* Obra citada, p. 56.

[76] Ribera, José Eugenio: *Los progresos del hormigón armado en España.* Obra citada, p. 59.

[77] Ribera, José Eugenio: *Hormigón y cemento armado, mi sistema y mis obras.* Madrid, 1901. p. p. 28-30.

[78] Ribera, José Eugenio: "Depósitos y tuberías de hormigón armado", en *La Construcción Moderna*. Año LII, número 5, 15 de marzo de 1905.

[79] Mújica, Gregorio de: *Monografía Histórica de la Villa de Eibar.* Eibar(Guipúzcoa), Ayuntamiento de Eibar, 1990.p.350.

[80] Ribera, José Eugenio: *Hormigón y cemento armado, mi sistema y mis obras.* Madrid, 1901. p.45

[81] Ribera, José Eugenio: *Hormigón y cemento armado, mi sistema y mis obras.* Madrid, 1901. p.48

[82] "Proyecto de tramo de hormigón armado para el paso superior de Los Prados, kilómetro 407+37,40 de la Línea de Albacete a Cartagena". Archivo Histórico de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles

[83] Rodríguez Carril, José: "Puente de hormigón armado en Cieza (Murcia)", publicado en *El Cemento Armado,* año I, número 4. Madrid, 30 de abril de 1901

[84] Acta de las pruebas de resistencia del tramo de hormigón armado construido en el paso superior de Sierra km 343+072 de la línea de Albacete a Cartagena. Archivo Histórico de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[85] Ribera, José Eugenio: *Los progresos del hormigón armado en España.* Obra citada, p. p. 37-38.

[86] Carta de J.A. Calleja, ingeniero jefe de Vías y Obras al director de la Compañía MZA. 2 de agosto de 1899. Archivo Histórico de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[87] Rodríguez Carril, José: "Estación del ferrocarril en Huete (Cuenca)", publicado en *El Cemento Armado,* año I, número 6. Madrid, 30 de junio de 1901

[88] Ribera, José Eugenio: *Hormigón y cemento armado, mi sistema y mis obras.* Madrid, 1901. p.3

[89] Carta de Ribera a Hennebique de 21 de mayo de 1901, citada por Gwenaël Delhumeau en *L'invention du béton armé. Hennebique 1890-1914.* p.157.

[90] Patente de invención para un Procedimiento de construcción nuevo y propio aplicable a pisos, bóvedas y pilares de hormigón armado. Archivo histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas. Expediente nº 28287. 31 de julio de 1901.

[91] Ribera, José Eugenio: *Los progresos del hormigón armado en España.* Obra citada. p. p. 68-75.

[92] Ribera, José Eugenio: "Decoración del cemento armado", artículo publicado en *El Cemento Armado*, año III, nº 1. Madrid, enero de 1903

[93] Martín Ramos, Ángel: *La construcción de Tolosa*. Bilbao, Colegio Oficial de Arquitectos Vasco Navarro, 1993.

[94] Proyecto de reforma y reparación del puente de la Fandería en la Villa de Rentería. 1902. Ramón Cortázar, arquitecto. Archivo del Ayuntamiento de Errentería.

[95] Ribera, José Eugenio: *Hormigón y cemento armado, mi sistema y mis obras.* Madrid, 1902. p. 65

[96] Ribera, José Eugenio: *Los progresos del hormigón armado en España.* Obra citada, p.p. 34-38.

[97] Ribera, José Eugenio: *Puentes de hormigón armado.* Madrid, Establecimiento tipográfico Hijos de J.A. García,1903.

[98] "Procedimiento de construcción propio y nuevo, aplicable a puentes y bóvedas de hormigón armado". Patente de invención nº 29936. Junio de 1902. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

[99] Ribera, José Eugenio: "Puentes de hormigón armado. Descripción y cálculo de los tramos y pilares del puente de Mieres". En la *Revista de Obras Públicas*. Año XLIX. Madrid,13 de noviembre de 1902

[100] Ribera, José Eugenio: "Puentes de hormigón armado. Puente en arco de 30 metros de luz en Golbardo (Santander)". En la *Revista de Obras Públicas*. Año XLIX. Madrid, 18 de diciembre de 1902.

[101] Ribera, José Eugenio: *Los progresos del hormigón armado en España.* Obra citada. p. 32

[102] Gálvez-Cañero, A: "Sociedad Anónima Hidroeléctrica del Chorro. Descripción de sus instalaciones", publicado en *Ingeniería*. Año I, número 2. Madrid, 20 de abril de 1905.

[103] Ribera, José Eugenio: "Puente monumental en San Sebastián", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Madrid, 15 de septiembre de 1904.

[104] Ribera, José Eugenio: "Las obras del puente de San Sebastián", artículo publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LIII. Madrid, 19 de enero de 1905.

[105] "El Canal de Aragón y Cataluña", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LIV, número 1588. Madrid, 1 de marzo de 1906.

[106] "Los concursos de hormigón armado en 1903", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LII, número 1492. Madrid, 28 de abril de 1904.

[107] Ribera, José Eugenio:"Depósitos y tuberías de hormigón armado", publicado en *La Construcción Moderna,* año III, nº5. Madrid, 15 de marzo de 1905.

[108] Luiña, Mariano: "Sifón de hormigón armado sobre el río Sosa y barranco de Ribabona", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LIV, número 1588. Madrid, 1 de marzo de 1906.

[109] Gaceta de Madrid, número 347, 13 de diciembre de 1901

[110] Ribera, José Eugenio: "Cubiertas para depósitos de agua de hormigón armado, sistema Ribera". Artículo publicado en *El Cemento Armado*, año III, nº 3. Madrid, marzo de 1903

[111] "Canal de Isabel II. Concurso para la cubierta y pilares del Tercer Depósito", artículo publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LI, número 1444. Madrid, 28 de mayo de 1903.

[112] Ribera, José Eugenio: *Los progresos del hormigón armado en España.* Obra citada. p.7.

[113] "El Canal de Aragón y Cataluña", artículo publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LIV, número 1444. Madrid, 28 de mayo de 1903.

[114] López Sandino, R.: "El puente del Sosa en el Canal de Aragón y Cataluña", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LIII, número 1550. Madrid, 8 de junio de 1905.

[115] López Sandino, Rafael: "Canal de Aragón y Cataluña. Puente del Sosa" publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LII, número 1499. Madrid, 20 de mayo de 1904.

[116] "Canal de Aragón y Cataluña", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LIV, número 1804. Madrid, 21 de abril de 1910.

[117] Ribera, José Eugenio: "El sifón de Albelda", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LVIII, número 1804. Madrid, 21 de abril de 1910.

[118] "Sifón de Albelda (obra de cemento armado sistema Ribera)", artículo publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LVII, número 1745. Madrid, 4 de marzo de 1909.

[119] Ribera, José Eugenio: *Los progresos del hormigón armado en España.* Obra citada. p. p. 37-39.

[120] Ribera, José Eugenio: *Los progresos del hormigón armado en España.* Obra citada. p. p. 29-31.

[121] "Viaducto de Villafranca del Bierzo", artículo publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LVI, número 1731. Madrid, 26 de noviembre de 1908.

[122] Fernández Arroyo, Juan José: "Viaducto de Alfonso XIII en el Barranco Hondo (Canarias)", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LVII, número 1757. Madrid, 27 de mayo de 1909.

[123] "Puente de Valencia de Don Juan de hormigón armado sistema Ribera", artículo publicado en *Arquitectura y Construcción*. Año XIV, nº 212. Barcelona, marzo de 1910.

[124] José Eugenio Ribera:"Puente de la isla de Cortegada", artículo publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LIV, número 1684. Madrid, 2 de enero de 1908.

[125] Ribera, José Eugenio: "El puente Victoria en Madrid", en la *Revista de Obras Públicas.* Año LVIII, número 1807. Madrid, 12 de mayo de 1910.

[126] Gallego, Eduardo: "El hormigón armado y la construcción en Madrid", en *La Construcción Moderna.* Año XI, número 4. Madrid, 28 de febrero de 1913.

[127] Bellido, Luís: *Proyecto de matadero y mercado de ganados de Madrid*. Madrid, Imprenta Municipal, 1910.p.135.

[128] Lasso de la Vega Zamora, Miguel; Rivas Quinzanos, Pilar y Sanz Hernando, Alberto: *Memoria histórica para el proyecto de rehabilitación del antiguo Matadero Municipal de Madrid*. Servicio Histórico del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Enero de 2005.

[129] "Información. Puente sobre el Jarama", artículo publicado en *Madrid Científico*, año XVII, número 656. Madrid, 30 de enero de 1910

[130] "Información industrial. Noticias. La casa J. Eugenio Ribera y Cia en la Exposición de Buenos Aires", en *Ingeniería*, año VII, nº 226. Madrid, 10 de julio de 1911.

[131] Ribera, José Eugenio:"Puente colgado sobre el río Ebro en Amposta, Tarragona", en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXII, número 2040. Madrid, 29 de octubre de 1914.

[132] Ribera, José Eugenio:"Puente viaducto de Requejo sobre el Duero, en Pino, Zamora", en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXII, número 2035. Madrid, 24 de septiembre de 1914.

[133] Varios autores: *José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos, 1864-1936.* Catálogo de la exposición celebrada en el Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en junio de 1982.Madrid, CICCP, 1982.

[134] Ribera, José Eugenio: *Puentes de Fábrica y de Hormigón Armado. Tomo IV: Puentes de hormigón armado y obras especiales*. Madrid, Rivadeneyra, 1932 .p.p. 25-26

[135] Gallego Ramos, Eduardo: "Notas donostiarras", en *La Construcción Moderna.* Año XV, número 18. Madrid, 30 de septiembre de 1917.

[136] Gallego, Eduardo: "Aplicaciones prácticas. El cemento armado en España", en *La Construcción Moderna.* Año VIII, número 15. Madrid, 15 de agosto de 1910.

[137] Bravo Nieto, Antonio: *Arquitectura y urbanismo español en el norte de Marruecos.* Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transportes, 2000.p.p. 143.

[138] Becerra, Manuel: "Obras Públicas en Marruecos", en la *Revista de Obras Públicas*, año LXV, número 2187. Madrid, 23 de agosto de 1917.

[139] Ribera, José Eugenio:"Faro de hormigón armado en Larache", en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXXXIII, número 2667. Madrid, 15 de abril de 1935.

[140] Ribera, José Eugenio: "El ferrocarril de Tánger a Alcazar", en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXIII, número 2053. Madrid, 2 de enero de 1915.

[141] Ribera, José Eugenio: "Edificios de hormigón armado en el ferrocarril de Tánger a Fez", en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXXIII, número 2440. Madrid, 1 de noviembre de 1925.

[142] "Movimiento del personal técnico", en *La Construcción Moderna.* Año XVI, número 15. Madrid, 15 de agosto de 1918.

[143] Ribera, José Eugenio: "Modelos oficiales de puentes en arco para carreteras y caminos vecinales", en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXXI, número 2394. Madrid, 1 de diciembre de 1923.

[144] Zafra, Juan Manuel de: *Construcciones de hormigón armado.* Madrid, Imprenta de V. Tordesillas, 1911. p.5.

[145] Delhumeau, Gwenaël: *L'invention du béton armé. Hennebique 1890-1914.* París, Norma Editions, 1999.

[146] "Revista extranjera. Las construcciones de cemento armado, sistema Hennebique", en la *Revista de Obras Públicas*. Año XLIV, número 1114. Madrid, 28 de enero de1897.

[147] Patente de invención por "mejoras en la construcción de vigas, viguetas y tablones de betún reforzado". Expediente nº 22304. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas. 1898.

[148] Seco de la Garza, Ricardo: *Construcciones de hormigón de cemento armado sistema Hennebique privilegiado.* Madrid, Imprenta de Hernando y Cia, 1898.

[149] *Le Beton Armé*, nº 26, agosto de 1900.

[150] *Le Béton Armé,* nº 36,mayo de 1901.

[151] *Le Béton Armé,* nº 37, junio de 1901

[152] "Nuestros colaboradores", en *El Cemento Armado.* Año I, nº 2, febrero de 1901.

[153] *Le Beton Armé*, nº 16, septiembre de 1899.

[154] *Le Beton Armé*, nº 26, julio de 1900.

[155] *Le Beton Armé*, nº 28, septiembre de 1900.

[156] Luengo Carrascal, Juan y González e Irún, Antonio: *Cementos armados.* Madrid, Librería editorial de Bailly Baillière e hijos, 1900.

[157] *Le Beton Armé*, nº 23, abril de 1900.

[158] Según se desprende de la correspondencia entre Grimal y Hennebique citada por Gwenaël Delhumeau en *L'invention du béton armé*, p.p. 157-158.

[159] *Le Beton Armé*, nº 26, julio de 1900.

[160] *Le Beton Armé*, nº 31, diciembre de 1900.

[161] *Le Beton Armé*, nº 32, enero de 1901.

[162] *Le Beton Armé*, nº 40, septiembre de 1901.

[163] *Le Beton Armé*, nº 36, mayo de 1901.

[164] *Le Beton Armé*, nº 37, junio de 1901.

[165] *Le Beton Armé*, nº 38, julio de 1901.

[166] *Le Béton Armé,* nº 39, agosto de 1901.

[167] *Le Beton Armé*, nº 31, diciembre de 1900.

[168] J. Cárcamo y J. Rosell: *La fábrica Ceres de Bilbao. Los orígenes del hormigón armado y su introducción en Bizkaia.* pp.92-93.

[169] Fort y Barrenechea, Domingo: "Ventajas de las construcciones de cemento armado", artículo publicado en *El Cemento Armado,* año I, nº 8. Madrid, agosto de 1901.

[170] *Le Béton Armé,* nº 37, junio de 1901.

[171] *Le Béton Armé,* nº 39, agosto de 1901.

[172] *Le Béton Armé,* nº 34, enero de 1901.

[173] Ribera, José Eugenio: *Los progresos del hormigón armado en España.* Obra citada, p.52.

[174] Rebollo, Gabriel: "Construcciones de hormigón armado sistema Hennebique. Fábrica de harinas La Ceres, Bilbao", artículo publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año XLVIII, número 1340. Madrid, 30 de mayo de 1901.

[175] Grotta, Ramón: "Resistencia al fuego de las construcciones de cemento armado sistema Hennebique", artículo publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año XLVII, número 1269. Madrid, 18 de enero de 1900.

[176] "Construcciones de hormigón armado", artículo publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año XLVII, número 1294. Madrid, 12 de julio de 1900.

[177] Sáiz, A.: "El sistema Hennebique", artículo publicado en *El Cemento Armado*, año I, nº 3. Madrid, marzo de 1901.

[178] En la pasarela figura la inscripción "*La Giralda. 1900"*

[179] Martínez, J.: *Étude sur les constructions en béton de ciment armé, système Hennbique breveté.* París, 1896.

[180] "Necrologie de J.P. Martínez", publicado en *Le Béton Armé*, nº 70. Rennes, marzo de 1904.

[181] Hernández Rubio, Francisco: *Consideraciones sobre el hormigón armado. Conferencia dada en la noche del 13 de marzo de 1901*. Jerez, Imprenta de "El Guadalete", 1901.

[182] Ortega, Guillermo: "El Hospital San José, de Cádiz", en *La Construcción Moderna.* Año II, número 4. Madrid, 29 de febrero de 1904.

[183] Martínez, J.: "Epreuves de résistance de terrasses en béton de ciment armé construites à l'Hopital Mora en systeme Hennebique", publicado en *Le Béton Armé*, nº 47. Rennes, abril de 1902

[184] Martínez y Ruíz de Azúa, Enrique:"Hormigón de cemento armado", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año XLVIII, número 1364. Madrid, 14 de noviembre de 1901.

[185] "Necrologie de J.P. Martínez", publicado en *Le Béton Armé*, nº 70. Rennes, marzo de 1904.

[186] *Le Béton Armé,* nº 40, septiembre de 1901.

[187] *Le Béton Armé,* nº 42, noviembre de 1901.

[188] *Le Béton Armé,* nº 39, agosto de 1901.

[189] *Le Béton Armé,* nº 40, septiembre de 1901.

[190] *Le Béton Armé,* nº 43, diciembre de 1901.

[191] *Le Béton Armé,* nº 39, agosto de 1901.

[192] *Le Béton Armé,* nº 41, octubre de 1901.

[193] *Le Béton Armé,* nº 54, noviembre de 1902.

[194] *Le Béton Armé,* nº 48, mayo de 1902.

[195] Expediente de la Fábrica de Harinas construida en El Repilado, aldea de Jabugo. Archivo Municipal de Jabugo, legajo 959.

[196] *Le Béton Armé,* nº 51, agosto de 1902.

[197] *Le Béton Armé,* nº 52, septiembre de 1902.

[198] Rebollo, Gabriel:"Construcciones en hormigón armado sistema Hennebique", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año XLVIII, número 1340. Madrid, 30 de mayo de 1901.

[199] *Le Béton Armé,* nº 39, agosto de 1901.

[200] *Le Béton Armé,* nº 48, mayo de 1902.

[201] *Le Béton Armé,* nº 38, julio de 1901.

[202] *Le Béton Armé,* nº 47, abril de 1902.

[203] *Le Béton Armé,* nº 49, junio de 1902.

[204] *Le Béton Armé,* nº 46, marzo de 1902.

[205] *Le Béton Armé,* nº 49, junio de 1902.

[206] González Irún, A. y Luengo Carrascal, J.: *Cementos armados.* Madrid, Bailly-Baillière e hijos, 1900. p.p. 234-235.

[207] *Le Béton Armé,* nº 44, enero de 1902.

[208] "Depósitos de agua en España", artículo publicado en *El Cemento Armado*, año II, nº 6. Madrid, junio de 1901.

[209] Joaquín Cárcamo y Jaume Rosell: *La fábrica Ceres de Bilbao. Los orígenes del hormigón armado y su introducción en Bizkaia.* p.92.

[210] *Le Béton Armé,* nº 34, marzo de 1901.

[211] *Le Béton Armé,* nº 34, marzo de 1901.

[212] *Le Béton Armé,* nº 36, mayo de 1901.

[213] *Le Béton Armé,* nº 39, agosto de 1901.

[214] *Le Béton Armé,* nº 48, mayo de 1902.

[215] *Le Béton Armé,* nº 55, diciembre de 1902.

[216] *Le Béton Armé,* nº 54, noviembre de 1902.

[217] *Le Béton Armé,* nº 49, junio de 1902.

[218] *Le Béton Armé,* nº 59, abril de 1903.

[219] *Le Béton Armé,* nº 50, julio de 1902

[220] *Le Béton Armé,* nº 46, marzo de 1902.

[221] Relación general de trabajos de la Casa Hennebique en 1906. Addenda a *Le Béton Armé*, enero de 1907.

[222] Salaverría, Miguel: *Construcciones en hormigón armado a prueba de incendios, sistema Hennebique privilegiado.* San Sebastián, 1908.

[223] *Le Béton Armé,* relación de trabajos de la empresa Hennebique realizados en 1906. Rennes, diciembre de 1906.

[224] *Le Béton Armé,* nº 41, octubre de 1901.

[225] Relación general de trabajos de la Casa Hennebique en 1906. Addenda a *Le Béton Armé*, enero de 1907.

[226] Salaverría, Miguel: *Construcciones en hormigón armado a prueba de incendios, sistema Hennebique privilegiado.* Obra citada.

[227] Salaverría, Miguel:Le Béton Armé dans le Nord de l'Espagne", artículo publicado en *Le Béton Armé*, nº 142. Rennes, marzo de 1910.

[228] *Le Béton Armé,* nº 177, febrero de 1913.

[229] Carta de Gabriel Gouyand al ingeniero jefe de Vías y Obras de la Cia. de Ferrocarriles de Madrid a Cáceres y Portugal, con ocasión del concurso para un paso superior en Getafe. 25 de junio de 1914.

[230] "Al lector", publicado en *El Cemento Armado,* año I, número 1. Madrid, 31 de enero de 1901.

[231] Sáiz, A: "Construcciones de cemento armado. Conferencias de nuestro director en el Ateneo Instructivo del Obrero de Guadalajara", publicado en *El Cemento Armado,* año I, número 4. Madrid, 30 de abril de 1901.

[232] Barutell, Carlos: "El sistema Unciti", publicado en *El Cemento Armado,* año III, número 6. Madrid, junio de 1903.

[233] "Pilotes de cemento armado", publicado en *El Cemento Armado,* año I, número 4. Madrid, 30 de abril de 1901.

[234] Sáiz, A: "Cubierta de cemento armado del almacén-depósito de tabacos de Santander", publicado en *El Cemento Armado,* año I, número 8. Madrid, 31 de agosto de 1901.

[235] Martinez Unciti, Ricardo: "Placas de fundación de cemento armado sistema Unciti para dos motores de 50 y 100 caballos respectivamente", publicado en *El Cemento Armado,* año II, número 8. Madrid, 31 de agosto de 1902.

[236] Todos los expedientes se conservan en el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

[237] "Información. El sistema Unciti", artículo publicado en *El Cemento Armado,* año III, número 6. Madrid, junio de 1903.

[238] "Cemento armado sistema Unciti", artículo publicado en *La Ciudad Lineal*, año VII, número 165. Madrid, 10 de junio de 1903.

[239] *La Ciudad Lineal*, nº 184, 20 de diciembre de 1903.

[240] Seco de la Garza, Ricardo: "La verdad en los precios del cemento armado", publicado en *El Cemento Armado,* año III, número 11. Madrid, noviembre de 1903.

[241] Palacio, Alberto de: *Le Ciment Armé système Unciti".* Madrid, Imprenta de Ricardo Rojas, 1904.

[242] "Advertencia a los suscriptores", publicada en *El Cemento Armado,* año IV, nº*6.* Madrid, junio de 1904.

[243] Patente de invención nº 28633. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

[244] Ribera, José Eugenio: "Comparación entre los cementos Portland y los de escoria (Laitiers)", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año XLVI, número 1241. Madrid, 6 de julio de 1899.

[245] *Le Béton Armé*, nº 32, enero de 1901.

[246] "El sistema Blanc (La Poutre Dalle)", publicado en *El Cemento Armado,* año I, número 12. Madrid, 31 de diciembre de 1901.

[247] "El sistema Blanc (La Poutre Dalle)", publicado en *El Cemento Armado,* año I, número 12. Madrid, 31 de diciembre de 1901.

[248] "La poutre-dalle, sistema Blanc", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año L, número 1389. Madrid, 8 de mayo de 1902.

[249] Blanc, Joseph: *Nota sobre las construcciones de hormigón armado La Poutre Dalle-Sistema Blanc privilegiado*. Bilbao, Imprenta y Encuadernación de Antonio Apellaniz, 1902.

[250] Repullés, Enrique:"Actualidades", publicado en *Arquitectura y Construcción*, año VI, número 121. Barcelona, agosto de 1902.

[251] *El Hormigón Armado,* nº 33, cuarto trimestre de 1906.

[252] "Canal de Isabel II. Concurso para la cubierta y pilares de Tercer Depósito", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LI, número 1444. Madrid, 28 de mayo de 1903.

