



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA

Trabajo Final de Grado (TFG)

*Ricardo Barredo*

TRAYECTORIA PROFESIONAL DE ESTE RECONOCIDO INGENIERO

Alumna  
**Celia Ruiz Cerdán**  
Curso 2018 - 2019

Tutor  
**Ernesto Jesús Fenollosa Forner**  
Grado en Fundamentos de la Arquitectura

## RESUMEN

---

Ricardo Barredo es uno de los ingenieros españoles que alcanzó un amplio reconocimiento internacional, aportando innovadores sistemas que permitieron el desarrollo del hormigón pretensado y postesado.

Barredo, fundador de la empresa constructora *Construcciones Barredo*, trabajó de la mano del reconocido ingeniero Eduardo Torroja en diferentes obras como el Mercado de Algeciras. Fundó el primer laboratorio de pruebas de materiales privado y colaboró en el desarrollo de la Asociación Nacional del Pretensado.

Diseñó diferentes sistemas entre los que destaca el Sistema Barredo, consistente en un gato que tiraba de los alambres de forma independiente. En base a estos gatos se generaron una serie de patentes de vigas prefabricadas en las que colaboró con Fisac, como las famosas vigas "hueso".

Su trabajo e investigación marcó todo el campo de la construcción tanto en territorio nacional como internacional. Múltiples fueron sus reconocimientos profesionales en diferentes países de todo el mundo, que agradecieron su aportación a la arquitectura y a la ingeniería.

**Palabras clave:** Ricardo Barredo, Sistema Barredo, Fisac, Eduardo Torroja, Pretensado, Vigas Hueso, Construcciones Barredo, Mercado de Algeciras.

## RESUM

---

Ricardo Barredo és un dels enginyers espanyols que va aconseguir un ampli reconeixement internacional, aportant innovadors sistemes que van permetre el desenvolupament del formigó pretesat i postesado.

Barredo, fundador de l'empresa constructora Construccions Barredo, va treballar de la mà del reconegut enginyer Eduardo \*Torroja en diferents obres com el Mercat d'Algesires. Va fundar el primer laboratori de proves de materials privat i va col·laborar en el desenvolupament de l'Associació Nacional del Pretesat.

Va dissenyar diferents sistemes entre els quals destaca el Sistema Barredo, consistent en un gat que tirava dels filferros de forma independent. Sobre la base d'aquests gats es van generar una sèrie de patents de bigues prefabricades en les quals va col·laborar amb Fisac, com les famoses bigues "os".

El seu treball i investigació va marcar tot el camp de la construcció tant en territori nacional com internacional. Múltiples van ser els seus reconeixements professionals en diferents països de tot el món, que van agrair la seva aportació a l'arquitectura i a l'enginyeria.

**Paraules clau:** Ricardo Barredo, Sistema Barredo, Fisac, Eduardo Torroja, Pretesat, Bigues Hueso, Construccions Barredo, Mercat d'Algesires.

## ABSTRACT

---

Ricardo Barredo is one of the Spanish engineers who have wide international recognition, providing innovative systems that allow the development of prestressed and post-tensioned concrete.

Barredo, founder of the construction company Construcciones Barredo, worked with the renowned engineer Eduardo Torroja in different buildings such as the Mercado de Algeciras. He founded the first private materials testing laboratory and collaborated in the development of the National Prestressing Association.

He designed different systems among which the Barredo System stands out, consisting of a cat that pulled the wires independently. Based on these cats, a series of patents of prefabricated beams were generated in which he collaborated with Fisac, such as the famous "bone" beams.

His work and research marked the entire field of construction both nationally and internationally. Multiple were his professional awards in different countries around the world, who thanked his contribution to architecture and engineering.

**Keywords:** Ricardo Barredo, Barredo System, Fisac, Eduardo Torroja, Prestressed, Bone Beams, Construction Barredo, Algeciras Market.