[253] Carta del secretario de la Compañía Anónima del Hormigón Armado al alcalde de Torrelavega, fechada en 6 de diciembre de 1902. Se conserva en el Archivo Municipal de Torrelavega.

[254] Acta de recepción del "Puente Encarnado" sobre el tramo sur del Esgueva. 1903. Archivo Municipal de Valladolid, legajo CH 344-6.

[255] Carta de Juan Agapito, arquitecto municipal de Valladolid, a la comisión de Obras. 18 de febrero de 1903. Archivo Municipal de Valladolid. Legajo 730-23.

[256] "Lo que son los concursos en España", publicado en *La Construcción Moderna*, año II, nº 15. Madrid, 15 de agosto de 1904.

[257] Publicado en la *Gaceta de Madrid*, número 295, 23 de octubre de 1904.

[258] "El concurso del Ayuntamiento de Madrid para el empleo del cemento armado", publicado en *La Construcción Moderna*, año II, nº 22, Madrid, 30 de noviembre de 1904.

[259] Proyecto de azoteas de hormigón armado para cubierta de los pabellones laterales del edificio de viajeros de la Estación de Cartagena .Archivo de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[260] Proyecto de pisos y terraza de hormigón armado de la Estación de Granada. Archivo de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[261] *El Hormigón Armado,* nº 33, cuarto trimestre de 1906.

[262]*El Hormigón Armado,* nº 32, tercer trimestre de 1906.

[263] "Crónica e información. Depósito de agua para la Cooperativa eléctrica de Bilbao", publicado en *La Construcción Moderna*, año III, nº 1, Madrid, 15 de enero de 1905.

[264] "Casa para los servicios de la barra del Puerto de Huelva", publicado en *El Hormigón Armado,* año quinto, número 33, cuarto trimestre de 1906.

[265] "Las nuevas escuelas municipales de Bilbao", publicado en *La Construcción Moderna*, año III, nº 18, Madrid, 30 de septiembre de 1905.

[266] "Nuevo lavadero modelo de Bilbao", publicado en *El Hormigón Armado,* año quinto, nº 32, tercer trimestre de 1906.

[267] "Crónica e información. Obras de cemento armado en Bilbao", publicado en *La Construcción Moderna*, año IV, nº 3. Madrid, 15 de febrero de 1906.

[268] "La Alhóndiga Central de Bilbao", publicado en *El Hormigón Armado,* año quinto, nº 32, tercer trimestre de 1906.

[269] "Acta de los ensayos de resistencia de la cubierta del almacén de la Papelera Española, en la fábrica de Rentería", publicado en *El Hormigón Armado,* año sexto, nº 36, tercer trimestre de 1907.

[270] "Compañías constructoras españolas. Desarrollo del cemento armado en España", publicado en *La Construcción Moderna*, año V, nº 2. Madrid, 30 de enero de 1907.

[271] *El Hormigón Armado,* nº 35, año sexto, segundo trimestre de 1907.

[272] "Crónica e información. Société Générale des Ciments Portland de Sestao", publicado en *La Construcción Moderna*, año V, nº 12. Madrid, 30 de junio de 1907.

[273] "La fábrica de la Cristalera Española en Arija", publicado en *El Hormigón Armado,* año sexto, nº 37, cuarto trimestre de 1907.

[274] "El monasterio de Viaceli en Cóbreces, Santander", publicado en *El Hormigón Armado,* año sexto, nº 35, segundo trimestre de 1907.

[275] J. Cárcamo y J. Rosell: *La fábrica Ceres de Bilbao. Los orígenes del hormigón armado y su introducción en Bizkaia.* p.108.

[276] Hoyo Aparicio, Andrés y Sazatornil, Ruiz, Luís: *Santander, fin de siglo.* Santander, Xavier Agenjo Bullón/Manuel Suárez Cortina editores, 1998. p.p. 421, 422.

[277] "Estación de Santander (Ferrocarril de la Costa)". En *La Construcción Moderna*, año VI, nº 4. Madrid, 29 de febrero de 1908.

[278] "Compañías constructoras. Desarrollo del cemento armado en España". En *La Construcción Moderna*, año v, nº 2, 30 de enero de 1907.

[279] "Pilotes de hormigón armado para la Sociedad Nueva Montaña de Santander". En *La Construcción Moderna*, año V, nº 12. Madrid, 30 de junio de 1907.

[280] Diz Bercédoniz, Manuel: "Aplicaciones del hormigón armado". En la *Revista de Obras Públicas*, año L, número 1392. Madrid, 29 de mayo de 1902.

[281] "Puente en arco de veinte metros de luz". En *El Hormigón Armado*, año sexto, nº 34, primer trimestre de 1907.

[282] "Puente sobre el río Boeza en Bembibre". En *El Hormigón Armado*, año sexto, nº 34, primer trimestre de 1907

[283] Ribera: *Puentes de fábrica y hormigón armado.* 1934. Tomo IV, p. 76.

[284] Proyecto de puente de hormigón armado sobre el río Ebro, en el camino vecinal de Calahorra a San Adrián.106. Archivo General del Reino de Navarra.

[285] Proyecto de reparación del puente de la Toja. 1959. Se conserva en el Archivo Histórico Provincial de Pontevedra.

[286] Así consta en una nota sobre los servicios prestados por Lizundia a la compañía de Sestao, que fue emitida por Eugenio Grimal en octubre de 1910.

[287] Colás, Enrique: "Puente de hormigón armado en Liédena (Navarra)", publicado en la *Revista de Obras Públicas.* Año LV, número 1696. Madrid, 26 de marzo de 1908.

[288] "Crónica e información. Société Génerale des Ciments Portland de Sestao", publicado en *La Construcción Moderna*, año VIII, nº 16. Madrid, 30 de agosto de 1910.

[289] Colás, Enrique: "¿A qué es debido el desarrollo de las obras de hormigón y cemento armado?, publicado en *La Construcción Moderna,* año VII, nº 14. Madrid, 15 d agosto de 1909.

[290] La memoria del proyecto se conserva en el Archivo Histórico de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[291] Expediente de contratación de un puente sobre el río Caudal en Ujo. Se conserva en el Ayuntamiento de Mieres.

[292] Proyectos de puentes sobre el río San Juan en las calles Alejandro Pidal y Ernesto Gilhou. 1909, con su expediente de ejecución. Se conservan en el Archivo Municipal de Mieres.

[293] El expediente del concurso se conserva en el Archivo Histórico de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[294] Gallego Ramos, Eduardo: *Estudios y tanteos. Cemento armado (Cálculo y aplicaciones).* Madrid, establecimiento tipográfico de Antonio Marzo, 1918. p. 27.

[295] "Pruebas de resistencia en el nuevo teatro Odeón", en *La Construcción Moderna*, año XV, nº 6. Madrid, 30 de marzo de 1917.

[296] Gallego Ramos, Eduardo: "El hormigón armado en España. Pruebas de resistencia en la nueva Plaza de Toros de Sevilla", publicado en *La Construcción Moderna*, año XVI, nº 10. Madrid, 30 de mayo de 1918.

[297] Rojo Cajigal, Juan Carlos: *Respuestas empresariales en el País Vasco ante la crisis económica de 1921*. Madrid, Universidad Carlos III, 2004. p.12.

[298] Anasagasti, Teodoro: "Monumental Cinema", en *La Construcción Moderna*, año XX, nº 21. Madrid, 15 de noviembre de 1923.

[299] Colás, Enrique: "Zafra", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXXI, número 2380. Madrid, 1 de mayo de 1923.

[300] "Información industrial. Noticias. Comisiones disueltas", publicado en *Ingeniería,* año VIII, nº 253. Madrid, 10 de abril de 1912.

[301] Colás Arias, Enrique: "Un nuevo puente sobre el río Tajo en Serradilla (Cáceres)", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXXVII, nº 2522. Madrid, 1 de abril de 1929.

[302] Sáenz Ridruejo, Fernando: *Los Ingenieros de caminos.* Madrid, C.I.C.C.P., 1993.

[303] Zafra y Estaban, Juan Manuel de: "Carretillas de gran capacidad", publicado en la *Revista de Obras Públicas.* Año XLIV, número 1139. Madrid, 22 de julio de 1897.

[304] Zafra, Juan Manuel de: *Los progresos de la Construcción y de la Mecánica aplicada. Discurso leído en el acto de su recepción en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.* Madrid, Imprenta Clásica Española, 1919. p. p. 9-10.

[305] Zafra, Juan Manuel de: *Construcciones de hormigón armado*. Madrid, Imprenta de V. Tordesillas, 1911. p.7.

[306] Patente de invención nº29863, por un *Sistema de placas bombeadas de hormigón armado*. Mayo de 1902. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

[307] Patente de invención nº29864, por un *Sistema de piezas de hormigón armado para trabajar por flexión*. Mayo de 1902. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

[308] Patente de invención nº29865, por un *Sistema de vigas-suelo de hormigón armado*. Mayo de 1902. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

[309] Patente de invención nº29866, por un *Sistema de piezas de hormigón armado para trabajar por compresión*. Mayo de 1902. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

[310] "Canal de Isabel II. Concurso para la cubierta y pilares del Tercer Depósito. Informe de los ingenieros Sres. Santa María y Prieto", publicado en la la *Revista de Obras Públicas*. Año LI, número 1444. Madrid, 28 de mayo de 1903.

[311] García, Manuel; García, Gonzalo y Calvo, Miguel: "Minas de Cala. El hierro con cobre", publicado en *Bocamina, Revista de Minerales y Yacimientos de España.* Número 12. Madrid, octubre de 2003.

[312] Zafra, Juan Manuel de: "Embarcadero de hormigón armado en el Guadalquivir", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LIII, número 1573. Madrid, 16 de noviembre de 1905.

[313] Zafra, Juan Manuel de: "Viaducts et appontement en béton armé pour les mines de fer de Cala (Espagne)", publicado en *Le Génie Civil,* nº 1228. Paris, 23 de diciembre de 1905.

[314] Zafra, Juan Manuel de: "Nuevo embarcadero de hormigón armado sobre el Guadalquivir", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LVIII, número 1806. Madrid, 5 de mayo de 1910.

[315] Zafra, Juan Manuel de:"Puentes de hormigón armado para ferrocarril", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LVIII, número 1833. Madrid, 10 de noviembre de 1910.

[316] Zafra, Juan Manuel de: "Proyecto General de Obras de Fábrica y Puentes para la línea de Málaga a Torre del Mar. Modificaciones de detalle". Archivo General de la Administración. Sección de Obras Públicas, legajo 8095.

[317] Zafra, Juan Manuel de: "Proyecto de puente sobre el río de Vélez. Compañía de los Ferrocarriles Suburbanos de Málaga. Línea de Málaga a Torre del Mar". Enero de1907. Archivo General de la Administración. Sección de Obras Públicas, legajo 8094.

[318] Zafra, Juan Manuel de:"Puentes de hormigón armado para ferrocarril", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LVIII, número 1833. Madrid, 10 de noviembre de 1910.

[319] Ribera, José Eugenio: *Puentes de Fábrica y de Hormigón Armado.* 1934. Tomo IV, p.41.

[320] Zafra, Juan Manuel de: *Construcciones de hormigón armado.* 1911. p.8.

[321] Zafra, Juan Manuel de: *El hormigón armado y los grandes embalses.* 1912.p.p. 6, 111, 112.

[322] Montenegro, F.: "Muelles de fábrica sobre terrenos de escasa resistencia", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LX, número 1909. Madrid, 25 de abril de 1912.

[323] Zafra, Juan Manuel de: "El hormigón armado. Formulas –recetas y formulas racionales-experimentales", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LX, número 1910. Madrid, 2 de mayo de 1912.

[324] Hennebique, François: "Sobre hormigón armado", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LX, número 1928. Madrid, 5 de septiembre de 1912.

[325] Zafra, Juan Manuel de: "El hormigón armado", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LX, número 1929. Madrid, 12 de septiembre de 1912.

[326] Maluquer, Manuel: "Zafra", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXIV, número 2137. Madrid, 7 de septiembre de 1916.

[327] Maluquer, Manuel:"Zafra", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXVII, número 2269. Madrid, 20 de marzo de 1919.

[328] "Zafra", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXVII, número 2269. Madrid, 20 de marzo de 1919.

[329] Colás, Enrique: "Zafra", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXXI, número 2380. Madrid, 1 de mayo de 1923.

[330] Rebollo Canales, Gabriel: "Construcciones en hormigón armado sistema Hennebique. El puente sobre el río Caudal en Mieres", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año XLVIII, número 1340. Madrid, 30 de mayo de 1901.

[331] Olaizola Elordi, Juan José: *El tranvía de Arratia (1902-1964).* Bilbao, BBK, 2004. p.53.

[332] Rebollo Canales, Gabriel: *Proyecto de puente en hormigón armado sobre el río Nervión en Bilbao"*. Madrid, 21 de agosto de 1902.

[333] Olaizola Elordi, Juan José: *El tranvía eléctrico de Bilbao a Durango y Arratia).* Bilbao, Eusko Trenbideak, 2000. p.132.

[334] Patentes 30145 y 30416, respectivamente. Se conservan en el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

[335] Anuncio de Rebollo, Estibaus y Compañía publicado en el *Boletín Industrial, órgano oficial de la asociación de ingenieros industriales*. Año I, nº 1. 1905.

[336] *Le Béton Armé,* nº 56, enero de 1903.

[337] Navarro, Feliciano: "Puentes de hormigón armado", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LIII, nº 1529. Madrid, 12 de enero de 1905.

[338] "Crónica e información. Puente del Bogatell", publicado en *La Construcción Moderna.* Año II, nº 17. Madrid, 15 de septiembre de 1904.

[339] "Lo que son los concursos en España", publicado en *La Construcción Moderna*, año II, nº 15. Madrid, 15 de agosto de 1904.

[340] Anuncio publicado en el *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* de 1905.

[341] Proyecto de variación de emplazamiento del puente sobre el río Isuela en el origen del trozo y reformado general comparativo del mismo. Carretera de 3^{er}orden de Huesca a la Estación de Sabiñánigo. Emilio Monterde, ingeniero. Archivo Histórico Provincial de Huesca.

[342] Ribera, José Eugenio: *Puentes de fábrica y de hormigón armado.* Tomo IV. Madrid, Sucesores de Rivadeneyra, 1932. p.160.

[343] Rebollo Canales, Gabriel: "Los ferrocarriles en construcción y el paro obrero", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXXXIII, nº 2678. Madrid, 1 de octubre de 1935.

[344] Bravo Nieto, Antonio: "La construcción de una ciudad europea en el contexto norteafricano". Málaga, Servicio de Publicaciones de la Ciudad Autónoma de Melilla y de la Universidad de Málaga. Junio de 1996.

[345] Ribera, José Eugenio en el Prologo al libro de Luengo, J. y González, A. *Cementos Armados.* Madrid, Bailly-Baillière, 1900.

[346] Jalvo, Mauricio: "Depósitos de agua", publicado en el *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña.* Barcelona, 1901.

[347] *Expediente del señor Conde de Vilana solicitando licencia para construir unas cocheras en un solar de la calle de Zurbarán, nº 5*. 1901. Archivo de Villa.(Madrid). Legajo 13-404-23

[348] Patente de invención nº 30662, por un *Nuevo procedimiento de construcciones con hormigón armado*. Noviembre de 1902. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

[349] "Canal de Isabel II. Concurso para la cubierta y pilares del Tercer Depósito", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LI, nº 1444. Madrid, 28 de mayo de 1903.

[350] Jalvo, Mauricio: "El hormigón armado, patente Jalvo", publicado en *La Construcción Moderna.* Año II, nº 3*.* Madrid, 15 de febrero de 1904.

[351] Jalvo, Mauricio: *Hormigón Armado. Manual práctico del constructor.* Madrid, Librería Guttenberg, 1903

[352] "Crónica e información. Una nueva fábrica de hormigón armado". Publicado en *La Construcción Moderna.* Año II, nº 21. Madrid, 15 de noviembre de 1904.

[353] "El cemento armado en el VI Congreso Internacional de Arquitectos", publicado en *El Cemento Armado,* año IV, nº4. Madrid, abril de 1904.

[354] *Expediente de Doña María G.de Maritorena, viuda de Rolland, solicitando tira de cuerdas y construcción de dos casas en un solar de la calle de Hermosilla, nº 10.* 1904. Archivo de Villa (Madrid), legajo 16-281-22.

[355] *Expediente de D. Álvaro Manso de Zúñiga, solicitando licencia para obras de ampliación en el hotel situado en el nº 12 de la calle del Príncipe de Vergara.* 1905. Archivo de Villa (Madrid). Legajo 16-48-78.

[356] Da Rocha Aranda Oscar: *El modernismo en la arquitectura madrileña. Génesis y desarrollo de una opción ecléctica.* Tesis doctoral presentada en 2005 en la E.T.S. de Arquitectura de Madrid. p.p. 415-417.

[357] *Expediente instruido por D. Francisco Largo Caballero para tira de cuerdas en la fachada de la Calle Góngora correspondiente a la casa nº 2 de la calle del Piamonte y ejecutar obras de reforma en la misma. Proyecto de salón de reuniones propiedad de las Sociedades Obreras en la Calle de Gravina nº 5.* 1907. Archivo de Villa (Madrid). Legajo 13-404-23.

[358] "Crónica e información", publicado en *La Construcción moderna*, año XV, nº 7. Madrid, 15 de abril de 1917.

[359] Jalvo, Mauricio: *Proyecto de adaptación definitiva de los nuevos locales del Tesorillo.* 1929. Archivo Central de Melilla, caja 23, exp. 433.

[360] Gallego Ramos, Eduardo: *Ligera idea de las campañas sostenidas en Mindanao durante la dominación española.* Madrid, Imprenta del Cuerpo de Artillería, 1899.

[361] Gallego Ramos, Eduardo: "Pisos mixtos de hierro y cemento armado", publicado en *La Construcción Moderna.* Año II, nº 17. Madrid, 15 de septiembre de 1904.

[362] "La industria y las obras públicas. El Metal Déployé en España", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año XLVII, nº 277. Madrid, 15 de marzo de 1900.

[363] García Benítez, José: "El pabellón de retretes del Cuartel de Artillería de Getafe", publicado en *La Construcción Moderna.* Año I, nº 12. Madrid, 30 de mayo de 1903.

[364] García Benítez, José: "Obras de cemento armado", publicado en *La Construcción Moderna.* Año I, nº 1. Madrid, 15 de enero de 1903.

[365] Patente de invención nº 30.901, por un *sistema de cemento armado zunchado,* presentada por la Sociedad de Aplicaciones de Ingeniería el 20 de diciembre de 1902. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

[366] Gallego Ramos, Eduardo:"Las piezas aisladas de cemento armado y las vigas huecas, sistema Siegwart", publicado en *La Construcción Moderna.* Año II, nº 15. Madrid, 15 de agosto de 1904.

[367] Gallego ramos, Eduardo:"Cálculo y aplicaciones de los arcos Golding", publicado en *La Construcción Moderna.* Año IV, nº 12. Madrid, 30 de junio de 1906.

[368] Gallego Ramos, Eduardo: "El hormigón armado y la construcción en Madrid, publicado en *La Construcción Moderna.* Año XI, nº 4. Madrid, 28 de febrero de 1913.

[369] Gallego Ramos, Eduardo: "Pilares de hormigón sunchado", publicado en *La Construcción Moderna.* Año XV, nº 13. Madrid, 15 de julio de 1917.

[370] Gallego Ramos, Eduardo: "El hormigón armado en España. Una aplicación práctica", publicado en *La Construcción Moderna.* Año XVI, nº 16. Madrid, 30 de agosto de 1918.

[371] Gallego Ramos, Eduardo: *Estudios y tanteos. Cemento armado, cálculo y aplicaciones".* Madrid, Establecimiento Tipográfico de Antonio Marzo, 1918. p. 43.

[372] Luiña, Mariano: "El sifón de Albelda en el Canal de Aragón y Cataluña", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LVIII, nº 1816. Madrid, 14 de julio de 1910.

[373] Luiña, Mariano y Ribera, José Eugenio: *Proyecto de puente sobre el río Jarama.* 1909. Archivo General de la Administración, Fondo de obras públicas, legajo 21382.

[374] "Nuevo Puente de Elche", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXI, nº 1961. Madrid, 24 de abril de 1913.

[375] Hué Herrero, Fernando: "El Viaducto de Teruel", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXIX, nº 2583. Madrid, 15 de octubre de 1913.

[376] Bassegoda Novell, Juan: *Aproximación a Gaudí.* Madrid, Doce Calles, 1992. p.137.

[377] "El cemento armado en España", publicado en la *Revista de Arquitectura*. Publicado por Construcciones y Pavimentos hacia 1915. p. 183.

[378] "Información industrial. Sociedades nuevas. Construcciones y Pavimentos", publicado en *Ingeniería,* año VII, nº 244. Madrid, 10 de enero de 1912.

[379] *Le Béton Armé,* nº 183, agosto de 1913.

[380] Urrutia, Ángel: *Arquitectura Española. Siglo XX.* Madrid, Ediciones Cátedra*, 2003.* p.27.

[381] "Información industrial. Noticias. Nuevo hotel en Madrid", publicado en *Ingeniería*, año VI, nº 205. Madrid, 10 de diciembre de 1910

[382] "Le Béton Armé à Barcelone. Les ateliers de Carrosserie Farré", publicado en *Le Béton Armé*, nº 177, febrero de. 1913.

[383] "El cemento armado en España", publicado en la *Revista de Arquitectura*. Publicado por Construcciones y Pavimentos hacia 1915. p. 251.

[384] Gallego Ramos, Eduardo: *Estudios y tanteos. Cemento armado (Cálculo y aplicaciones).* Madrid, establecimiento tipográfico de Antonio Marzo, 1918. p. 31.

[385] Ribera, José Eugenio: *Puentes de Fábrica y de Hormigón Armado.* 1934. Tomo IV, p.3.

[386] "Viaducto de San Juan de las Abadesas, de hormigón armado, con articulaciones Mesnager", publicado en la *Revista de Obras Públicas*. Año LXXII, nº 2406. Madrid, 1 de junio de 1924.

[387] Ribera, José Eugenio: *Puentes de Fábrica y de Hormigón Armado.* 1934. Tomo IV, p.162.

[388] "El cemento armado en España", publicado en la *Revista de Arquitectura*. Publicado por Construcciones y Pavimentos hacia 1915.p. 187

[389] Capmany, J.: "Los buques de hormigón armado", publicado en *La Construcción Moderna.* Año XVI, nº 6. Madrid, 30 de marzo de 1918.

[390] "Las embarcaciones de hormigón armado en España", publicado en *La Construcción Moderna.* Año XVI, nº 17. Madrid, 15 de septiembre de 1918.

[391] "Crónica e Información. Constitución de Sociedades", publicado en *La Construcción Moderna.* Año XVI, nº 19. Madrid, 15 de octubre de 1918.

[392] "El cemento armado en España", publicado en la *Revista de Arquitectura*. Publicado por Construcciones y Pavimentos hacia 1915 .p. 221.

[393] Homs Moncusí, Lluís: *Proyecto de pasarela en hormigón armado sobre el río Oñar en Gerona.* 20 de noviembre de 1914. Arxiu Municipal de Girona,

[394] Ribera, José Eugenio: *Puentes de Fábrica y de Hormigón Armado.* 1934. Tomo IV, p.165.

[395] Expediente de construcción de la pasarela sobre el río Oñar. 1914-1915. Arxiu Municipal de Girona.

[396] Seco de la Garza, Ricardo: *Cemento Armado. Cálculo rápido. Datos prácticos.* Madrid, P. Orrier editor, 1910. p.9.

[397] Seco de la Garza, Ricardo: "Detalles prácticos de la construcción de obras de cemento u hormigón de cemento y hierro", publicado en el *Memorial de Ingenieros del Ejército*, año LV, nº V. Madrid, mayo de 1900

[398] Seco de la Garza, Ricardo: "Aplicaciones militares de los hormigones armados", publicado en el *Memorial de Ingenieros del Ejército*, año LV, nº IX. Madrid, septiembre de 1900

[399] Seco de la Garza, Ricardo: *El cemento armado en sus aplicaciones militares.* Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros del Ejército, 1903.

[400] Seco de la Garza, Ricardo: "Postes de hormigón armado", publicado en el *Memorial de Ingenieros del Ejército*, año LVII, nº XI. Madrid, noviembre de 1902.

[401] *Le Béton Armé,* nº 40, septiembre de 1901.

[402] *Le Béton Armé,* nº 52, septiembre de 1902.

[403] "Una obra notable de cemento armado. El depósito para el abastecimiento de agua de Calahorra", publicado en *La Construcción Moderna.* Año III, nº 18. Madrid, 30 de septiembre de 1903.

[404] Ortega, Federico: "Un gobernador modelo", publicado en *El Magisterio Valenciano.* Año XXXVII, numero 1852. Valencia, 3 de octubre de 1914.

[405] Tejón y Marín, Juan: *Discurso leído ante la Real Academia de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes de Córdoba el 21 de junio de 1902 en su recepción como académico de número.* Córdoba, Imprenta del Diario de Córdoba, 1902.

[406] Diario de Córdoba, 10 de febrero de 1901.

[407] "Aplicaciones militares del cemento armado", publicado en *El Cemento Armado,* año I, nº2. Madrid, febrero de 1901.

[408] Tejón y Marín,Juan: "Una nueva aplicación del Metal Deployé", publicado en *El Cemento Armado,* año II, nº11. Madrid, noviembre de 1902.

[409] Sáiz, A: "Depósito de agua de la Fábrica de electricidad de Almería", publicado en *El Cemento Armado,* año I, nº1. Madrid, 31 de enero de 1901.

[410] "Las Industrias de la construcción en la Exposición de productos sevillanos", publicado en *La Construcción Moderna*, año III, nº 11. Madrid, 15 de junio de 1905.

[411] "Las Industrias de la construcción en la Exposición de productos sevillanos", publicado en *La Construcción Moderna*, año III, nº 12. Madrid, 30 de junio de 1905.

[412] Sáinz de los Terreros, Luís: "Arquitectura contemporánea. Casa propiedad de D. Braulio Echeverría (San Sebastián), publicado en *La Construcción Moderna,* año IV, nº 4. Madrid, 28 de febrero de 1906.

[413] "Obras del Canal de Aragón y Cataluña, publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LIV, nº 1601. Madrid, 31 de mayo de 1906.

[414] "El Canal de Aragón y Cataluña", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LIV, nº 1598. Madrid, 10 de mayo de 1906.

[415] "Exposición Hispano-Francesa. Canal de Aragón y Cataluña", publicado en la *Revista de Obras Públicas.* Año LVI, nº 1719. Madrid, 3 de septiembre de 1908.

[416]Noguera, Cayetano: "Proyecto de paso superior en el kilómetro 105,566 de la línea de Plasencia a Astorga. Memoria".20 de mayo de 1910. Archivo Histórico Ferroviario. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[417] Expediente del concurso para redacción del proyecto y ejecución de un paso superior en el kilómetro 12,370 de la línea de Ferrocarril de Madrid a Cáceres y Portugal". 1914. Archivo Histórico Ferroviario. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[418] Carta de Agustín de Jubera al ingeniero jefe de la cuarta División técnica y administrativa de ferrocarriles, Sevilla. Málaga, 27 de abril de 1906. Archivo Histórico Ferroviario. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[419] Jubera, Agustín:"Proyecto de puente de cemento armado en el kilómetro 148,060 de la línea de Sevilla a Jerez y Cádiz". 25 de abril de 1911. Archivo Histórico Ferroviario. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[420] Jubera, Agustín:"Proyecto de construcción de un depósito de cemento armado de 150 m^3 de capacidad en la Estación de Málaga". 26 de marzo de 1913. Archivo Histórico Ferroviario. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[421] Ansorena, Pedro: "Tageas tubulares de cemento armado de 0,60 m y 1,00 m de luz. Ramal a Baena. Línea Puente Genil a Linares". 11 de marzo de 1915. Archivo Histórico Ferroviario. Fundación de los Ferrocarriles Españoles..

[422] Ansorena, Pedro: "Alcantarilla de 2,00 m de luz. Ramal a Baena. Línea Puente Genil a Linares". 11 de marzo de 1915. Archivo Histórico Ferroviario. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[423] Sazatornil Ruíz, Luis: *Arquitectura y desarrollo urbano de Cantabria en el siglo XIX.* Santander, Universidad de Cantabria, 1996. p. 151.

[424] Molina Cobos, Antonio: *Descripción de seis puentes de Málaga.* Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, C.C. Y P.P., 1987.p.p. 89-107.

[425] García Faria, Pedro: "Viaje del "xcmo. Señor Ministro de Fomento a Málaga y el Norte de África", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LVIII, nº 1793. Madrid, 3 de febrero de 1910.

[426]Manrique de Lara, Francisco: "Puente de hormigón de cemento armado sobre el cauce de riego de Tiata en la Vega de Lorca, publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LVIII, nº 1830. Madrid, 20 de octubre de 1910.

[427] Guerra de la Vega, Ramón: *Madrid, guía de arquitectura (1800-1919).* Madrid, Edición del Autor, 1980. p.78.

[428] Gallego Ramos, Eduardo: "Aplicaciones prácticas. El cemento armado en España", publicado en *La Construcción Moderna*, año VIII, nº 15. Madrid, 15 de agosto de 1910.

[429] Urrutia, Ángel: *Arquitectura española. Siglo XX.* Madrid, Cátedra, 2003. p.133

[430] Gallego Ramos, Eduardo: "El hormigón armado y la construcción en Madrid", publicado en *La Construcción Moderna*, año XI, nº4. Madrid, 28 de febrero de 1913.

[431] Gallego Ramos, Eduardo: "Dos obras interesantes de hormigón armado", publicado en el *Memorial de Ingenieros del Ejército,* año LXVII, Nº XII. Madrid, diciembre de 1912.

[432] Gallego Ramos, Eduardo:"Mejoras urbanas en San Sebastián. Obras y Proyectos", publicado en *La Construcción Moderna*, año XV, nº 17. Madrid, 15 de septiembre de 1917.

[433] "Inauguración del Templo de la Sagrada Familia en Bilbao", publicado en *La Construcción Moderna*, año XV, nº 6. Madrid, 30 de marzo de 1917.

[434] Gallego Ramos, Eduardo: "La construcción con bloques de cemento", publicado en *La Construcción Moderna*, año XII, nº7. Madrid, 15 de abril de 1914.

[435] Gallego Ramos, Eduardo:"Postes huecos de cemento armado", publicado en *La Construcción Moderna*, año VIII, nº23. Madrid, 30 de diciembre de 1910.

[436] Sarría, Ramón: "Depósitos cilíndricos de hormigón armado", publicado en *La Construcción Moderna*, año VIII, nº24. Madrid, 15 de diciembre de 1910.

[437] "Postes de cemento armado", publicado en *La Construcción Moderna*, año XI, nº 3. Madrid, 15 de febrero de 1913.

[438] Blanco y Nebot: "Las viguetas Leo, de cemento armado", publicado en *La Construcción Moderna*, año XVI, nº 4. Madrid, 28 de febrero de 1918.

[439] Gallego Ramos, Eduardo: "El hormigón armado en España. El nuevo sistema Piso Rápido", publicado en *La Construcción Moderna*, año XX, nº 2. Madrid, 30 de enero de 1922.

[440] López Franco, Antonio: "Una nueva fábrica de cemento Portland. Memoria presentada en la sección de ciencias aplicadas del Congreso de Ciencias de Valladolid", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXIV, nº 2107. Madrid, 10 de febrero de 1916

[441] "Crónica e información. Notas de actualidad", publicado en *La Construcción Moderna*, año XVI, nº 21. Madrid, 15 de noviembre de 1918.

[442] Díez Elcuaz, José Ignacio: *Arquitectura y urbanismo en Salamanca (1890-1939).* Tesis doctoral leída en la Universidad de Salamanca en enero de 2001.

[443] "El cemento armado en España", publicado en *La Construcción Moderna*, año XVII, nº 13. Madrid, 15 de julio de 1919.

[444] Camiña, Luís: "Puerto de Bilbao. Muelle longitudinal de atraque en Abando", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXV, nº 2186. Madrid, 16 de agosto de 1917.

[445] "El hormigón armado en España", publicado en *La Construcción Moderna*, año XVII, nº 3. Madrid, 15 de febrero de 1919.

[446] Gallego, Eduardo: "Aplicaciones del hormigón armado Depósitos rectangulares", publicado en *La Construcción Moderna*, año XVII, nº 4. Madrid, 28 de febrero de 1919.

[447] Monfort, Arturo: "Puente de hormigón armado sobre el río Júcar en Jalance (Valencia)", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXV, nº 2166. Madrid, 29 de marzo de 1917.

[448] Sainz, Jose Mª: "Puente sobre el río Pisuerga para el camino vecinal de Soto de Cerrato a la carretera de San Isidro de Dueñas a Burgos", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXV, nº 2205. Madrid, 27 de diciembre de 1917.

[449] Murúa, Julio: Barca de hormigón armado para el Canal de Castilla", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXVI, nº 2245. Madrid, 3 de octubre de 1918.

[450] Murúa, Julio: "Posibilidad de construir coches y vagones de cemento armado", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXVIII, nº 2347. Madrid, 16 de septiembre de 1920.

[451] "Obras Públicas en Marruecos", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LVII, nº 1778. Madrid, 21 de octubre de 1909.

[452] Bravo Nieto, Antonio: *La construcción de una ciudad europea en el contexto norteafricano.* Málaga, Servicio de Publicaciones de la Ciudad Autónoma de Melilla y de la Universidad de Málaga, 1996. *p.126.*

[453] Archivo central de Melilla.

[454] Bravo Nieto, Antonio: *La construcción de una ciudad europea en el contexto norteafricano.* Málaga, Servicio de Publicaciones de la Ciudad Autónoma de Melilla y de la Universidad de Málaga, 1996. p.251.

[455] Bravo Nieto, Antonio: *La construcción de una ciudad europea en el contexto norteafricano.* Málaga, Servicio de Publicaciones de la Ciudad Autónoma de Melilla y de la Universidad de Málaga, 1996. *p. 251.*

[456] Moreno Lázaro, Tomás: "Proyecto de depósitos de agua en el barrio de la Reina Regente". 1921-28. Archivo Central de Melilla. Leg. 274.

[457] Bravo Nieto, Antonio: *La ciudad de Melilla y sus autores*. Servicio de Publicaciones de la Ciudad Autónoma de Melilla. Melilla, 1997.p. 55.

[458] Archivo central de Melilla. Fondo 2.4.1. Caja 015. Exp. 00274.

[459] Gallego Ramos, Eduardo:"Aplicaciones del hormigón armado", publicado en *La Construcción Moderna*, año XVII, nº5. Madrid, 15 de marzo de 1919.

[460] Gallego, Manuel:"Mejoras urbanas en Alcazarquivir (Marruecos)", publicado en *La Construcción Moderna*, año XV, nº 16. Madrid, 30 de agosto de 1917.

[461] "El cemento armado en España", publicado en la *Revista de Arquitectura*. Publicado por Construcciones y Pavimentos hacia 1915. p.p. 236-237.

[462] Bravo Nieto, Antonio: *Arquitectura y urbanismo español en el norte de Marruecos*. Junta de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Sevilla, 2001.p. 160.

[463] Gallego, Manuel: "Puente colgante sobre el Lucus (Larache), publicado en *La Construcción Moderna*, año XII, nº 7. Madrid, 15 de abril de 1914.

[464] Archivo central de Melilla. Fondo 2.4.1. Caja 037. Exp. 00793.

[465] Bravo Nieto, Antonio: *La ciudad de Melilla y sus autores*. Servicio de Publicaciones de la Ciudad Autónoma de Melilla. Melilla, 1997.p.p. 147-148.

[466] Bravo Nieto, Antonio: *Arquitectura y urbanismo español en el norte de Marruecos*. Junta de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Sevilla, 2001. p.p. 44-48.

[467] "El puente sobre el Kert", publicado en *El telegrama del Rif*. Año XVI, número 10.037. Melilla, 17 de mayo de 1917.

[468] Del Pozo, Mariano: "Proyecto de puente sobre el Río de Oro en Melilla". 1922. Archivo Central de Melilla. Fondo 2.4.1. Caja 022. Exp. 00412.

[469] Bravo Nieto, Antonio: *La construcción de una ciudad europea en el contexto norteafricano.* Málaga, Servicio de Publicaciones de la Ciudad Autónoma de Melilla y de la Universidad de Málaga, 1996. p.252.

[470] San Martín, Ginés: "Historia del Cargadero de Mineral de Melilla", publicado en *Akros, la revista del Museo,* año 2006, número 5. Melilla, 2006.

[471] Vidal Pérez, José Manuel y Alberich González, Joan: *Los ferrocarriles en los protectorados y colonias españolas en África.* Madrid, Monografías del Ferrocarril, 2004.

[472] "Hormigón armado. Importante Real Decreto. Exposición", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXV, nº 2176. Madrid, 7 de junio de 1917.

[473] Peña Boeuf, Alfonso: "Cálculo de resistencia de placas", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LX, nº 1911. Madrid, 9 de mayo de 1912.

[474] Peña Boeuf, Alfonso: *Hormigón armado.* Madrid, Talleres Gráficos Herrera, 1933.

[475] Peña Boeuf, Alfonso: "Puente de la Presa (Navarra)", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXIV, nº 2150. Madrid, 7 de diciembre de 1916.

[476] Peña Boeuf, Alfonso: "Presa de contrafuertes de 90 m de altura", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXV, nº 2177. Madrid, 14 de junio de 1917.

[477] Peña Boeuf, Alfonso: "Barco-pontón de hormigón armado de 700 toneladas de carga", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXVIII, nº 2360. Madrid, 16 de diciembre de 1920.

[478] Peña Boeuf, Alfonso: "El acueducto de Tardienta", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXXIII, nº 2666. Madrid, 1 de abril de 1935.

[479] Ribera, José Eugenio: *Puentes de fábrica y de hormigón armado. Tomo IV.* Madrid, Artes Gráficas Sucesores de Rivadeneyra, 1931. p.267

[480] Ribera, José Eugenio: *Puentes de fábrica y de hormigón armado. Tomo IV.* Madrid, Artes Gráficas Sucesores de Rivadeneyra, 1931. p.268

[481] González Quijano, Pedro: "Sifón del Guadalete", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXI, nº 2393. Madrid, 15 de noviembre de 1923.

[482] Marquina, Javier: "Puente de 72 metros de luz sobre el río Nalón en San Román de Cándamo, provincia de Oviedo", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXI, nº 2392. Madrid, 1 de noviembre de 1923.

[483] Ribera, José Eugenio: *Puentes de fábrica y de hormigón armado. Tomo IV.* Madrid, Artes Gráficas Sucesores de Rivadeneyra, 1931. p.p. 92-104.

[484] López Rodríguez, José:"Puente sobre el río Andarax (o Almería), en la carretera de Almería a la Cuesta de los Castaños, por Níjar", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXV, nº 2469. Madrid, 15 de enero de 1927.

[485] García Agustín, José: "Puente de Alfonso XIII sobre el Luccus, en Larache", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXVII, nº 2518. Madrid, 1 de febrero de 1929.

[486] López Rodríguez, José: "Dos puentes sobre el río Almanzora en la carretera de Baza a Huercal-Overa (Almería)", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXVIII, nº 2540. Madrid, 1 de enero de 1930.

[487] Ribera, José Eugenio: *Puentes de fábrica y de hormigón armado. Tomo IV.* Madrid, Artes Gráficas Sucesores de Rivadeneyra, 1931. p.113.

[488] Salvatierra Iriarte, Cipriano: "Puente sobre el río Tajo en Alconétar", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXVI, nº 2499. Madrid, 15 de abril de 1928.

[489] Morales Lahuerta, Carlos: "Muro de hormigón armado para contención de terrenos corredizos", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXII, nº 2412. Madrid, 1 de septiembre de 1924.

[490] Mendizábal, Domingo: "Sustitución del puente metálico de la Rambla de Carricalejo por una obra de hormigón armado", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXIII, nº 2428. Madrid, 1 de mayo de 1925.

[491] Laffón, Alberto: "La generalización de los pisos de hormigón armado", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXI, nº 2384. Madrid, 1 de julio de 1923.

[492] Máximo, Celso: "Los entramados metálicos y los de hormigón", publicado en la revista *Arquitectura*, año IV, nº 44. Madrid, diciembre de 1922.

[493] "La construcción en Madrid. Inauguración del Palacio del Hielo", en *La Construcción Moderna*, año XX, nº 23. Madrid, 15 de diciembre de 1922.

[494] Bastida, Ricardo: "Proyecto de edificio para la sucursal del Banco de Bilbao en Madrid", publicado en *La Construcción Moderna*, año XVIII, nº 8. Madrid, 30 de abril de 1919.

[495] Otamendi, Joaquín y Palacios Ramilo, Antonio: "Proyecto de Ejecución de la Nueva casa de Correos de Madrid. Memoria". 1904. Citado en VVAA : *Antonio Palacios, constructor de Madrid.* Madrid, Ediciones La Librería, 2002. p.33.

[496] Ribera, José Eugenio: "El palacio del Círculo de Bellas Artes", en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXIV, nº 2453. Madrid, 15 de mayo de 1926.

[497] Franco, Antonio: "El hormigón armado y la edificación urbana", en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXI, nº 2384. Madrid, 1 de julio de 1923.

[498] "El nuevo edificio para el Banco Sobrinos de J. Pastor en La Coruña", en *La Construcción Moderna*, año XX, nº 7. Madrid, 15 de abril de 1922.

[499] Ucha Donate, Rodolfo: *50 años de arquitectura española (1900-1950).* Madrid, Adir Editores, 1980. pp 109-113.

[500] García Cordobés, Juan José: "Estructura de hormigón armado del Monumental Cinema", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXII, nº 2398. Madrid, 1 de febrero de 1924.

[501] Sáenz Ridruejo, Fernando: "Sánchez del Río y Fernández Casado, dos ingenieros de la Generación del 27". Actas del VIII Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas. Madrid, 2003.

[502] Sánchez del Río, Ildefonso: "El cuarto depósito de aguas, de Oviedo", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXVI, nº 2506. Madrid, 1 de agosto de 1928.

[503] Sánchez del Río, Ildefonso: "El cuarto depósito de aguas de Madrid", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXVIII, nº 2546. Madrid, 1 de abril de 1930.

[504] Ribera, José Eugenio: "Puentes de hormigón armado, con una sola articulación", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXIX, nº 2564. Madrid, 1 de enero de 1931.

[505] Sánchez del Río, Ildefonso: "Un paraguas de hormigón armado en Oviedo, o el ojo clínico del ingeniero", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXIX, nº 2578. Madrid, 1 de agosto de 1931.

[506] Sánchez del Río, Ildefonso: "El cuarto depósito de aguas de Oviedo y algunas consideraciones más", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXVIII, nº 2544. Madrid, 1 de marzo de 1930.

[507] Sánchez del Río, Ildefonso: "El mercado de Pola de Siero". Publicaciones de la revista técnica *Hormigón y Acero.* Instituto Técnico de la Construcción y Edificación. Madrid, curso de conferencias 1935-1936.

[508] Sáenz Ridruejo, Fernando: "Sánchez del Río y Fernández Casado, dos ingenieros de la Generación del 27". Actas del VIII Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas. Madrid, 2003.

[509] Fernández Casado, Carlos: "Colección de puentes de altura estricta", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXXII, nº 2637. Madrid, 15 de enero de 1934.

[510] Fernández Casado, Carlos: "El nuevo puente de Puerta de Hierro sobre el río Manzanares en Madrid", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXXII, nº 2653. Madrid, 15 de septiembre de 1934.

[511] Fernández Casado, Carlos: "El nuevo puente de Puerta de Hierro sobre el río Manzanares en Madrid", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXXII, nº 2654. Madrid, 1 de octubre de 1934.

[512] Sáenz Ridruejo, Fernando: *Los ingenieros de caminos*. Madrid, Colegio de ingenieros de caminos, 1993.

[513] Villalba Granda, César: "El puente sobre el río Guadalhorce en Pizarra, Málaga", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXXIV, nº 2693. Madrid, 15 de mayo de 1936.

[514] Villalba Granda, César: "El puente sobre el río Guadiana en Villanueva de la Serena", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXXI, nº 2618. Madrid, 1 de abril de 1933.

[515] Villalba Granda, César: "Puente de 538 m de longitud sobre el río Guadiana en Lobón(Badajoz)", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXXIII, nº 2663. Madrid, 15 de febrero de 1935.

[516] Villalba Granda, César: "El puente sobre el río Tajo en Alarza", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXVIII, nº 2544. Madrid, 15 de marzo de 1930.

[517] Diéguez Patao, Sofía: *La Generación del 25 Primera arquitectura moderna en Madrid.* Madrid, Cuadernos de Arte Cátedra, 1997. p. 210

[518] Fernández-Shaw, Casto: "Estación para el servicio de automóviles", publicado en *Arquitectura*, año IX, nº 100, agosto de 1927.

[519] Peña Boeuf, Alfonso: ·El Mercado de frutas y verduras de Madrid", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXXIII, nº 2660. Madrid, 1 de enero de 1935.

[520] De San Antonio Gómez, Carlos: *El Madrid del 27, arquitectura y vanguardia: 1918-1936.* Madrid, Consejería de Educación, 1999. p. 133.

[521] Eced, Vicente y Martínez-Feduchi, Luis: "El edificio Carrión", publicado en *Arquitectura*, año XVII, nº 1, enero-febrero de 1935.

[522] Fernández Ordoñez, José Antonio: Ensayo de introducción al Catálogo de la exposición "La modernidad en la obra de Eduardo Torroja". Madrid, Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 1979.

[523] Páez Balaca, Alfredo: "Cincuenta años de hormigón armado en España", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año CIV, nº 2892. Madrid, abril de 1956.