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
a. Objetivos y metodología.....	7
b. Contexto histórico y social.....	9
c. Línea cronológica.....	13
<b>2. PATENTES.....</b>	<b>16</b>
a. Invenciones.....	17
b. Divulgación de sus patentes.....	18
c. Descripción de sus patentes.....	21
<b>3. EL HORMIGÓN Y EL MÉTODO BARREDO.....</b>	<b>28</b>
a. Hormigón pretensado y postesado.....	29
b. Origen y comparativa con otros sistemas.....	32
c. Sistema Barredo.....	34
d. Sistema Multi-B.....	37
<b>4. OBRAS REALIZADAS POR PROCEDIMIENTOS BARREDO.....</b>	<b>38</b>
a. Cubiertas.....	39
b. Obras especiales.....	53
c. Puentes.....	66
<b>5. EL MÉTODO EN LA ACTUALIDAD.....</b>	<b>81</b>
a. Tecpresa.....	82
b. Tendencias del pretensado y postesado.....	83
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>89</b>
a. Fuentes.....	90
b. Referencias bibliográficas.....	92
c. Referencias fotográficas.....	93



### OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo principal del presente trabajo consiste en la revisión de la trayectoria profesional de Ricardo Barredo, ingeniero premiado en todo el mundo. Reconocido por su investigación en el campo del hormigón pretensado y postesado y por su aportación a la construcción con sus múltiples invenciones y aportaciones.

Como primer objetivo parcial se pretende la descripción de los sistemas patentados por él. Dichas patentes son referentes a construcciones fijas y técnicas industriales diversas. Se expondrán sus invenciones visualizando así el camino profesional que fue tomando Barredo a lo largo de su vida, constantemente mejorando y enriqueciendo el mundo de la construcción.

Como segundo objetivo parcial se detallará el método que le dio el reconocimiento internacional que lleva su nombre. Se explicará la génesis de su método de postesado y su funcionamiento, comparándolo con otros sistemas similares datados en la misma época, y que, en parte competían con el sistema de Barredo en cuestión.

Como último objetivo parcial se realizará una relación de los proyectos de arquitectura e ingeniería más importantes en los que, de una forma y otra, participó. Ultimando con la mención de la situación actual del método y su aplicación en obras presentes.



*Fig. 1 Escudo de la Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales de*

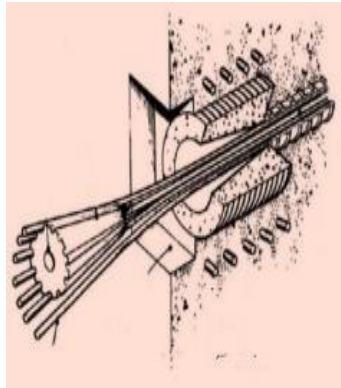


Fig. 2 Esquema de anclaje diseñado por el ingeniero E. Freyssinet.

Para ello se propone la siguiente metodología:

Se ha recopilado la información referente a todo lo que envolvía a Barredo. Se ha buscado información de sus patentes, de sus obras, de sus empresas y de su colaboración en diferentes entidades y con distintos profesionales del mundo de la construcción en múltiples medios de información. Estos medios comprenden desde Bibliotecas por todo el territorio nacional hasta el contacto directo con personas cercanas al protagonista del trabajo.

A partir de la información disponible recopilada se pasó a gestionarla. Ha sido necesario ordenar todas las noticias, los datos, las referencias y múltiples investigaciones que se disponían para poder entender toda la averiguación. Hubo que clasificar la información cronológicamente y almacenarla en pequeños grupos que configuraban un índice.

Una vez analizada y entendida toda la información se procedió a escribir y desarrollar el trabajo presente. Con la ayuda de la clasificación de los datos generales se fue desglosando cada apartado individualmente, formando el conjunto del trabajo. Se han realizado diferentes tablas y dibujos que acompañan la información y aclaran y amenizan parte del texto.

Se finaliza el trabajo con una serie de conclusiones que resumen las ideas principales a las que se ha llegado tras realizar un profundo análisis sobre el eminente e insuficientemente reconocido ingeniero.