[524] Flores, Carlos: *Arquitectura Española Contemporánea, I 1880-1950.* Bilbao, Aguilar, 1961. p.p. 208-209.

[525] Torroja, Eduardo: "Las obras de fábrica para la urbanización de la Ciudad Universitaria", publicado en la *Revista de Obras Públicas*, año LXXXIII, nº 2674. Madrid, 1 de agosto de 1935.

[526] Torroja, Eduardo: "Los viaductos de la Ciudad Universitaria", publicado en *Arquitectura*, año XIV, n°s 163 y 164, noviembre y diciembre de 1932.

[527] Diéguez Patao, Sofía: *La Generación del 25 Primera arquitectura moderna en Madrid.* Madrid, Cuadernos de Arte Cátedra, 1997. p 301

[528] Urrutia, Ángel: *Arquitectura española. Siglo XX.* Madrid, Cátedra, 1997. p. 239.

ANEJOS DEL CAPÍTULO CUARTO

ANEJO 1:

BASE TEÓRICA Y EXPERIMENTAL

Aunque tenía características comunes con algunos de los procedimientos de construcción tradicionales, la técnica del hormigón armado tuvo que desarrollarse casi totalmente de forma original.

En lo relativo a su justificación teórica, la asociación de hierro y hormigón planteaba muchas incógnitas, relativas principalmente a la forma de trabajo de los elementos de ambos materiales y la contribución de cada uno a la resistencia de las piezas ante los diferentes esfuerzos. Otras cuestiones, como la adherencia entre ambos materiales o la resistencia al fuego, serían también objeto de profundo debate entre los "especialistas" del nuevo material. Muchos técnicos asumirían el reto de dar respuesta a estos interrogantes, pero, como es lógico, la teoría del hormigón armado necesitaría un tiempo para desarrollarse. Mientras tanto, las construcciones iban creciendo a un ritmo vertiginoso, teniendo que apoyarse casi exclusivamente sus creadores en el buen comportamiento de las obras ya ejecutadas. Así que, aunque no faltaron desarrollos teóricos muy válidos, en los comienzos la base para la construcción con hormigón armado fue esencialmente experimental.

Por el cambio de siglo, cuando el nuevo material se introdujo en España, ya se habían realizado progresos importantes en el camino de su formulación teórica. Los técnicos españoles, pues, no partían desde cero. Pudieron contar, por ejemplo, con las conclusiones de los trabajos de Bauschinger o Coignet y Tedesco relativas a la adherencia entre los materiales. En el primer libro español dedicado al hormigón armado, el tratado de González Irún y Luengo Carrascal, vienen descritos estos trabajos, así como las teorías generales de funcionamiento del nuevo material desarrolladas por Wayss, Lefort, Planat, Hennebique y Considère, esta última especialmente destacada por los autores[1].

Las revistas especializadas no tardarían en dar cuenta de estos primeros desarrollos teóricos. Así, a lo largo de 1900 la *Revista de Obras Públicas* dio a conocer la *Estabilidad de las construcciones de cemento armado* de C. Boncorps[2]**.** Por su parte, en *El Cemento Armado* aparecerían, entre otros, las experiencias de Harel de la Noë o Armand Considère.

A partir de 1902 Juan Tejón publicaría en el *Memorial de Ingenieros* una serie de tablas prácticas *"para determinar las dimensiones de las distintas piezas que forman los entramados en las construcciones de cemento armado"*[3]*.*

Iniciativas de este tipo tendrían continuidad a lo largo de la primera década del siglo. En 1903, el ingeniero militar Alfredo Amigó desarrolló su *Regla de cálculo para pisos y vigas simétricas de cemento armado*, inspirada en las teorías del francés Lefort. Fue publicada en el *Memorial de Ingenieros.*

El mayor especialista en este tipo de trabajos sería otro ingeniero militar, Eduardo Gallego Ramos. Su revista *La Construcción Moderna* le serviría de plataforma para difundir métodos prácticos para calcular y diseñar un amplio abanico de elementos constructivos de

hormigón armado, incluyendo los depósitos de saneamiento llamados "Pozos Mouras"[4], arcos Golding[5], pilares de hormigón "sunchado"[6], zapatas y losas de cimentación[7].

La consolidación de un procedimiento de cálculo universalmente aceptado tardaría tiempo en producirse, encontrándose los proyectistas de las obras con una gran *"diversidad de fórmulas preconizadas por cada constructor"*, obteniéndose secciones diferentes según se emplearan unas u otras. Se presentaba así *"un asunto arduo a resolver, cual es, escoger las fórmulas que en cada caso sean de aplicación más oportuna"*[8].

Cada una a su manera, las empresas de hormigón armado habían desarrollado, apoyadas en sus propios departamentos técnicos, unos criterios de cálculo que les permitieran justificar teóricamente sus construcciones. Así por ejemplo, la casa Hennebique tenía formulada la teoría de su sistema de construcción, que de forma muy genérica podía *"definirse diciendo que consiste en dar a una viga de cemento la resistencia a tracción que la falta casi en absoluto, por medio de tensores*"[9]

Por su parte, la Compañía de Sestao se apoyaba en varias hipótesis, cuyo responsable, el ingeniero francés Joseph Blanc, sintetizaba de esta forma: *"el hormigón trabaja solamente a la compresión; el hierro o acero trabaja a la tensión o a la compresión; los momentos flectores son equilibrados por mitad entre el hierro y el hormigón; la fibra neutra en los forjados y vigas aisladas está situada en la mitad de la altura".* Partiendo de ellas, y sin más que aplicar las fórmulas conocidas de la Mecánica Racional, *"cualquier ingeniero o arquitecto puede darse cuenta exacta de si las obras proyectadas dejan algo que desear respecto a estabilidad y resistencia"*[10]

De este modo, al principio lo habitual era que los técnicos responsables de cada una de las obras asumieran los métodos de cálculo de estas empresas, que por otra parte tenían el aval de su buen comportamiento en el extranjero. Hay que tener en cuenta también que casi todos trabajaban en alguna de estas compañías, viéndose en cierto modo obligados a respaldar los procedimientos estandarizados de estas con los cálculos de sus propios proyectos.

Así sucedió, por ejemplo, con el paso superior de "Los prados" sobre el ferrocarril de Albacete a Cartagena, cuyo proyecto data de 1899. Los ingenieros Ribera y Peyronceli utilizaron para los cálculos *"los procedimientos indicados por Mr. Hennebique, los cuales, si bien se prestan a objeciones por los supuestos teóricos en que se hallan fundados, pueden aceptarse sin inconveniente alguno, toda vez que las experiencias hechas por aquel constructor y por otros varios han demostrado que la resistencia real de esta clase de obras es muy superior a la que se deduce de los cálculos"*[11].

Poco a poco fueron quedando claros algunos fundamentos de la nueva técnica y abandonándose muchas hipótesis erróneas que la habían acompañado al principio. No tardaría en alcanzarse cierto grado de coincidencia, al menos en ciertos principios básicos.

En 1902, por ejemplo, el ingeniero Gabriel Rebollo, encuadrado todavía en la organización Hennebique, proyectó su puente sobre el Nervión partiendo de postulados similares a los expresados por Joseph Blanc. Concibió su tablero como una viga sometida a flexión, partiendo de la hipótesis de que *"el momento flector habrá de estar equilibrado por la suma de los momentos de las compresiones y tensiones que se desarrollen en el interior de la viga"* y teniendo en cuenta que *"el momento en tensión será resistido por la armadura metálica del forjado, despreciando la resistencia a tracción del hormigón".* No olvidó dimensionarlo a esfuerzo cortante, *"disponiendo flejes doblados en forma de V o estribos",* en el sentido perpendicular y con la geometría precisa para soportar dicha solicitación[12].

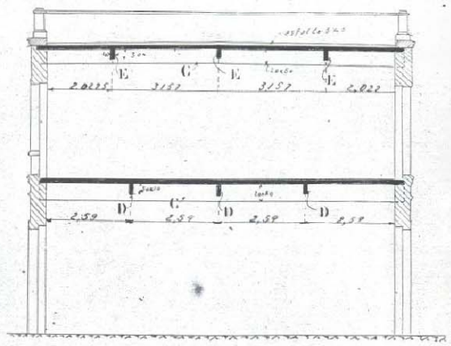
El diseño de las construcciones de hormigón armado se encaminaba, pues, hacia el abandono del empirismo de sus primeras etapas y la consecución de una formulación teórica de su funcionamiento, obtenida a partir de criterios racionales y teniendo en cuenta las diversas solicitaciones a que estarían sometidos y la diferente forma de trabajar del hormigón y las armaduras.

Los principios esenciales de esa teoría, que básicamente eran los que habían enunciado Blanc o Rebollo, fueron asumidos de forma casi unánime por los especialistas españoles, pudiéndose justificar mediante cálculos elementales todo tipo de construcciones de hormigón armado. Por ejemplo, los técnicos de la Compañía de Sestao los utilizarían en el cálculo de las cubiertas de las Estaciones de Ferrocarril de Granada y Cartagena, proyectadas en 1905[13].

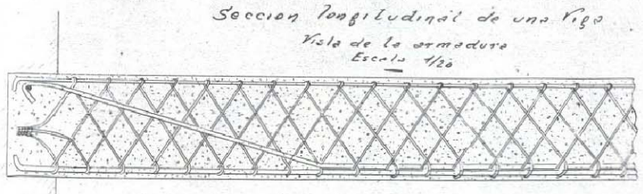
Sin embargo, a pesar de estas coincidencias en los principios básicos, la cuestión distaba mucho de estar zanjada. Continuaba habiendo muchos aspectos del cálculo en los que no se habían resuelto las discrepancias, lo que provocaba la aparición de formulaciones muy diversas, que cada proyectista adoptaba a su gusto. Por citar alguna, en 1906, Enrique Colás, declaraba valerse de *"las formulas de Monsieur Cristophe"* para su proyecto del puente de San Adrián[14].

Las dificultades para encontrar una teoría válida para todos hicieron que muchos técnicos y constructores confiaran en las pruebas de carga como la panacea para justificar la validez de sus diseños. Por otra parte, las diferentes empresas dedicadas al hormigón armado no escatimaron medios para promover estos ensayos, que eran sus mejores armas publicitarias.

Seccion en elevacion por M. N- Escala 1:100

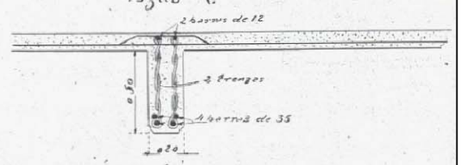


Seccion longitudinal de una Viga
Vista de la armadura
Escala 1/20

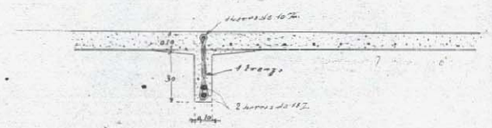


Detalles de las Vigas con sus armaduras
Escala 1:20

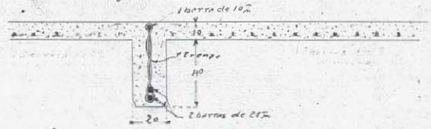
Vigas C



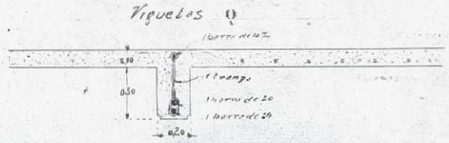
Viguetas D y E



Vigas F



Viguetas Q



COMPAÑÍA ANÓNIMA
DEL HORMIGÓN ARMADO
A SESTAO - BILBAO
DE CEMENTO Y DE HORMIGÓN ARMADO

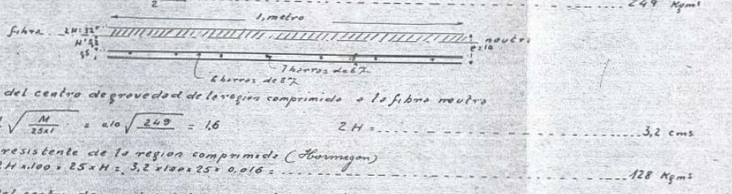
Forjado de 2,65 x 3,50

Datos para el cálculo

- Carga permanente (peso propio) por metr. cuadrado — Capa de asfalto ..... 30 Kg.
  Forjado 0,10 x 2,500 ..... 250 Kg.
- Sobrecarga ..... 300 Kg.
  Carga total ..... 580 Kg.
  Tomamos para el calculo ..... 600 Kg.

Momento flector máximo

- En el mayor sentido — $M_1 = \frac{1}{10} Pl$ (con empotramiento) $\frac{1}{10} \frac{3,65^4}{2,65 \times 3,50^3} 600 \times 3,50^2$ = ... 182 Kgm.
- En el menor sentido — $M_2 = \frac{1}{10} Pl^2$ (con empotramiento) $\frac{1}{10} \frac{3,50^4}{2,65^3 \times 3,50^2} 600 \times 2,65^2$ = ... 316 Kgm.
- Medio — $M = \frac{182 + 316}{2}$ = ... 249 Kgm.



Distancia del centro de gravedad de la region comprimida a la fibra neutra

$H = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{M}{25 \times 1}} = 10 \sqrt{\frac{249}{249}} = 1,6$ ..... $2H$ = ... 3,2 cms

Momento resistente de la region comprimida (Hormigon)
$M_c = 2H \times 100 \times 25 \times H = 3,2 \times 100 \times 25 \times 0,016$ = ... 128 Kgm.

Seccion adoptada y trabajo de los materiales

- Distancia del centro de gravedad de la region extendida a la fibra neutra
  $H' = e - 2H - 1,5 - 10 - 3,2 - 1,5$ = ... 5,3 cm.
- Momento resistente en el menor sentido de la region extendida
  $M_{c_1} = n \frac{\pi d^2}{4} \times 10^{cm} \times H' = 6 \frac{\pi 8^2}{4} \times 10 \times 0,53$ = ... 160 Kgm.
- Momento resistente en el mayor sentido de la region extendida
  $M_{c_2} = n \frac{\pi d^2}{4} \times 10 \times H' = 7 \frac{\pi 6^2}{4} \times 10 \times 0,53$ = ... 104 Kgm.
- Momento resistente medio de la region extendida
  $M_c = \frac{160 + 104}{2}$ = ... 132 Kgm.
- Momento resistente total $M_t = M_c + M_c = 128 + 132$ = ... 260 Kgm.
- Trabajo del hormigon $\frac{M}{2H \times 100 \times H} = \frac{249}{3,2 \times 100 \times H}$ = ... 24,3 Kg. por cm²
- Trabajo del acero $\frac{M}{\frac{1}{2}(\frac{20\pi}{4} + \frac{7\pi 6^2}{4}) H'} = \frac{249}{(\frac{314}{4} + \frac{198}{4}) 0,53}$ = ... 3,4 Kg. por m²

Esfuerzo cortante

- Reaccion maxima $E = \frac{600 \times 3,5}{2}$ ..... 1050 Kgs.
- Seccion resistente $\omega = \frac{6 \pi 0^2}{4}$ ..... 302 m²
- Trabajo del acero $R = \frac{E}{\omega} = \frac{1050}{302}$ ..... 3,5 Kgs por m²

Pruebas de este tipo venían haciéndose en España desde el principio mismo de la utilización del hormigón armado. José Eugenio Ribera hizo la primera en 1898, con ocasión de la construcción de la nueva cárcel de Oviedo. Se probó una losa rectangular de dimensiones 3,5 x 2,60 m (dimensiones de las celdas), apoyada sobre sus cuatro lados en paredes de ladrillos y mampostería de 1,50 m de altura.



Figura 1. Prueba de carga de una losa de forjado realizadas por José Eugenio Ribera en la cárcel de Oviedo. 1897. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Esta losa fue construida en febrero. Entre abril y mayo fue cargándose sucesivamente con arena, ladrillos, piedras y barras de hierro hasta su rotura, que se produjo para una sobrecarga de 2800 kg/m^2, once veces mayor que la prevista en el cálculo (250 kg/m^2).

Tan extraordinario comportamiento, contrastado además de Ribera por otros dieciséis técnicos más, entre arquitectos, ingenieros y maestros de obra, le llevó a afirmar que la losa de hormigón armado ofrecía *"una garantía de seguridad que no se encuentra en ningún otro sistema de piso"*[15]. Ribera se preocuparía de difundir ampliamente esta experiencia como prueba de la resistencia y seguridad de las construcciones de hormigón armado.

Más adelante realizaría otras experiencias similares en Madrid, donde probó un tablero de vigas rectas de seis metros de luz, y en Oviedo, en las que se ensayaron las bóvedas a construir en el nuevo depósito de aguas[16].

Otros pioneros como Mauricio Jalvo o Eugenio Grimal, también llevarían a cabo sus propias experiencias, procurando darles la mayor difusión posible.



Figura 2. Prueba de carga de una viga realizadas por Mauricio Jalvo. Madrid, 1902. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Los tres tenían en común haber iniciado su relación con el hormigón armado en la Organización Hennebique, la gran promotora de experiencias de carga y resistencia al fuego como medio de difusión de sus construcciones. De hecho, la primera de las pruebas de Ribera la hizo como miembro de Hennebique en España. Los técnicos que le sucedieron en esta casa, como el concesionario guipuzcoano Miguel Salaverría, también insistirían en su realización.



Figura 3. Prueba de carga de una losa para forjado hecha por el concesionario de Hennebique en Guipuzcoa, Miguel Salaverría. San Sebastián, principios del siglo XX. Se empleó portland de la fábrica de Hijos de J.M. Rezola. Institut Français d'Architecture. Direction des Archives de France. Centre d'Archives d'Architecture du XXe siècle.

El estado de la cuestión en estos primeros tiempos lo describió muy bien José Eugenio Ribera en 1902: *"en estos últimos años se han publicado un gran número de teorías para calcular los elementos que constituyen el hormigón armado, y la mayor parte de ellas han dado lugar a discusiones, apasionadas a veces entre los ingenieros que se han ocupado de esta cuestión[…] Pero mientras los sabios discuten, los inventores construyen, el éxito viene a dar la razón a los más atrevidos".*

Por su parte, como buen proyectista y constructor, se manifestaba *"convencido de que si bien las hipótesis o principios en que se fundan todas las teorías son racionales, resultan incompletas las fórmulas muchas veces y es necesario el buen sentido del proyectista para rectificar o subsanar los errores de la teoría".* En su opinión, la base de los cálculos debía ser *"un conocimiento perfecto o la intuición por lo menos de la manera con que trabajan los elementos, lo que permite disponer estos en forma racional; pero es además preciso un gran dominio de las reglas de la Mecánica aplicada, para emplear con oportunidad y en cada caso los procedimientos y fórmulas usuales de aquella ciencia"*

Apoyándose en su ya por entonces dilatada experiencia con el nuevo material, formuló su propio *"criterio práctico-científico para la determinación de los elementos que constituyen las obras de hormigón armado"* [17].

Pero no tardaría en ponerse de manifiesto la necesidad de postular una teoría del hormigón armado rigurosa y plenamente científica. Apenas tres años después, el accidente de la cubierta del Tercer Depósito, que estuvo a punto de truncar el desarrollo de la nueva técnica de construcción en España, lo dejaría claro con terrible rotundidad.



Figura 4. Hundimiento del Tercer Depósito. Madrid, abril de 1905. Institut Français d'Architecture. Direction des Archives de France. Centre d'Archives d'Architecture du XXe siècle.

De esa tarea llevaba ya ocupándose varios años el ingeniero de caminos Juan Manuel de Zafra. Interesado por el nuevo material prácticamente desde los comienzos de su introducción en España, había empezado a utilizarlo, pero de forma autónoma. No quiso confiar en ninguno de los diferentes sistemas que por entonces monopolizaban la construcción con hormigón armado.

Zafra, teórico de altísimo nivel, fue capaz de desarrollar su propio sistema, que patentó en 1902. Y lo haría apoyándose sólo en postulados racionales y teorías científicas, como la de las superficies, que concibiera el ingeniero francés Maurice Lévy[18].

En los años siguientes tuvo oportunidad de comprobar su validez en diferentes construcciones, dedicándose al mismo tiempo a la redacción del primer tratado teórico español de la materia, su *Construcciones de hormigón armado*, publicado en 1911.

Con este trabajo se despejaron gran parte de las dudas sobre la naturaleza y comportamiento del nuevo material. Para empezar, resaltaba la importancia de la adherencia entre el hormigón y el metal, dejando claro que su existencia se debía *"exclusivamente a la propiedad de adherirse sus dos elementos, que, así soldados, forman un conjunto monolítico, suma de las buenas cualidades de ambos con exclusión de sus defectos".*

La incertidumbre sobre la duración de las piezas de hormigón armado la resolvía afirmando que *"bien hecho, el hormigón armado se conserva, y conserva sus cualidades indefinidamente en lo que cabe".*

Entre sus propiedades "mecánicas", Zafra destacaba por encima de todas la solidaridad entre sus componentes: *"una obra de hormigón armado, bien construida, forma una sola pieza; todos sus elementos participan más o menos, pero siempre algo, del efecto producido por una causa local que directamente afecte a uno solo de ellos; todos, en mayor o menor grado, vienen en ayuda de aquel, y entre todos contrarrestan y absorben el efecto de aquella causa. De lo cual resulta una resistencia grandísima a los esfuerzos de cualquier género, y, en particular, a los dinámicos"*[19].

Zafra levantó su Mecánica aplicada del hormigón armado tomando como premisa fundamental la equivalencia de los cuerpos reales a sólidos ficticios elásticos, *"como base racional y sobre la base experimental, que la confirma en esencia, aunque la corrige y modifica en detalles".* Sin diferir de este modo, al menos en lo esencial, de lo que era la Mecánica aplicada de cualquiera de los materiales conocidos: *"una amalgama de principios teóricos, corregidos por los resultados de la experiencia, con los mismos errores y lagunas, debidos a las hipótesis necesarias para abordar el cálculo, y necesitada de los mismos coeficientes de seguridad que involucren las consecuencias de aquellos".*

Su tratado incluía procedimientos para calcular elementos estructurales sometidos a las más frecuentes solicitaciones (esfuerzo axil, flexión simple y compuesta, cortante, torsión y

pandeo), así como para estudiar las deformaciones y la fisuración. Y todo ello mediante fórmulas deductivas (para comprobación de los elementos de las estructuras) e inductivas, *"gracias a las cuales, conocidas las acciones que ha de soportar una pieza e impuestos determinados valores para las máximas cargas que haya de sufrir, puedan fijarse las dimensiones, forma y distribución de sus elementos"*[20].

Con la publicación de este libro los técnicos españoles ya dispondrían de una base teórica para diseñar estructuras de hormigón armado. Zafra culminaría su labor científica cinco años más tarde con un nuevo libro, *Cálculo de Estructuras.* Allí profundizaría su cuerpo doctrinal incluyendo los últimos avances en la materia, como el teorema de Castigliano, el principio de los trabajos virtuales de Mohr y el teorema de reciprocidad de Maxwell y Betti[21].

Los criterios básicos de su Mecánica los resaltaría él mismo en su discurso de entrada en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Su idea principal era que el hormigón armado "*debía ser tratado como un cuerpo perfectamente elástico",* y por tanto los elementos estructurales hechos con él debían ser calculados con la Teoría de la Elasticidad, asimilándolos a sólidos elásticos y homogéneos. Eso si, cuidándose de fijar convenientemente el coeficiente de elasticidad del hormigón, el "*punto delicado"* de su teoría.

Partiendo de esta premisa básica, el cálculo de toda construcción de hormigón armado empezaría determinando las dimensiones de los elementos estructurales *"como si el hormigón, sin armadura alguna, fuera isótropo".* Después, *"con los resultados de esa primera aproximación pueden ser evaluados nuevamente secciones y momentos de inercia del hormigón comprimido y de las armaduras, y repetir el cálculo con aproximación más satisfactoria".*

Sentados estos planteamientos teóricos, subrayaba la necesidad constante de *"recurrir a la experimentación para contrastar, no la teoría que dentro de las bases sentadas es indiscutible, sino las condiciones y límites de aplicabilidad, los fenómenos y circunstancias en que aquella es inhábil para tener en cuenta"*[22].

El primer paso, la formulación de una teoría para la técnica de construcción con hormigón armado, estaba, pues, dado. Quedaba pendiente contrastarla y extenderla con aplicaciones prácticas.

Zafra empezó a trabajar con ese objetivo, con la idea de culminar su obra científica. Sin embargo, la grave enfermedad que le aquejaba desde 1912 se lo impediría, no pudiendo terminar más que la colección de modelos oficiales de puentes para carreteras[23].

La tarea sería realizada por sus discípulos de la escuela de Caminos, que en la década de los veinte pondrían en práctica sus métodos para el cálculo de los más diversos proyectos de ingeniería. El más destacado sería Alfonso Peña Boeuf, que llegaría también a publicar varios tratados de la materia: *Mecánica Elástica* (1926) y *Hormigón armado* (1930).

NOTAS DEL ANEJO 1

[1] González Irún, Antonio y Luengo Carrascal, Juan: *Cementos armados*. Madrid, Bailly-Baillière, 1900. p.p. 46-105.

[2] Boncorps, C.: "Estabilidad de las construcciones de cemento armado", en la *Revista de Obras Públicas.* Año XLVII, número 1269. Madrid, 18 de enero de 1900.

[3] Tejón y Marín, Juan: "El cemento armado. Tablas prácticas", en el *Memorial de ingenieros del Ejército.* Año LVII, número XI. Madrid, noviembre de 1902.

[4] Gallego Ramos, Eduardo: "Construcción y cálculo de pozos Mouras de hormigón armado", en *La Construcción Moderna"*. Año IV, número 13. Madrid, 15 de julio de 1906.

[5] Gallego Ramos, Eduardo: "Cálculo y aplicaciones de los arcos Golding", en *La Construcción Moderna"*. Año IV, número 12. Madrid, 30 de junio de 1906.

[6] Gallego Ramos, Eduardo: "Pilares de hormigón sunchado", en *La Construcción Moderna"*. Año XV, número 13. Madrid, 15 de julio de 1917.

[7] Gallego Ramos, Eduardo: "El hormigón armado en España. Una aplicación práctica", en *La Construcción Moderna"*. Año XVI, número 16. Madrid, 30 de agosto de 1918.

[8] García de Pruneda, Salvador: "Estudio de un puente de hormigón armado". En el *Memorial de ingenieros del Ejército.* Año LVIII. Madrid, 1903.

[9] Seco de la Garza, Ricardo: *Construcciones de hormigón armado. Sistema Hennebique privilegiado.* Madrid, Imprenta de Hernando y Cia, 1898. p.12.

[10] Blanc, Joseph: *Nota sobre las construcciones de hormigón armado «La Poutre Dalle», sistema Blanc privilegiado.* Bilbao, Imprenta y Encuadernación de Antonio Apellaniz, 1902. p.p. 11-12.

[11] Peyronceli, Ramón y Ribera, José Eugenio: *"Proyecto de tramo de hormigón armado para el paso superior de Los Prados; Línea de Albacete a Cartagena, km 407+037m"*. Memoria. 1899. Archivo de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles, legajo I-237/19.

[12] Rebollo, Gabriel: *Proyecto de puente en hormigón armado sobre el río Nervión en Bilbao. Memoria.* 1902. Archivo General de la Administración, legajo 8338.

[13] *Proyecto de piso y terraza de hormigón armado para la Estación de Granada. Proyecto de azoteas de hormigón armado para cubierta de los pabellones laterales del edificio de viajeros de la Estación de Cartagena.* 1905. Archivo de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles. Legajos A/49/6 y C-115/11, respectivamente.

[14] Colás, Enrique: *Proyecto de puente de hormigón armado sobre el río Ebro en el camino vecinal de Calahorra a San Adrián. Memoria.* 1906. Archivo General del Reino de Navarra.

[15] "Acta de las experiencias de rotura de un piso de hormigón armado sistema Hennebique", incluida como anejo en el Proyecto de reparación del Depósito de Aguas del Bazuelo en Mieres (Asturias). Archivo Municipal de Mieres.

[16] Ribera, José Eugenio: "Conferencia en el Ateneo sobre construcciones modernas de hormigón armado". En la *Revista de Obras Públicas.* Año LI. Madrid, 23 de abril de 1903.

[17] Ribera, José Eugenio: *Hormigón y cemento armado. Mi sistema y mis obras*. Madrid, Imprenta de Ricardo Rojas, 1902. p. 8.

[18] Zafra, Juan Manuel de: "Sistema de placas bombeadas de hormigón armado". Patente de 31 de mayo de 1902. Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas, expediente nº 29863.

[19] Zafra, Juan Manuel de: *Construcciones de hormigón armado.* Madrid, Imprenta y Encuadernación de V. Tordesillas, 1911. p.p. 15-18.

[20] Zafra, Juan Manuel de: *Construcciones de hormigón armado.* Obra citada. p.p. 90-91.

[21] "Zafra", en la *Revista de Obras Públicas.* Año LXVII, nº2269. Madrid, 20 de marzo de 1919.

[22] Zafra, Juan Manuel de: "Los progresos de la Construcción y de la Mecánica aplicada. Discurso de entrada en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales". En la *Revista de Obras Públicas.* Año LXVII, números 2305 y 2306. Madrid, 27 de noviembre y 4 de diciembre de 1919.

[23] Peña Boeuf, Alfonso, en el prólogo a la Memoria de los *Modelos de puentes de hormigón armado para carreteras.* Anexo al libro de Zafra, J.M.: *Tratado de hormigón armado.* Madrid, Voluntad, 1923.

ANEJO 2:

PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

La construcción de elementos de hormigón armado comprende varias etapas. En primer lugar hay que preparar los encofrados o moldes con la forma de los distintos elementos estructurales. Después hay que manipular la ferralla para que tenga la forma adecuada y disponerla debidamente dentro de los moldes. A continuación, hay que elaborar el hormigón y llenar los moldes con él. Una vez realizada esta operación hay que esperar cierto tiempo a que el hormigón endurezca, teniendo entretanto que utilizar medios de apeo auxiliares. Por último, cuando los elementos de hormigón armado han adquirido la resistencia adecuada, se tienen que retirar los encofrados y los apuntalamientos, quedando la estructura en su estado definitivo.

Todas estas operaciones se realizan desde los comienzos de la utilización de la nueva técnica, no habiendo cambiado en lo sustancial desde entonces. Exceptuando las relacionadas con la manipulación del hormigón, todas ellas eran completamente nuevas

Por otro lado, la configuración estructural de las nuevas construcciones también era inédita en la mayoría de las ocasiones. En algunos casos, el hormigón armado había permitido la aparición de nuevas estructuras, como los puentes rectos de luces pequeñas. En otros, si bien no suponía una novedad en la tipología general, si que venía a aportar modificaciones nada desdeñables en unas estructuras de muy reciente implantación. Así sucedía, en efecto, con los entramados de pórticos de los edificios, que, hechos con elementos metálicos, habían empezado a sustituir a las masivas estructuras de muros de carga.

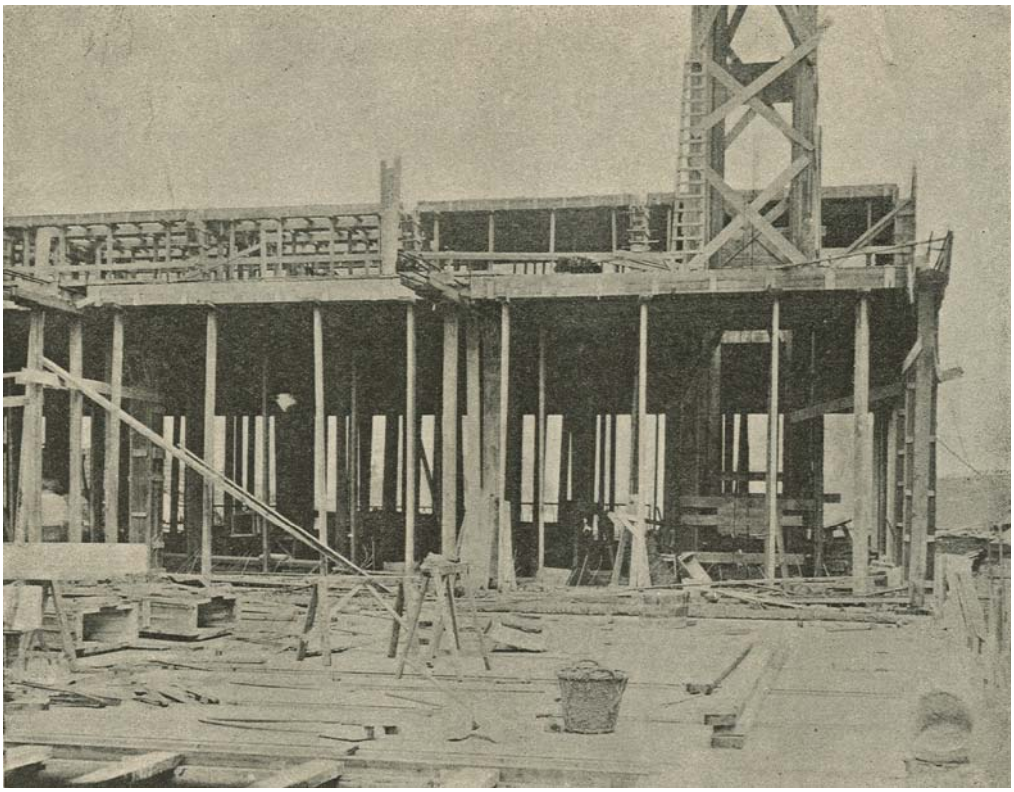


Figura 1: Estructura de entramados de pórticos en un edificio sin identificar, construido en España por la casa Hennebique. Hacia 1900. En Seco de Garza, *Cemento armado, Cálculo rápido.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Por tanto, fue necesario desarrollar procedimientos de construcción originales y diseñar herramientas, maquinaria y medios auxiliares a propósito.

El hormigón se elabora con cemento, agua y áridos (arena y grava). Respecto al primero, hubo desde el principio unanimidad en recomendar siempre el portland para las obras de hormigón armado, proscribiendo el empleo de cualquier otro tipo de aglomerante (cales hidráulicas, cementos naturales o artificiales de escorias)[1].

El cemento se suministraba normalmente en sacos, aunque algunos fabricantes utilizaban otro tipo de envases, como las barricas de madera con un envoltorio interior de papel barnizado que la fábrica alemana Hemmoor hizo llegar en 1901 a la revista *El Cemento Armado*[2].

Los principales fabricantes tenían registradas las principales características de sus cementos. Pero si estos eran "de marca desconocida", para su recepción en obra se prescribía una serie de ensayos: de tamizado, de fraguado, deformación en frío y en caliente, resistencia, composición química y finura de molido. Desgraciadamente, no había muchos laboratorios donde realizar estos ensayos. En 1902 funcionaban dos en Madrid: el de los ingenieros militares (Ronda del Conde Duque, 2) y el de los ingenieros de caminos (Escuela de caminos, calle de Alfonso XII)[3].

En cuanto a los áridos y la composición de la mezcla, también cada casa tenía sus propias formulas. Por ejemplo, Hennebique utilizaba arena y grava menuda o "almendrilla". En cambio, los representantes de Monier en España empleaban *"una parte de cemento, una de ladrillo en polvo y cuatro de gravilla"*[4].

Entre los constructores era frecuente la mala práctica de usar arenas sucias, en la creencia de que se podía *"anular este evidente defecto forzando la cantidad de cal y de cemento".* Pese a la insistencia de los mejores especialistas (Seco de la Garza, Jalvo,…), ningún contratista reparaba *"en traer a gran coste y desde largas distancias el cemento bueno; pero se resiste a imponerse un largo transporte para las arenas y menos a lavarlas"*[5].

La mezcla se realizaba normalmente a mano, bajo la supervisión de un capataz al que se le confiaba específicamente esta misión en la obra. Debía procurar que la pasta llevase *"siempre las mismas cantidades de cada uno de los materiales que la componen y especialmente agua para que no resultara ni muy fluida ni muy seca"*. Los obreros encargados de esta operación (llamados *"hormigoneros"* por Jalvo o *"porlanistas"* por Gallego Ramos) debían ser siempre los mismos, para que hicieran la manipulación con facilidad y conocieran lo que en términos de la obra se llamaba *"el punto de la pasta, es decir, el momento oportuno en que debía gastarse"*[6].

La grava y la arena eran descargadas por los carros a pie de obra. De los acopios al sitio donde se formaba el hormigón eran transportados en cajones de madera por "*muchachos pequeños*"[7].

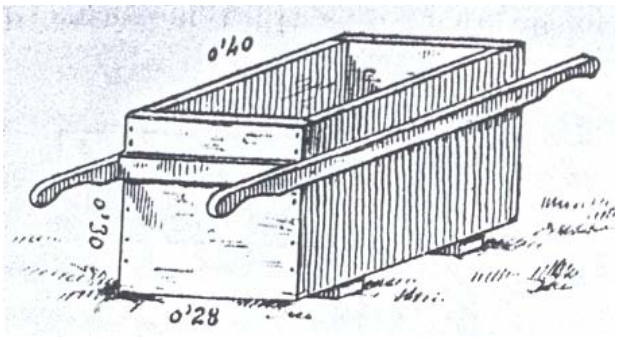


Figura 2. Cajón de medida y transporte. En Jalvo, *Hormigón armado.* Biblioteca Nacional de España.

Sobre una superficie plana se formaba un montón con los materiales a amasar, cuya proporción se había estimado con cajones de medida. Dos peones hormigoneros, provistos de palas, hacían otro montón que un tercer peón hormigonero removía con un rastrillo. Tras repetir esta operación varias veces se empezaba a echar el agua y se volvía a amasar. Los encargados de la obra debían estar vigilantes para impedir que los obreros echasen *"demasiada agua, arcilla u otras materias análogas para trabajar con más facilidad el mortero"*[8].

Había algunos medios mecánicos para fabricar el hormigón, como las vagonetas u hormigoneras de tambor rotatorio. Estas máquinas, al desplazarse, hacían girar mediante un mecanismo de ruedas dentadas el cilindro o tambor donde se mezclaban los componentes del hormigón.

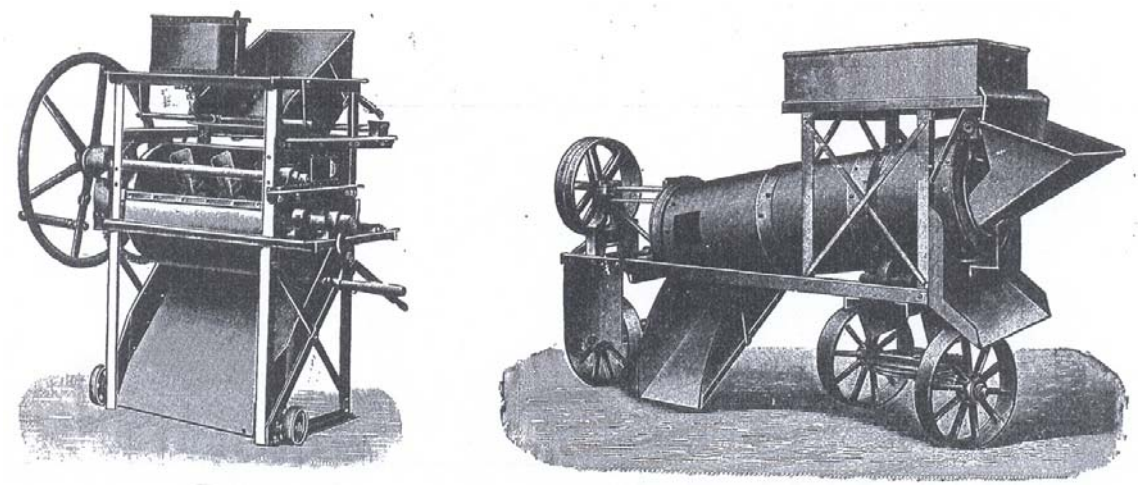


Figura 3. Mezcladora y hormigonera de tambor rotatorio de la casa Dr. Gaspary & Co. En *Ingeniería.* Biblioteca Nacional de España.

No tardarían en aparecer las máquinas hormigoneras, aunque al principio sólo se utilizaban en obras importantes, donde eran necesarios grandes volúmenes de hormigón. No obstante, paulatinamente fueron adaptándose a las necesidades de las obras más pequeñas e incorporando la electricidad como fuerza motriz.

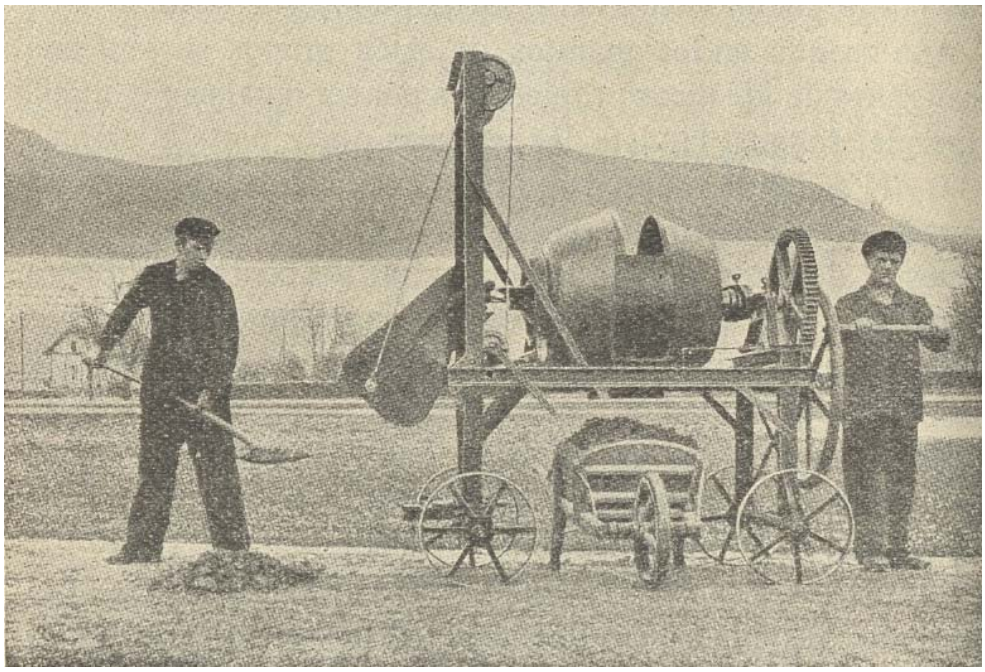


Figura 4. Hormigonera “a brazo” para pequeñas obras. Marca Roll. En Gallego Ramos, *Cemento armado, estudios y tanteos.*

Varias compañías alemanas estaban especializadas en este tipo de máquinas, como la *Leipziger Cementindustrie Dr. Gaspary* o la Sociedad General de Máquinas para Obras y Construcciones de Leipzig y Zurich, que fabricaba las famosas hormigoneras *Roll*[9].

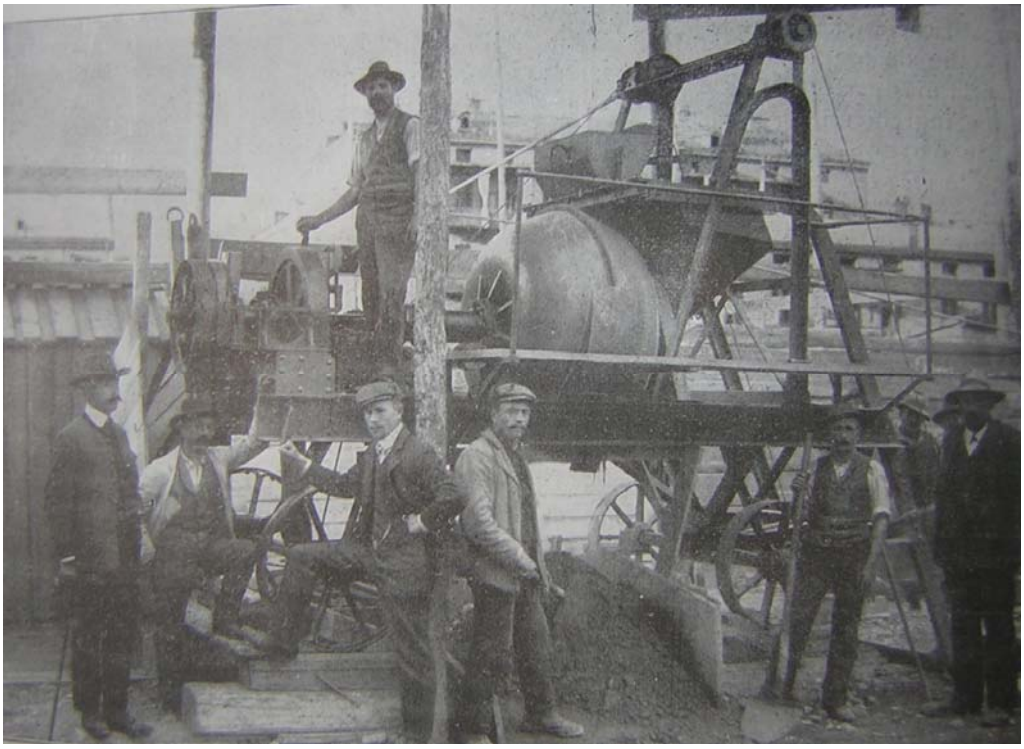


Figura 5. Hormigonera mecánica Roll, movida por motor eléctrico. 1909. En *Arquitectura y Construcción.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

De la preparación de los encofrados o moldes donde debía echarse el hormigón se ocupaban otros obreros especializados, a los que Mauricio Jalvo llamaría "armadores de moldes". Su participación en la obra era, obviamente, de la mayor importancia.

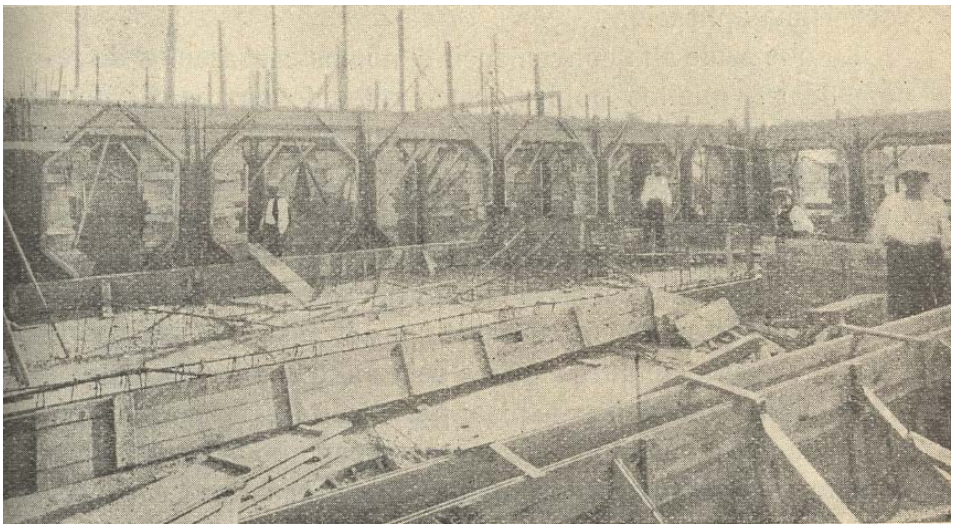


Figura 6. Construcción del Teatro Odeón. Cielo raso del patio de butacas y encofrados para la construcción de la azotea. 1917. En Gallego, *Cemento armado, estudios y tanteos.*

Tenían, pues, que hacer los encofrados con gran cuidado, pensando que *"después se debían deshacer de distinta manera a como se construyeron"*; sin utilizar clavos y procurando *"evitar los golpes al descimbrar, tan perjudiciales a la masa que no ha terminado aún su fraguado".*

Para ello tenían que valerse de herramientas como el "barrilete de aire", una abrazadera formada por dos pletinas de acero, ajustable para sujetar los moldes; y cadenas o ·"estrobos"[10].

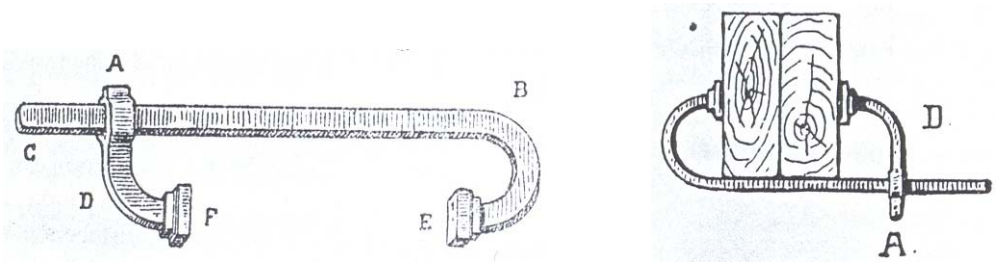


Figura 7. Barrilete de aire. En Jalvo, *Hormigón armado.* Biblioteca Nacional de España.

La madera para encofrados y cimbras suponía una de las partidas más onerosas en el presupuesto de las obras de hormigón armado. La mayoría podía aprovecharse después, pero era inevitable un desperdicio *"que no bajaba del veinte por ciento en cada obra"*[11].

De ahí que todos los constructores habían intentado desarrollar procedimientos para reducir los encofrados. Pero todos ellos suponían, a cambio, un incremento notable en la cantidad de hierro utilizado, por lo que la ventaja económica quedaba anulada.



Figura 8. Construcción del depósito de Llanes (Asturias). 1900. En Ribera, *Hormigón y Cemento Armado, mi sistema y mis obras.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Así pues, los buenos encofradores eran especialmente apreciados, tanto más en construcciones especiales donde el hormigón debía quedar visto. Por eso, era casi siempre inevitable *"hacer venir operarios de sitios distantes"*, aunque fuera a coste de *"un aumento de gastos en la construcción"*[12].



Figura 9. Encofrados para las bóvedas de la nueva Iglesia Parroquial de Irún. 1910. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

Una vez dispuestos los encofrados, se entraba en la operación fundamental de la preparación de la ferralla. Los hierros eran manipulados y colocados por peones, bajo la supervisión directa del Encargado de la obra. La presencia de este último en la obra mientras se trabajaba era imprescindible, pues, antes como ahora, en las construcciones de hormigón armado *"el elemento resistente por excelencia (el hierro) queda tapado por el hormigón y si no se le ve colocar no se puede tener la certeza de que se ha hecho con arreglo al proyecto"*[13].

Habitualmente se utilizaban los hierros corrientes "del comercio", que se suministraban en barras redondas o pletinas. Ocasionalmente, algunos sistemas empleaban perfiles laminados embebidos en el hormigón; tampoco era raro que se aprovechasen viejos carriles de ferrocarril. No obstante, en edificación lo habitual era emplear barras redondas.

El hierro redondo se vendía *"generalmente en barras de cuatro a cinco metros de longitud".* Estas barras debían cortarse para que tuvieran la longitud fijada en el proyecto. Si eran de pequeño diámetro podía hacerse esto en frío, pero "cuando pasaban de los seis u ocho milímetros había que recurrir a una fragua portátil que se establecía en la obra"[14].

A principios de siglo XX se hizo muy popular el *"Metal Deployé"*, que se fabricaba en los talleres de Zorroza (Bilbao) de la Sociedad de Construcciones Metálicas[15]. Algunos de los técnicos de mayor renombre (Ribera, Jalvo, Martínez Unciti, Gallego Ramos) confiaban plenamente en esta tela metálica de patente norteamericana.

A veces las armaduras, sobre todo las barras de mayor diámetro, venían a la obra listas para su utilización desde taller. Pero lo habitual era que se prepararan en obra, lo que llevaba una importante cantidad de trabajo.

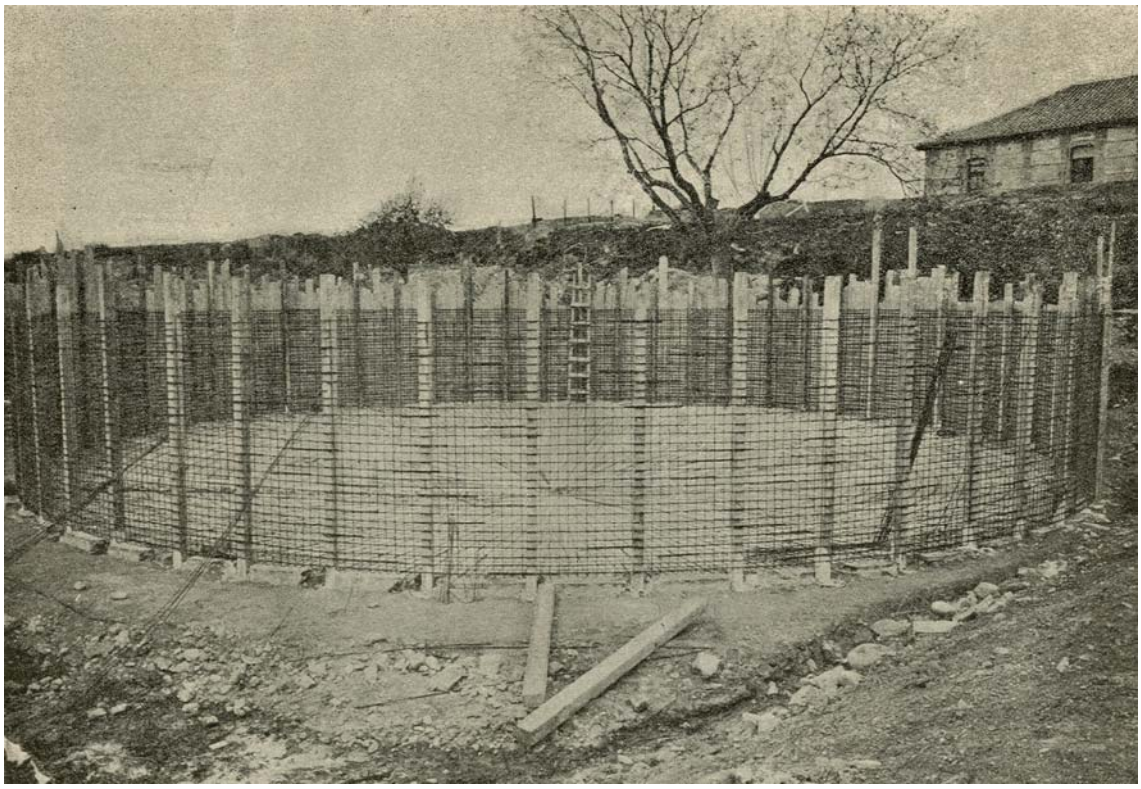


Figura 10. Construcción de un depósito sistema Monier en el Parque Aerostático de Guadalajara. 1900. En Seco de Garza, *Cemento armado, Cálculo rápido.* Instituto de Historia y Cultura Militar. Biblioteca Central Militar.

Las operaciones más repetidas eran el corte y doblado de las barras, que se hacían con grifas y alguna otra herramienta específica, como el doblador de barras. Se practicaba asimismo el espernado de las barras (machacar su punta para que quedase en forma de cuña). Y, aunque dependiendo del sistema, era también muy importante la fabricación de flejes y horquillas. Por eso algunos planteaban su sustitución por *metal deployé*.

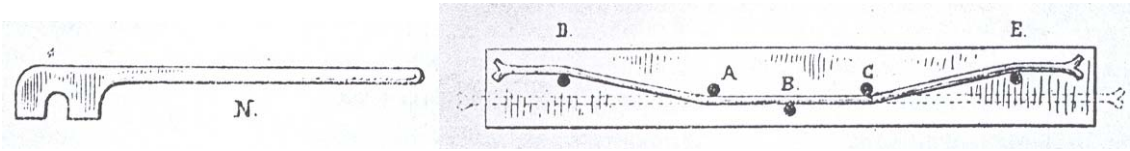


Figura 11. Grifa y Doblador de barras. En Jalvo, *Hormigón armado.* Biblioteca Nacional de España.

Una vez preparados los moldes y colocada la ferralla, tocaba el turno del hormigonado, cuya realización se encomendaba a otro de los capataces de la obra. Comprendía esta operación, en primer lugar, el traslado de la pasta fresca de hormigón desde el lugar donde se fabricaba. Esto lo hacían los peones "porteadores".

Después, los peones "tiradores" colocaban el hormigón en los moldes, bajo la supervisión del capataz, que debía vigilar que no quedaran huecos entre el hierro y el hormigón, ni entre este y los moldes. Era necesario, pues, compactar cuidadosamente la pasta, lo que se hacía con pisones de hierro. Después había que curarla (mantener su humedad) mientras duraba el fraguado.

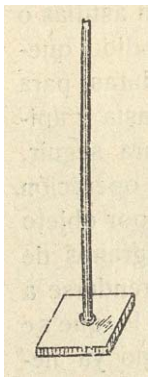


Figura 12. Pisón para compactar el hormigón. En Gallego Ramos, *Cemento armado, estudios y tanteos.*

Uno de los principales inconvenientes de las nuevas construcciones es que había que disponer puntales o apeos que soportaran la estructura hasta que el hormigón fraguase. Esto suponía una seria dificultad para la ejecución, que no tenían las estructuras metálicas.

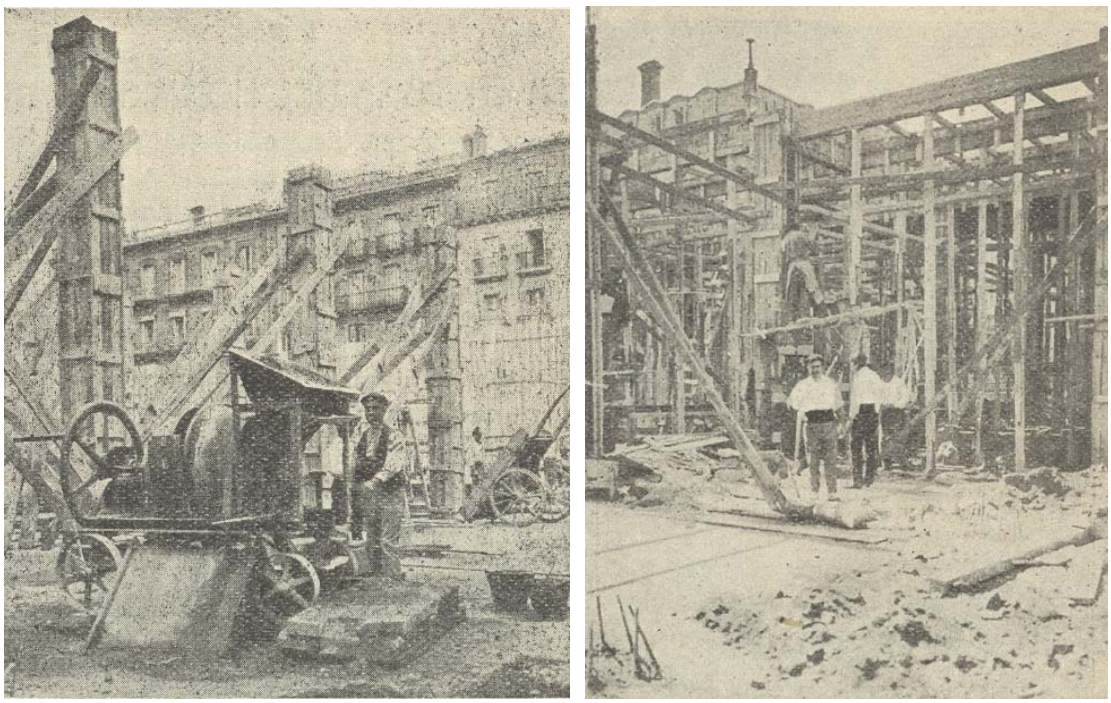


Figura 13. Construcción del grupo de casas de la Caja Provincial de Ahorros. San Sebastián, 1909. En Gallego Ramos, *Cemento armado, estudios y tanteos.*

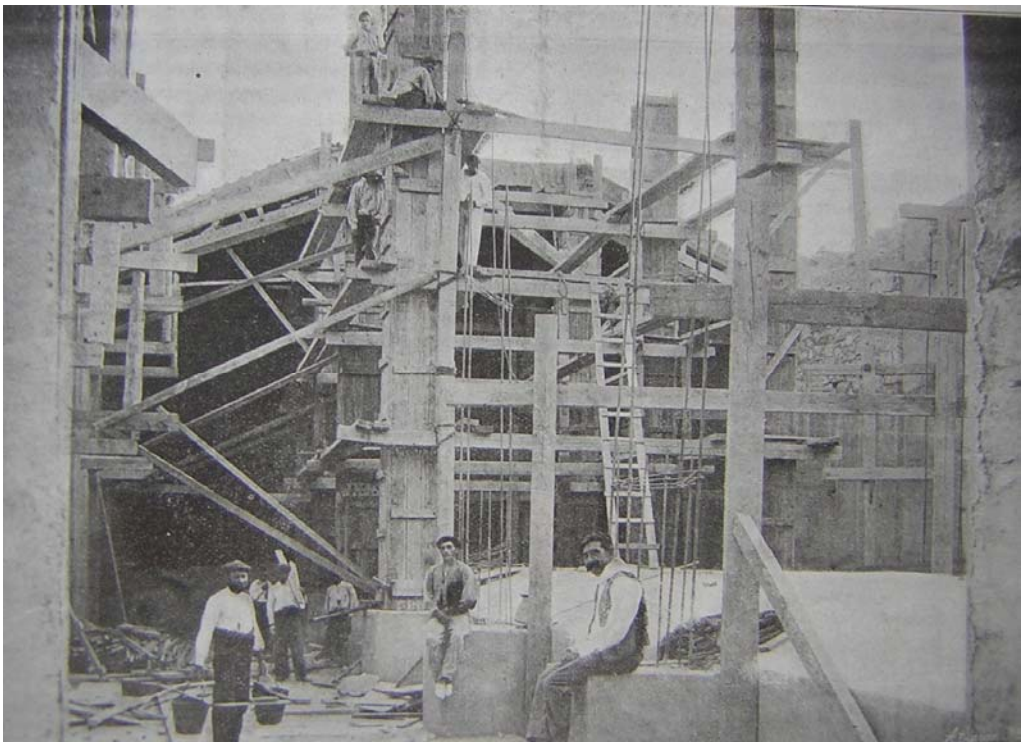


Figura 14. Construcción de la fábrica de cemento de Castillejo (Toledo). 1916. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

La situación se complicaba con cierto tipo de obras, como los puentes. Sus cimbras, si bien no eran privativas de los de hormigón armado, podían complicar extraordinariamente las obras de construcción.

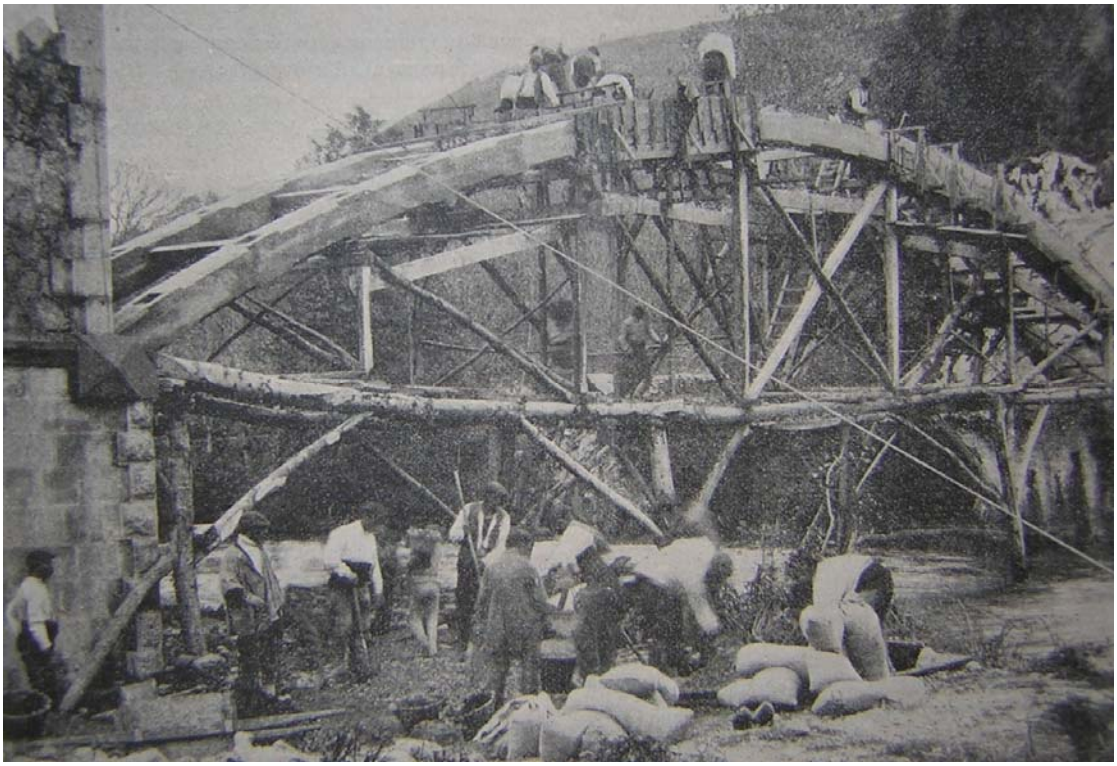


Figura 15. Construcción del puente de Golbardo (Cantabria). 1902. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

La duración del fraguado y el proceso de adquisición de resistencia por el hormigón se establecían en función del tipo de elemento estructural, siendo frecuentemente objeto de controversia entre los diferentes constructores.

Por ejemplo, Seco de la Garza, refiriéndose a obras de edificación del sistema de Hennebique, señalaba que, en pilares, *"a las 24 horas de terminado el pilar habrá fraguado el hormigón y puede quitarse el molde".* En cuanto a los forjados, la retirada de los puntales podía empezar *"a los 3 o 4 días de terminarse y a las tres o cuatro semanas se puede descimbrar todo el piso"*[16].

Con la retirada de apeos y apuntalamientos se acababan los trabajos de construcción de la estructura. Únicamente quedaba ya confirmar su validez definitivamente mediante pruebas de carga, obligatorias para determinadas construcciones (puentes, por ejemplo) y muy frecuentes en otras como las de edificación.

NOTAS DEL ANEJO 2

[1] Jalvo, Mauricio: *Hormigón armado. Manual práctico del constructor.* Madrid, Librería Guttenberg, 1903. p.p. 225-237.

[2] "Los mejores cementos portland", en *El Cemento Armado*. Año I, número 8. Madrid, 31 de agosto de 1901.

[3] Jalvo, Mauricio: *Hormigón armado. Manual práctico del constructor.* Obra citada. p.228.

[4] Seco de la Garza, Ricardo: "Detalles prácticos de la construcción de obras de cemento u hormigón de cemento y hierro", en el *Memorial de ingenieros del Ejército.* Año LV. Madrid, 1900.

[5] Jalvo, Mauricio: *Hormigón armado. Manual práctico del constructor.* Obra citada. p.245.

[6] Jalvo, Mauricio: *Hormigón armado. Manual práctico del constructor.* Obra citada. p.258-261.

[7] Jalvo, Mauricio: *Hormigón armado. Manual práctico del constructor.* Obra citada. p.219.

[8] Seco de la Garza, Ricardo: "Detalles prácticos de la construcción de obras de cemento u hormigón de cemento y hierro", en el *Memorial de ingenieros del Ejército.* Año LV. Madrid, 1900.

[9] "Fabricación mecánica del hormigón. Hormigoneras Roll", en *Arquitectura y Construcción.* Año XII, número 198. Barcelona, enero de 1909.

[10] Jalvo, Mauricio: *Hormigón armado. Manual práctico del constructor.* Obra citada. p.p. 217-257.

[11] Jalvo, Mauricio: *Hormigón armado. Manual práctico del constructor.* Obra citada. p.266.

[12] González Irún, A. y Luengo Carrascal, J.: *Cementos Armados, descripción y cálculo de las obras.* Madrid, Bailly-Baillière e Hijos, 1900. p. 40.

[13] Jalvo, Mauricio: *Hormigón armado. Manual práctico del constructor.* Obra citada. p.254.

[14] Gallego Ramos, Eduardo: *Estudios y Tanteos. Cemento armado.* Madrid, Establecimiento tipográfico de Antonio Marzo, 1918. p. 428.

[15] Gallego Ramos, Eduardo: "Construcción de forjados de losa continua armados con metal deployé", en *La Construcción Moderna.* Año II, número 22. Madrid, 30 de noviembre de 1904.

[16] Seco de la Garza, Ricardo: "Detalles prácticos de la construcción de obras de cemento u hormigón de cemento y hierro", en el *Memorial de ingenieros del Ejército.* Año LV. Madrid, 1900.

ANEJO 3:

NORMATIVA Y CUESTIONES REGLAMENTARIAS

En los comienzos, la construcción con el nuevo material fue por delante de cualquier base reglamentaria. No tardaría en ponerse de relieve, desgraciadamente por accidentes, la necesidad de regular la utilización del hormigón armado mediante normativa.

Cuando el hormigón armado daba sus primeros pasos en España ya había países que habían desarrollado sus propias instrucciones.

En 1902 los municipios alemanes de Berlín, Dresde, Düsseldorf, Francfort y Hamburgo emitieron los primeros reglamentos. Sin embargo, establecieron prescripciones tan draconianas que, a juicio de la Sociedad suiza de ingenieros y arquitectos, era prematura *"y mucho más propia para poner obstáculos a este sistema de construcción que para asegurar sus progresos y garantizar la seguridad pública"*[1].

Un año después, en 1903, esta sociedad suiza elevaría a las autoridades su "*reglamento provisional para la ejecución de construcciones de hormigón armado"*. El accidente de Bâle movió a los técnicos suizos a establecer *"tanto para las autoridades como para los empresarios",* unas directivas provisionales para construir con seguridad, a la espera de su validación definitiva *"con ensayos científicos más completos"*. Estas prescripciones fueron formuladas por un comité de expertos constituido por Ritter, Schüle y Reese[2].

En 1904 el Ministerio de Trabajos públicos de Prusia publicó unas instrucciones relativas a las construcciones de cemento armado, que fueron reformadas y corregidas por una circular de 1907. Algunos técnicos españoles mostrarían algo de curiosidad por ellas[3].

También se haría eco la prensa técnica de la publicación, en 1907, de las *Reglas para la ejecución de las obras de hormigón armado en Italia,* aunque tampoco con demasiada trascendencia[4].

Por su parte, los Estados Unidos publicarían en 1910 su primera instrucción, la *Standard Building Regulations for the use of the reinforced concrete.*

La instrucción extranjera que más repercusión tendría en nuestro país sería sin duda la Circular Francesa de 20 de octubre de 1906. Ante la falta de una normativa propia, muchos técnicos españoles la adoptaron como guía para la redacción de sus proyectos. Así lo admitía, por ejemplo, Cayetano Noguera para su proyecto de paso superior en el km 105,56 de la línea de ferrocarril de Plasencia a Astorga: *"a falta de instrucciones españolas sobre el cálculo de obras de hormigón armado, nos hemos atenido a la Instrucción francesa y a las explicaciones y cálculos que la acompañan"*[5].

Asímismo, Agustín de Jubera, en su proyecto de puente de cemento armado para la línea de ferrocarril de Sevilla a Jerez y Cádiz (data de 1911) reconocía que *"para todos los cálculos hemos aplicado las condiciones impuestas por la Circular Ministerial francesa del 20 de octubre de 1906 sobre el empleo del hormigón de cemento armado"*[6] .

Los primeros intentos de reglamentación españoles correrían a cargo de los ingenieros militares. En los pliegos de condiciones facultativas aprobados por Real Orden de 3 de diciembre de 1910 se incluían por primera vez prescripciones relativas a la recepción de cementos en las obras militares[7]. Dos años después, el Laboratorio del Material de Ingenieros emitió sus *Instrucciones reglamentarias para el empleo del cemento armado,* que pueden considerarse como la primera normativa española en la materia. Constaban de setenta y cinco artículos, agrupados en tres capítulos: *Hormigón*, *Bases para el cálculo* y *Distribución de las armaduras*[8].

Los técnicos encargados de su redacción se inspiraron en las ya citadas circulares francesa y prusiana, tomando de cada una los aspectos más restrictivos. Por ejemplo, para las pruebas de carga adoptaron las prescripciones de la prusiana, *"por ser mucho más precisas y algo más severas que las contenidas en la Circular ministerial francesa"*[9]

La necesidad de regular la construcción con hormigón armado fue convirtiéndose en una necesidad imperiosa. Hacia 1917, el uso del material estaba muy extendido y los procedimientos constructivos se habían desarrollado ampliamente, habiéndose producido *"al lado de grandes aciertos, algunas catástrofes en obras ejecutadas por este* sistema y con este material, que podían ser materia de enseñanza y experiencia". Sin embargo, no se había hecho todavía nada por *"unificar estas observaciones, que tan importantes pudieran ser para el estudio de un sistema que desde luego, llevado a su perfeccionamiento"* había de producir una *"completa revolución en el arte de las construcciones"*[10].

Así pues, las autoridades decidieron tomar cartas en el asunto y formaron, mediante Real Decreto, una Comisión encargada de *"determinar unas bases de construcción que sirvan para redactar los proyectos de obras de hormigón armado, aplicadas al servicio de Obras Públicas".*

En el decreto se reconocía la importancia de los trabajos similares que ya se habían llevado a cabo *"en Francia y otros países"*, pero sin aprovecharlos literalmente, ya que nuestro país requería un estudio *"especial, adaptado a nuestras condiciones climatológicas, que determinan un elemento importante en la indicada clase de construcciones"* (El desastre del Tercer Depósito todavía estaba presente en la mente de muchos).

La comisión tendría como presidente al Subdirector de Obras Públicas, incorporándose como vocales los ingenieros de caminos José Eugenio Ribera, Juan Manuel de Zafra y Domingo Mendizábal. Ya en el mismo nombramiento, aprobado por R.O. de 2 de junio de 1917, se les urgía a *"comenzar sus tareas en el plazo más breve posible".*

Y en efecto se lanzaron al trabajo con aplicación, dedicándose en primer lugar a normalizar los puentes de carreteras y ferrocarriles, cuyas respectivas colecciones oficiales no tardarían en publicarse.

Sin embargo, la redacción de una norma española oficial, para todas las construcciones de hormigón armado, no llegaría en el periodo que se analiza en esta tesis. La primera se publicaría en 1939.

Si hubo un aspecto relacionado con la reglamentación que se observara fielmente en estos primeros años fue el de las pruebas de carga. Al menos en las construcciones importantes se hicieron escrupulosamente, a pesar de no haber normativa oficial que regulara su realización.

En un tipo determinado de construcciones, los puentes, las pruebas estaban reglamentadas independientemente del material utilizado. De este modo, los nuevos puentes de hormigón armado serían sometidos a pruebas de carga estáticas y dinámicas, comprobándose que la deformación quedara dentro de unos valores admisibles.

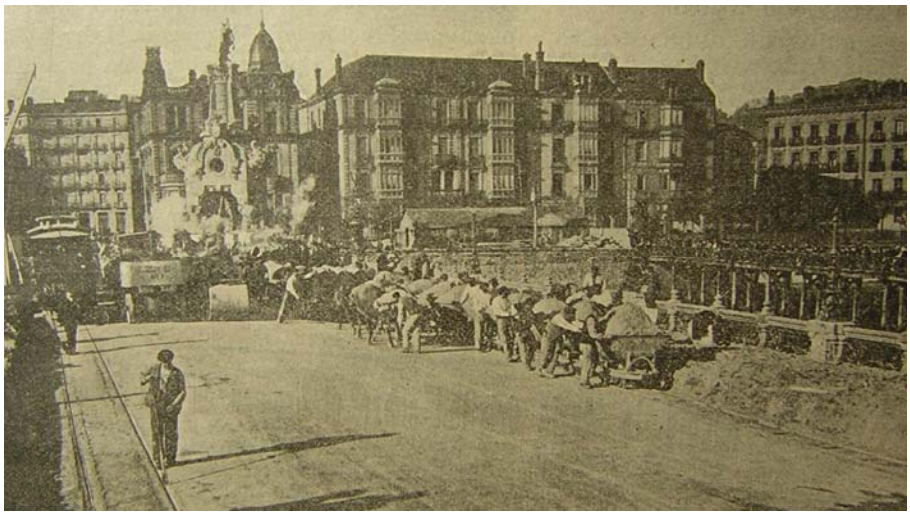


Figura 1. Pruebas dinámicas de Puente de Mª Cristina en San Sebastián. 1904. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



Figura 2. Pruebas estáticas del puente de Liédena (Navarra) sobre el Irati. 1908. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



Figura 3. Dispositivo para medir las deformaciones en las Pruebas del Puente de la Reina Victoria en Madrid. 1909. En la *Revista de Obras Públicas.* Biblioteca del colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

La realización de estas pruebas de carga o se había regulado para otros tipos de construcciones. Sin embargo, no dejaron de realizarse, sobre todo cuando se trataba de obras de gran entidad. Las pruebas del madrileño teatro Odeón, construido en 1917, podrían tomarse como representativas del procedimiento más frecuentemente adoptado en estos casos.

Por entonces no había en España más reglamento de posible aplicación que las "Instrucciones para el empleo del cemento armado" aprobadas por el Laboratorio del Material de Ingenieros del Ejército en 1912. En consecuencia, los responsables de su construcción decidieron seguir sus indicaciones para la realización de las pruebas, que consistieron en cargar con sacos de arena de 50 kg de peso las partes más comprometidas de la estructura: voladizos de anfiteatro, patio de butacas, varios tramos de escalera y la azotea.

Estas cargas se mantendrían durante veinticuatro horas, midiéndose las flechas producidas *"a las quince y a las veinticuatro horas de terminada la carga, así como veinticuatro horas después de la descarga, para observar las reacciones de las piezas objeto de las pruebas al cesar de actuar las referidas cargas"*

Las pruebas se desarrollaron a satisfacción de todos, como quedó reflejado en el informe correspondiente, en el que se incluyó la petición al Ministro de la Gobernación de *"que en lo sucesivo a todo permiso de apertura de edificio de uso público preceda la realización de las pruebas de resistencia necesarias para comprobar las condiciones de seguridad en que aquel se encuentra".* Así mismo, se solicitaba que *"para evitar incidentes y definir posibles responsabilidades, se redacte, por personal técnico designado por el Ministerio de Fomento, un reglamento en el que se precisen las cargas de prueba y las de cálculo que deberán aceptarse en las distintas partes de dichos edificios, así como las flechas tolerables, dedicando especial atención a las construcciones de hormigón armado"*[11].

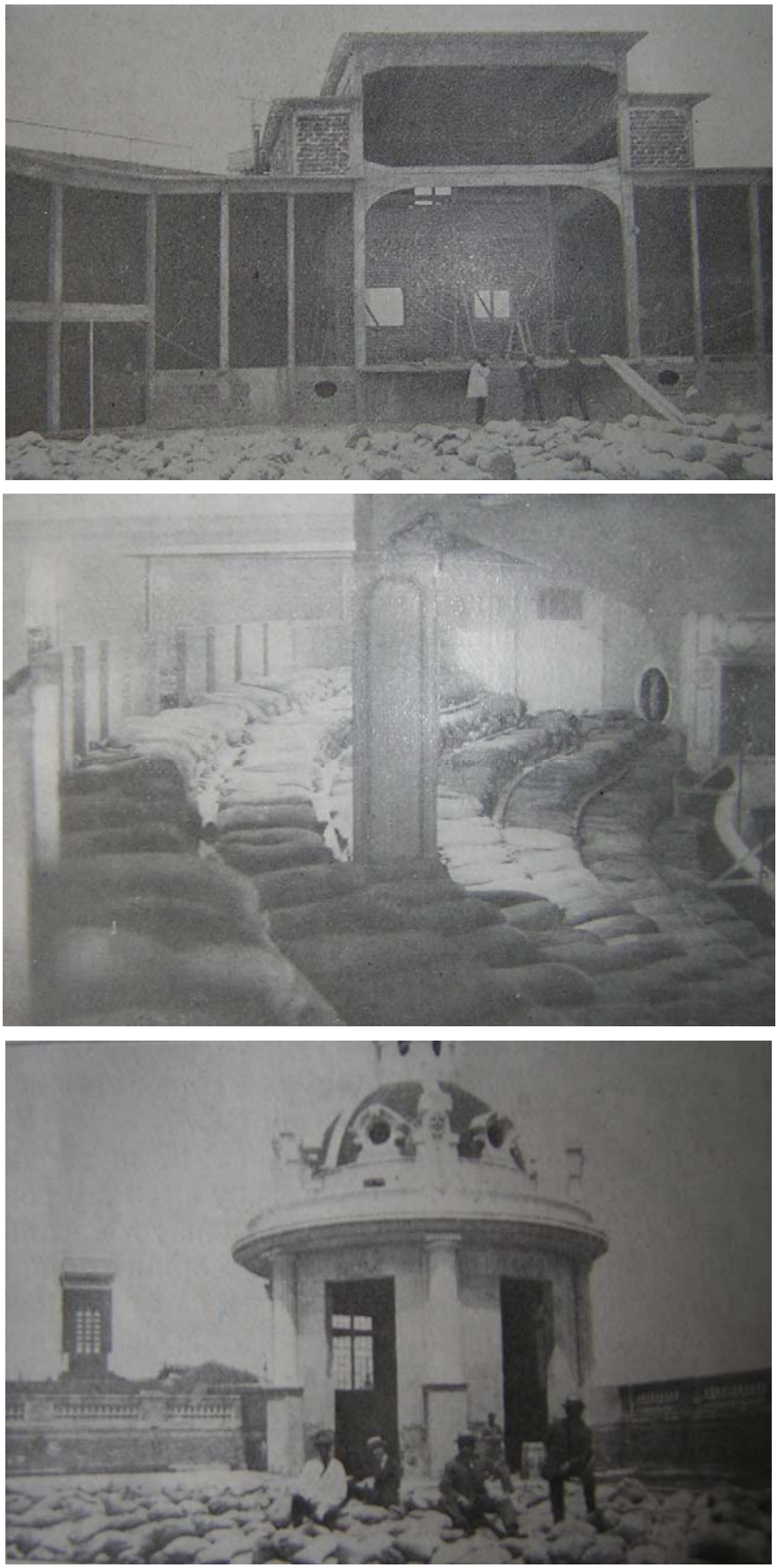


Figura 4. Pruebas de carga en el teatro Odeón (Madrid). 1917. En *La Construcción Moderna.* Hemeroteca Municipal de Madrid.

NOTAS AL ANEJO 3

[1] Díaz de Canto, E.: "Reglamentos alemanes para las construcciones de cemento armado", en *El Cemento Armado.* Año III, nº 1, enero de 1903.

[2] Schüle, F.: *Prescriptions provisoires pour l'élaboration des projets, l'exécution et le contrôle des constructions en béton armé.* Zurich, agosto de 1903.

[3] Gallego Ramos, Eduardo: *Estudios y tanteos. Cemento armado.* Madrid, Establecimiento tipográfico de Antonio Marzo, 1917.

[4] "Reglas para la ejecución de las obras de hormigón armado en Italia", en la *Revista de Obras Públicas.* Año LV, número 1656. Madrid, 20 de junio de 1907.

[5] Noguera, Cayetano: "Proyecto de paso superior en el km 105,566 de la línea de Plasencia a Astorga. Memoria". Archivo Histórico Ferroviario. Fundación de los Ferrcarriles Españoles. Expediente C-1155/7.

[6] Jubera, Agustín de: Proyecto de puente de cemento armado en el km 148,06 de la línea de Sevilla a Jerez y Cádiz. Memoria. 1911. Archivo Histórico Ferroviario. Fundación de los Ferrcarriles Españoles. Expediente A-99/4

[7] Gallego Ramos, Eduardo: *Estudios y tanteos. Cemento armado.* Obra citada.

[8] "Instrucciones reglamentarias para el empleo del Cemento Armado", en *La Construcción Moderna.* Año X, nº 10. Madrid, 30 de mayo de 1912.

[9] Gallego Ramos, Eduardo: *Estudios y tanteos. Cemento armado.* Obra citada, p.61.

[10] "Hormigón armado. Importante real decreto", en la *Revista de Obras Públicas.* Año LXV, número 2176. Madrid, 7 de junio de 1917.

[11] Gallego Ramos, Eduardo: *Estudios y tanteos. Cemento armado.* Obra citada, p.61.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

Comentario sobre las fuentes utilizadas en esta tesis

Uno de los criterios fundamentales para la realización de esta tesis ha sido utilizar preferentemente fuentes contemporáneas a los acontecimientos que se han investigado.

Los recursos más utilizados se pueden agrupar en tres conjuntos:

- Libros sobre construcción en general y sobre hormigón armado de la época.
- Publicaciones periódicas (revistas técnicas y de divulgación científica)
- Proyectos de obras y otros documentos técnicos originales.

En cuanto a los primeros, hay varios tratados de referencia. Sobre el nacimiento del hormigón armado, se han utilizado sobre todo la monografía de Christophe y la de Berger y Guillerme. Para los orígenes del hormigón armado en España han sido fundamentales los libros de Ribera, Jalvo o Zafra.

La mayoría de ellos se han localizado principalmente en tres bibliotecas: la Biblioteca Central Militar y las Bibliotecas Nacionales de España y Francia. Otras instituciones cuentan también con fondos interesantes para esta investigación, como la Universidad de Granada y el Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

En cuanto a las publicaciones periódicas, el abanico de las consultadas es también amplio. En la Biblioteca Nacional Francesa se encuentra *Le Béton Armé.* El colegio de ingenieros de Caminos cuenta con la imprescindible *Revista de Obras Públicas, Le Génie Civil y los Annales des Ponts et Chausées.* Otras dos publicaciones españolas indispensables, *El Cemento Armado* y *La construcción Moderna*, se encuentran a disposición de los investigadores en la Biblioteca Nacional de España y en la Hemeroteca Municipal de Madrid. También ha resultado muy útil la consulta del *Memorial de Ingenieros del Ejército*, que se encuentra en la Biblioteca Central de Madrid.

Por lo que se refiere a los proyectos y otros documentos, se han consultado muchos archivos de los municipios donde se construyeron las obras: Mieres, Llanes, Valladolid, Huesca, etc.

Hay que citar también algunos archivos nacionales que conservan fondos muy valiosos para esta investigación. La Oficina Española de Patentes y Marcas o el Archivo Histórico Ferroviario (de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles) podrían ser los más destacados.

Por último, los colegios profesionales de arquitectos e ingenieros también disponen de documentación de gran interés. Por ejemplo, los colegios oficiales de arquitectos Vasco-Navarro, de Cataluña o Madrid.

Junto a estos recursos de la época, también se han utilizado diversos trabajos actuales, principalmente sobre la Historia de la Arquitectura y de la Ingeniería. Para las cuestiones sociales y económicas se han consultado obras de referencia comúnmente aceptadas.

Asimismo, se ha recurrido abundantemente a publicaciones periódicas actuales. Las referencias se han registrado en las notas de cada capítulo.

Por último, se ha utilizado Internet para la localización de documentos en los diversos archivos.

Bibliografía

Libros de la época estudiada y anteriores (principalmente tratados de construcción en general y hormigón armado).

ALZOLA Y MINONDO, Pablo: *El arte industrial en España*. Bilbao, Imprenta de la Casa de Misericordia Iturride, 1892. Reeditado por el Colegio de Ingenieros de Caminos en 2000.

ANÓNIMO: *L'accident de Bâle et les accidents de chantier.* Levallois-Perret. Suiza, Imprimerie Crété de l'Arbre, 1902.

BELIDOR, Bernard Forest de: *Architecture hydraulique.* París, Chez Charles-Antoine Jombert, 1770.

BELLIDO, Luís: Proyecto de matadero y Mercado de ganados de Madrid Madrid, Imprenta municipal, 1910.

BERGER, C. y GUILLERME, V: Construction en ciment armé: applications générales, theories et systemes divers. París, Dunod, 1902.

BIED, J.: Chaux hidrauliques et ciments Portland de Lafarge et du Teil. París, Ch. Béranger Éditeur, 1903.

BLANC, Joseph: *Nota sobre las construcciones de hormigón armado La PoutreDalle-sistema Blanc privilegiado.* Bilbao, Imprenta y Encuadernación de Antonio Apellaniz, 1902.

CASADO RODRIGO, Juan: *Teoría práctica de las construcciones de hormigón armado.* Guadalajara, Imprenta del Colegio de Huérfanos, 1907.

CELLES AZCONA, Antonio: *Noticia de la aplicación de los materiales volcanizados de la villa de Olot a ciertas especies de construcciones y mayormente a las de Hidráulica.* Barcelona, Oficina de Antonio Brusi, impresor de Cámara, 1820.

CHOISY, Auguste: *L'art de bâtir chez les romains*. Librairie générale de l'architecture et des travaux publics Ducher et Cie., Paris, 1873. Publicado en España con el título *El arte de construir en Roma*. Madrid, CEHOPU, 1999.

CHRISTOPHE, Paul: *Le béton armé et ses applications.* París y Lieja, Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1902.

COIGNET, Edmond: Project de pont de 112 mètres d'ouverture, construction mixte en ciment et acier. París, Imprimerie Chaix, 1894.

COIGNET, François: Bétons agglomérés appiqués à l'art de construire. Paris, E. Lacroix, 1861.

COIGNET, François: États de service de la maison Coignet Père et ils et Cie et de son gérant actuel François Coignet. Paris, Typographie de Ch.Meyrureis, 1872

COINTERAUX, François: *École d'architecture rurale, quatrième cahier.* París, Chez l'auteur, 1791.

COMBAZ, Paul: La construction. Principes et applications. T. III. Les constructions en matériaux pierreux, terrassements, fondations, maçonneries, béton armé. París, Dunod, 1904

CONSTRUCCIONES Y PAVIMENTOS: *El cemento armado en España.* Barcelona, 1915.

COSYN, Léon: *Traité pratique des constructions en béton armé.* París, Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1911.

COTTANCIN, Paul: *Notice sur la parfaite construction moderne.* París, Imprimerie de la Société Anonyme de Publications Industrielles et d'Imprimerie administrative, 1897.

DESIRÉ MICHEL y Compañía: *Noticia sobre el cimento del Mediterráneo. Sus ventajas y usos.* Marsella, Imprenta y Litografía de Julio Barile, 1862

DUBOIS, J.: *Notice sur les constructions en ciment armé*. Macon, Protat Frères imprimeurs, 1896.

FERET, R: *Étude expérimentale du ciment armé.* París, Gauthier-Villars, 1906.

FERRADA, Ventura: *Tratado elemental de las rocas y materiales más usados en las construcciones.* Madrid, Imprenta de J. Limia y G. Urosa, 1868.

FORESTIER, Victor y DE TEDESCO, Napoleon: *Manuel théorique et pratique du constructeur en ciment armé.* París, Librairie de Charles Béranger, 1920.

FORT, Domingo: *Construcciones en hormigón armado.* Sociedad Bilbaína de Artes Gráficas. Bilbao, 1901.

FREYSSINET, Eugène: *Les hangars à dirigeables de l'Aéroport d'Orly.* París, Publications du Journal Le Génie Civil, 1923.

FREYSSINET, Eugène: *Un amour sans limite.* París, Éditions du Linteau, 1993.

GALERON, M.: Le Cosmorama, conférence faite à l'École des Beaux Arts. París, Alphonse Lemerre Éditeur, 1895.

GALLEGO RAMOS, Eduardo: *Estudios y tanteos. Cemento armado (cálculo y aplicaciones).* Madrid, Establecimiento tipográfico de Antonio Marzo, 1918.

GARIEL Y GARNIER, M: Dessins et notices relatifs à diverses constructions en ciment de l'exploitation de Vassy-les-Avallon (Yonne), appartenant à MM. Gariel et Garnier. París, Imprimerie de Bonaventure et Ducessois, 1845.

GAUTHEY, Émiland-Marie: *Traité de la construction des ponts.* Lieja, Chez Leduc, 1843.

GER Y LÓPEZ, Florencio: *Tratado de construcción civil.* Badajoz, Establecimiento tipográfico La Minerva Extremeña, 1898.

GONZÁLEZ, Félix: *Ensayos de cementos.* Madrid, Imprenta militar del Centro Electrotécnico, 1926.

GONZÁLEZ IRÚN, Antonio y LUENGO CARRASCAL, Juan: *Cementos armados*. Madrid, Bailly-Baillière, 1900.

HERING, Oswald C.: *Concrete and stucco houses.* Nueva York, McBride, Nast&Company, 1912.

HERNÁNDEZ RUBIO, Francisco: *Consideraciones sobre el hormigón armado. Conferencia dada en la noche del 13 de marzo de 1901.* Jerez, Imprenta de "El Guadalete", 1901.

JALVO, Mauricio: *Hormigón armado. Manual práctico del constructor.* Madrid, Librería Guttenberg de José Ruíz, 1903.

J. VICAT Y COMPAÑÍA: *Cemento Vicat artificial de doble cocción.* Madrid, Establecimiento tipográfico de G. Juste, 1896.

LAVERGNE, Gerard: Étude des divers systèmes de construction en béton armé. París, Baudry et Cie., 1899.

LEBRUN, François-Martin: *Méthode pratique pour l'emploi du béton.* París, Chez Carilian-Goeury, 1835.

LECANDA, MACIÀ Y CIA: Catálogo y nota de precios de las construcciones Monier de cemento y hierro inoxidable. Barcelona, Tipolitografía de L. Tasso, 1895.

LUENGO Y CARRASCAL, Juan y GONZÁLEZ E IRÚN, Antonio: *Cementos armados.* Madrid, Librería editorial de Baillo-Bailliere e hijos, 1900.

MAGNY, A.V.: *La construction en béton armé. Théorie et pratique.* París y Lieja, Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1932.

MARTÍNEZ, J.: Étude *sur les constructions en béton de ciment armé* . París, Imprimerie Paul Dupont, 1896.

MAUREL, A. y TEDESCO, N: Traité théorique et pratique de la résistance des matériaux appliquée au béton et au ciment armé. París, Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1904.

MESNAGER, A.: Cours de Béton Armé. Notes prises par les auditeurs. París, Imprimerie G. Goury, 1912

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, DES POSTES ET DES TÉLEGRAPHES. Commision du béton armé: *Expériences, rapports & propositions ministerielles relatives à l'emploi du béton armé.* París, Dunod et Pinat Éditeurs, 1907.

MOREL, Marie-Auguste: *Le ciment armé et ses applications.* París, Gauthier-Villars, 1902.

MÖRSCH, Emil: *Le béton armé, étude théorique et pratique.* París, Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1909.

MÚGICA, Serapio: *Geografía General del País Vasco-Navarro. Provincia de Guipúzcoa.* Barcelona, Establecimiento Editorial de Alberto Martín, 1918.

MÚJICA, Gregorio: *Monografía histórica de la villa de Eibar.* Eibar, Ayuntamiento de Eibar, 1990.

NACENTE, Francisco y RUBIO Y BELLVÉ, Mariano: *El constructor moderno.* Barcelona, Jaimé Solá-Sagalés Editor, 1886.

PALACIO, Alberto De: *Le ciment armé système Unciti*. Madrid, Imprenta de Ricardo Rojas, 1904.

PARDO, Manuel: *Materiales de construcción.* Madrid, Imprenta y Fundición de Manuel Tello, 1891.

PAVIN DE LAFARGE, J. y A.: *Cales y cementos J.A. Pavin de Lafarge. Cemento artificial Vicat.* Madrid, Establecimiento tipográfico Hijos de J. A. García, 1900.

PEÑA BOEUF, Alfonso: *Hormigón armado.* Madrid, Talleres gráficos Herrera, 1933.

PELAYO Y GÓMIZ, Eduardo: *Experimentos sobre la resistencia y comparación económica de los cementos españoles y extranjeros empleados en el dique de carena construido en la Bahía de Cádiz por la empresa de vapores trasatlánticos A. López y Cia.* Barcelona, Imprenta Peninsular de Mariol y López, 1884.

PLANAT, Paul: L'art de bâtir. T.III. Voutes en maçonnerie. Voutes d'églises. Flèches et tours. Béton armé. Silos. Paris, Librairie de la Construction Moderne, 1898.

REBOLLEDO, José Antonio: *Casas para obreros o económicas.* Madrid, Imprenta de la viuda e hijos de Galiano, 1872.

REBOLLEDO, José Antonio: *Manual del constructor.* Madrid, Sáez de Jubera Hermanos Editores, 1893.

RIBERA DUTASTE, José Eugenio: *Conferencia en el Ateneo sobre construcciones modernas de hormigón armado.* Madrid, Establecimiento tipográfico Hijos de J.A. García, 1903.

RIBERA DUTASTE, José Eugenio: *Hormigón y cemento armado, mi sistema y mis obras.* Madrid, Imprenta de Ricardo Rojas, 1902.

RIBERA DUTASTE, José Eugenio: *Los progresos del hormigón armado en España.* Madrid, Imprenta Alemana, 1907.

RIBERA DUTASTE, José Eugenio: *Puentes de fábrica y hormigón armado.* Madrid, Rivadeneyra,1932.

RIBERA DUTASTE, José Eugenio: *Puentes de hormigón armado.* Madrid, Establecimiento tipográfico Hijos de J.A. García, 1903.

RONDELET, Jean: *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. París, Chez l'auteur, enclos du Panteon, 1814. Libro segundo.

ROSENBERG, Karl: *Los diversos sistemas de construcciones de cemento armado*. Barcelona, Casa editorial Feliú y Susanna, 1912.

SALAVERRÍA, Miguel: *Construcciones en hormigón armado a prueba de incendios.* San Sebastián, Imprenta sin identificar, 1908.

SANTARELLA, Luigi: *Il cemento armato nella costruzioni civili ed industriali.* Milano, Ulrico Hoepli, 1928.

SECO DE LA GARZA, Ricardo: Construcciones de hormigón de cemento armado, sistema Hennebique privilegiado. Extracto de la memoria descriptiva del sistema. Madrid, imprenta de Hernando y C.ª. Madrid, 1898.

SECO DE LA GARZA, Ricardo: *Cemento Armado. Cálculo rápido. Datos prácticos.* Madrid, P. Orrier Editor, 1910.

SCHÜLE, F.: *Prescriptions provisoires pour l'élaboration des projets, l'éxecution et le contrôle des constructions en béton armé.* Zurich, editorial desconocida, 1903.

SMEATON, A.C.: The builder's Pocket Companion; containing the elements of building, surveying and architecture. Philadelphia, Henry Carey Baird, 1850.

SMEATON, John: *A narrative of the building and a description of the construction of the Edystone Lighthouse with stone".* Londres, librería de H. Hughs, 1791. Edición traducida al español publicada por Intemac. Madrid, 1978.

SOCIÉTÉ DES CONSTRUCTIONS EN FER-BÉTON, SYSTÈME MATRAI: *Notice descriptive des constructions en fer béton Sytème Matrai.* Tours, Imprimerie E. Arrault et Cie, 1899.

TAYLOR, Frederick: *Béton et mortier de ciment armés ou non armés.* París, Dunod Éditeur, 1920.

TEJÓN Y MARÍN, Juan: *Discurso leído ante la Real Academia de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes de Córdoba en 21 de junio de 1902 en su recepción como académico de número.* Córdoba, Imprenta del Diario de Córdoba, 1902.

VACCHELLI, José: *Las construcciones de hormigón y de cemento armado.* Madrid, Adrián Romo Editor, 1910.

VALDÉS, Nicolás: *Manual del ingeniero y del arquitecto*. Madrid, Establecimiento tipográfico de Gabriel Alhambra, 1870.

UHAGÓN, Recaredo: *Proyecto de saneamiento de Valladolid, Memoria descriptiva*. Valladolid, Establecimiento tipográfico de F. Santarén, 1890.

VICAT, Joseph Louis: Résumé des connaissances positives actuelles sur les qualités, le choix et la convenance réciproque de matériaux propres à la fabrication des mortiers et ciments calcaires. París, de l'Imprimerie de Firmin Didot, 1828.

VITRUVIO, Marco Lucio: *Los diez Libros de Arquitectura*. Libro segundo, capítulo VI. Traducción del latín publicada por la Editorial Iberia. Barcelona, 1977.

ZAFRA, Juan Manuel De: *Construcciones de hormigón armado*. Madrid, Imprenta de V. Tordesillas, 1911.

ZAFRA, Juan Manuel De: El hormigón armado y los grandes embalses. Madrid, Instituto de ingenieros civiles de España, 1912.

ZAFRA, Juan Manuel De: *Los progresos de la Construcción y de la Mecánica aplicada. Discurso leído en el acto de su recepción en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.* Madrid, Imprenta Clásica Española, 1919

Estudios posteriores

ADAM, Jean-Pierre: *La Construcción Romana. Materiales y técnicas.* León, Editorial de los Oficios, 2002.

ALCAIDE, J: *España, Economía: ante el siglo XXI.* Madrid, Espasa, 1999.

ALMANSA MARTÍNEZ, Ana y MÉNDIZ NOGUERO, Alfonso: *Financiera y Minera en Andalucía, cien años de historia industrial.* Málaga, Sociedad Financiera y Minera, 2000.

ARREDONDO, Francisco; BENITO, Carlos; ECHEGARAY, Gonzalo; NADAL, Jaime; PÁEZ, Alfredo; y DEL POZO, Florencio: *La obra de Eduardo Torroja.* Madrid, Instituto de España, 1977.

BANHAM, Reyner: *La Atlántida de hormigón*. Madrid, Nerea, 1989.

BASSEGODA NONELL, Juan: *Aproximación a Gaudí.* Madrid, Doce calles, 1992.

BONET CORREA, Antonio; LORENZO FORNIES, Soledad y MIRANDA REGOJO, Fátima: *La polémica ingenieros-arquitectos en España, siglo XIX.* Madrid, Ediciones Turner, 1985.

BOSC, Jean-Louis; CHAVEAU, Jean Michel; CLÉMENT, Jacques; DEGENNE, Jacques; MARREY, Bernard y PAULIN, Michel: *Joseph Monier et la naissance du ciment armé.* París, Editions du Linteau, 2001.

BRAVO NIETO, Antonio: *Arquitectura y urbanismo español en el Norte de Marruecos*. Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transportes, 2000.

BRAVO NIETO, Antonio: *La construcción de una ciudad europea en el contexto norteafricano: arquitectos e ingenieros en la Melilla contemporánea*. Melilla, Servicio de publicaciones de la Ciudad Autónoma de Melilla, 1996.

BRAVO NIETO, Antonio: *La ciudad de Melilla y sus autores*. Melilla, Servicio de publicaciones de la Ciudad Autónoma de Melilla, 1997.

CÁRCAMO, Joaquín y ROSSEL, Jaume: *La fábrica Ceres de Bilbao. Los orígenes del hormigón armado y su introducción en Bizkaia.* Bilbao, Colegio Oficial de aparejadores y arquitectos técnicos de Bizkaia, 1994.

COHEN, Jean-Louis: *Mies van der Rohe.* Madrid, Ediciones Akal, 2007.

COLLINS, Peter: *Concrete*. *The vision of a new architecture. A study of Auguste Perret and his precursors*. Londres, Faber&Faber, 1959. Publicado en Francia con el título *Splendeur du Béton*. París, Hazan, 1995.

CURTIS, William J. R. : *La arquitectura moderna desde 1900.* Londres, Pahidom Press Limited, 2006.

CHUECA GOITIA, Fernando: Historia de la Arquitectura Occidental. Tomo V, el siglo XX, de la Revolución Industrial al Racionalismo. Madrid, Dossat, 1981.

DALMASES BALAÑÁ, Nuria De y PITARCH, Antonio José: *Arte e industria en España, 1774-1907.* Barcelona, Editorial Blume, 1982.

D'AMBLY, Pierre: *Naissane d'une entreprise. Les Pavin de Lafarge.* París, François-Xavier de Guibert, Office d'Édition, 2000.

DA ROCHA ARANDA, Oscar: *El modernismo en la arquitectura madrileña. Génesis y desarrollo de una opción ecléctica. Tesis doctoral.* Madrid, ETS de Arquitectura, 2005.

DELHUMEAU, Gwenaël; GUBLER, Jacques; LEGAULT, Réjean y SIMONET, Cyrille: *Le béton en representation. La memoire photographique de l'entreprise Hennebique 1890-1930.* París, Hazan, 1993.

DELHUMEAU, Gwenaël: *L'invention du béton armé*. *Hennebique 1890-1914.* París, Norma Editions, 1999.

DIÉGUEZ PATAO, Sofía: *La Generación del 25. Primera arquitectura moderna en Madrid.* Madrid, Cuadernos de Arte Cátedra, 1997.

FERNÁNDEZ TROYANO, Leonardo: *Tierra sobre el agua. Visión histórica universal de los puentes*. Madrid, Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, 1999.

FERNÁNDEZ ALBA, Antonio; GUYON, Frank y RUI-WAMBA, Javier: *Eugène Freyssinet, un ingeniero revolucionario.* Madrid, Fundación Esteyco, 2003.

FLORES, Carlos: *Arquitectura Española Contemporánea, I. 1880-1950.* Bilbao, Aguilar, 1961.

FRAMPTON, Kenneth: *Estudios sobre cultura Tectónica.* Madrid, Akal, 1999.

GARCÍA-GUTIÉRREZ MOSTEIRO, Javier: *Las bóvedas de Guastavino en América*. Madrid, 2001.

GARGIANI, Roberto: *Auguste Perret*. París, Gallimard/Electa, 1994

GIEDION, Sigfried: Construire en France. Construire en fer. Construire en béton. Paris, Editions de la Villette, 2000.

GONZÁLEZ TASCÓN, Ignacio y VELÁZQUEZ, Isabel: *Ingeniería romana en Hispania. Historia y técnicas constructivas.* Madrid, Fundación Juanelo Turriano, 2004.

GUERRA DE LA VEGA, Ramón: *Madrid, Guía de Arquitectura (1800-1919).* Madrid, Artes Gráficas Benzal, 1980.

HAMMOUTÈNE, Frank y MARREY, Bernard: *Le béton à Paris.* Paris, Éditions du Pavillon de l'Arsenal, 1999

HERNANDO, Javier: *Arquitectura en España, 1770-1900.* Madrid, Cátedra, 1989.

HEWLETT, Peter: Lea's Chemistry of cement and Concrete. Amsterdam, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

HOYO APARICIO, Andrés y SAZATORNIL RUÍZ, Luís: *Santander, fin de siglo.* Santander, Xavier Agenjo Bullón/Manuel Suárez Cortina, Editores, 1998.

IBÁÑEZ GÓMEZ, Maite; TORRECILLA GORBEA, Mª José; y ZABALA LLANOS, Marta: *Cementos Rezola, 150 años de historia.* San Sebastián, Italcementi Group, 1999.

KERSTEN, C: *Construcciones de hormigón armado.* Barcelona, Gustavo Gili Editor, 1930.

KOSTOF, Spiro: *Historia de la Arquitectura.* Madrid, Alianza Editorial, 2004.

LASSO DE LA VEGA ZAMORA, Miguel; RIVAS QUINZANOS, Pilar; y SANZ HERNANDO, Alberto: *Memoria histórica para el proyecto de rehabilitación del antiguo Matadero Municipal de Madrid.* Servicio Histórico del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 2005.

LENIAUD, Jean-Michel: *Les bâtisseurs d'avenir.* Fayard, París, 1998.

MARTÍN RAMOS, Ángel: *La construcción de Tolosa.* Bilbao, Colegio Oficial de Arquitectos Vasco-Navarro, 1993.

MOLINA COBOS, Antonio: *Descripción de seis puentes de Málaga.* Madrid, Colegio de ingenieros de Caminos, 1987.

MARTÍN GARCÍA, José; PALICIO SUÁREZ, José; y PIQUERO MENÉNDEZ, José: *El libro de Box-Tudela Veguín.* Mieres, Imprenta Firma, 1998.

NELVA, Riccardo y SIGNORELLI, Bruno: *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia. Il sistema Hennebique.* Milán, Ediziones di scienza e tecnica, 1990.

NERVI, Pier-Luigi: *Costruire correttamente.* Publicado en Francia con el título *Savoir construire.* París, Éditions du Linteau, 1997.

OLAIZOLA ELORDI, Juan José: *El tranvía de Arratia (1902-1964).* Bilbao, BBK, 2004.

OLAIZOLA ELORDI, Juan José: *El tranvía eléctrico de Bilbao a Durango y Arratia.* Bilbao, Eusko Trenbideak, 2000.

PALOMAR LLOVET, Patricio: *La historia más que centenaria de un importante sector: la industria del cemento.* Barcelona, VCA Editors, 203.

ROJO CAJIGAL, Juan Carlos: *Respuestas empresariales en el País Vasco ante la crisis económica de 1921.* Madrid, Universidad Carlos III, 2004.

ROSELL, Jaume y CÁRCAMO, Joaquín: *La fábrica Ceres de Bilbao. Los orígenes del hormigón armado y su introducción en Bizkaia.* Bilbao, Colegio Oficial de aparejadores y arquitectos técnicos, 1994.

SÁENZ RIDRUEJO, Fernando: *Los ingenieros de caminos*. Madrid, Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, 1993.

SÁENZ RIDRUEJO, Fernando: *Ingenieros de caminos del siglo XIX*. Madrid, Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, 1990.

SÁNCHEZ MARROYO, Fernando: *La España del siglo XX. Economía, demografía y sociedad.* Madrid, Ediciones Istmo, 2003.

SAN ANTONIO GÓMEZ, Carlos De: *El Madrid del 27, arquitectura y vanguardia: 1918-1936.* Madrid, Consejería de Educación, 1999.

SAZATORNIL RUÍZ, Luís: *Arquitectura y desarrollo urbano de Cantabria en el siglo XIX.* Santander, Universidad de Cantabria, 1996.

SIMONNET, Cyrille: *Le béton, histoire d'un matériau.* Paris, Éditions Parenthèses, 2005.

SOBRINO SIMAL, Julián: *Arquitectura industrial en España, 1830-1990*. Madrid, Cátedra, 1996.

STRIKE, James: Construction into design: The influence of news methods of construction on architectural design. Oxford, Butterworth-Heinemann, 1991. Publicado en España con el título De la construcción a los proyectos. Barcelona, Editorial Reverté, 2004.

TAYLOR, Rabun: *Los constructores romanos. Un estudio sobre el proceso arquitectónico.* Madrid, Akal, 2003.

TORTELLA, G.: *El desarrollo de la España contemporánea.* Madrid, Alianza, 1994.

UCHA DONATE, Rodolfo: *50 años de arquitectura española (1900-1950)*. Madrid, Adir Editores, 1980.

URRUTIA, Ángel: *Arquitectura Española, siglo XX.* Madrid, Cátedra, 1997.

V.V. A.A.: *Antonio Palacios, constructor de Madrid.* Madrid, Ediciones La Librería, 2002.

V.V. A.A: *Béton et Patrimoine.* Paris, Cahiers de la section française de l'ICOMOS, 1999.

V.V A.A: *Cent ans de béton armé.* París, Ed. Science & Industrie, 1949.

V.V. A.A.: *Écrits d'ingénieurs.* Articulos recopilados por Marrey, Bernard. París, Éditions du Linteau, 1997.

V.V. A.A.: *José Eugenio Ribera, ingeniero de caminos, 1864-1936. Catálogo de la exposición celebrada en el Colegio de ingenieros de caminos en julio de 1982.* Madrid, Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1982.

V.V. A.A.: *La modernidad en la obra de Eduardo Torroja. Catálogo de la exposición.* Madrid, Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1979.

WARD PERKINS, John: *Arquitectura romana*. Madrid, Aguilar, 1989

Publicaciones periódicas contemporáneas a los hechos investigados.

Annales de Ponts et Chausées. París, Carilian-Goeury, 1831-1944.

Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña. Barcelona, 1899-1925

Arquitectura y Construcción. Barcelona, Serra Hermanos y Russell, 1897-1910

Le Béton Armé. París, Imprimerie Welhoff et Roche, 1898-1930

The Builder. Londres, Publishing Office, 1844-1852.

El Cemento Armado. Madrid, Imprenta de Ricardo Rojas, 1901-1903

La Ciudad Lineal. Madrid, Compañía Mdrileña de Urbanización, 1897-1939.

La Construcción Moderna. Madrid, Talleres de Antonio Marzo, 1903-1930

Gaceta del Constructor. Madrid, 1873- 1888.

Le Génie Civil. París, Imprimerie Chaix, 1880-1936

El Hormigón Armado. Bilbao, 1904-1908.

Ingeniería. Madrid, 1905-1933.

Madrid Científico. Establecimiento tipográfico de Idamor Moreno. 1900-1936

Memorial de ingenieros del Ejército. Madrid, Imprenta del Memorial de Ingenieros, 1864-1936.

Revista de Obras Públicas. Madrid, Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 1856-actualidad.

Revista Ibérica. Barcelona, 1914-1939

Archivos e instituciones consultadas

Archivo Municipal de Avilés (Asturias).

Archivo Municipal de Bergara (Guipúzcoa)

Archivo Municipal de Errentería (Guipúzcoa)

Archivo Municipal de Hernani (Guipúzcoa)

Archivo Municipal de Huesca.

Archivo Municipal de Jabugo (Huelva)

Archivo Municipal de Llanes (Asturias).

Arxiu Municipal de Lleida.

Archivo Municipal de Málaga.

Archivo de Villa. Madrid.

Archivo Central de Melilla.

Archivo Municipal de Mieres (Asturias).

Archivo del Ayuntamiento de Orduña (Vizcaya)

Archivo Municipal de Torrelavega (Cantabria).

Archivo Municipal de Valladolid.

Archivo General de la Administración.

Archivo General de Gipuzkoa.

Archivo Real y General de Navarra.

Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Madrid.

Biblioteca Nacional de España. Madrid.

Bibliothèque Nationale de France. París. Francia.

Biliothèque Nationale Suisse. Berna. Suiza.

Biblioteca Pública de Jaén.

Biblioteca Pública de León.

Biblioteca del Senado. Madrid.

Col.legi d'arquitectes de Catalunya. Barcelona.

Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

Colegio Oficial de Arquitectos Vasco-Navarro. Bilbao.

Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Institution of Civil Engineers. Londres. Reino Unido.

Institut Français d'Architecture. París. Francia

Hemeroteca Municipal de Madrid

Instituto de Historia y Cultura Militar. Madrid y Palma de Mallorca.

Instituto Geográfico Vasco "Andrés de Urbaneta"

Fundación de los Ferrocarriles Españoles. Archivo Histórico Ferroviario. Madrid.

Oficina Española de Patentes y Marcas. Archivo Histórico. Madrid.

École Nationale des Ponts et Chausées. París. Francia.

École Polytechnique Fédérale de Zurich. Suiza.

Universidad de Granada.