## CONTEXTO HISTÓRICO Y SOCIAL

Ricardo Barredo, nacido en la primera década del siglo XX en tierras gallegas, estudió grado medio de ingeniería industrial en Madrid a principios de 1920. Fue en ese momento, mientras se encontraba estudiando, cuando Torroja buscó en esa escuela una persona para la dirección del personal encargado de construir cimbras y encofrados. [1]

Torroja, que trabajaba para la empresa *Hidrocivil* a las órdenes de José Eugenio Ribera, profesor de ingeniería de caminos e introductor en España de la patente de Hennebique, escogió a Barredo como jefe de encofrados en diferentes obras. Una de ellas fue el famoso Acueducto de Tempul, sobre el río Guadalete, en Jerez de la frontera, donde ejerció como el encargado de las obras y perito mecánico. [1]

Cabe destacar que esta colaboración marcó el inicio de una profunda amistad entre ambos ingenieros compartiendo conocimientos a lo largo de toda su vida. Hay que mencionar que, desafortunadamente, Barredo vivió a la sombra de Torroja a lo largo de su trayectoria. [1]

Barredo, en los inicios de su vida profesional, formó una empresa constructora que llevaría su propio nombre, *Construcciones Barredo*. A través de dicha constructora llevó a cabo muchas de las obras



Fig. 3 Universidad de ingeniería industrial de Madrid.



Fig. 4 Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. Dodecaedro.

proyectadas por Eduardo Torroja. Sobra decir que, además de colaborar en las obras de éste, participó también en la construcción de estructuras de diversos ingenieros y arquitectos. [1]

En 1934, Barredo, junto a un pequeño grupo de profesionales dedicados a temas relacionados con la construcción, entre los que se encontraba Gaspar Blein, Modesto López Otero o el mismo Torroja, fundó el *Instituto Técnico de la Construcción y Edificación (ITCE)*. Este instituto suplió una gran carencia existente en España, debido a que el único centro de investigación de la construcción que existía era el *Laboratorio Central de Ensayos de Materiales de Construcción* adscrito al Ministerio de Obras Públicas. El ITCE se convirtió en la primera organización privada en España con la finalidad de impulsar la investigación, la promoción y la divulgación de todos aquellos temas relacionado con la construcción civil y arquitectónica, en estrecho contacto con los profesionales y la industria de la construcción. [2]

En 1940, colaboró en la fundación del primer laboratorio de pruebas de materiales privado y ayudó al desarrollo del Laboratorio de Torroja y de la *Asociación Técnica Española del Pretensado, ATEP*. Paralelamente al desarrollo de dicha Asociación, se puso en marcha la revista *Hormigón y Acero*, difundiendo a través de ella el conocimiento técnico y científico nacional e internacional. Eran asiduas las publicaciones de obras y proyectos donde Barredo había participado y las de sus diferentes patentes y su método de postesado. [2]

En 1951 se impulsó la creación de la *Federación Internacional del Pretensado, FIP*, con aportaciones directas de Barredo. Ésta era la encargada, entre diversas funciones, de recoger las «Recomendaciones del Comité Internacional F.I.P. – C.E.B.» para realizar

la comprobación resistente en las obras de hormigón pretensado. [3] El 12 de junio de 1974, en la celebración del XXV Aniversario de la ATEP, el profesor Franco Levi, presidente honorario de la F.I.P. y del C.E.B. dio cuenta, entre otras cosas, de la creación de las «Medallas de la A.T.E.P.». Al término de su intervención, otorgó una de estas medallas a D. Ricardo Barredo. [4]

Por otra parte, en los estatutos de ATEP se contempla la figura de «Miembro de honor» para premiar a aquellos miembros que por sus excepcionales circunstancias se han hecho acreedores de ello. Ricardo Barredo fue premiado oficialmente como Miembro de honor en el año 1976. [5]

Posiblemente, su mayor aportación al mundo de la arquitectura, de la ingeniería y del mundo de la construcción en general fue su sistema de postesado, conocido como Sistema Barredo o Sistema Español. Torroja había utilizado de forma intuitiva la idea del pretensado en determinados proyectos, siendo el mayor precursor de las estructuras pretensadas en España. Lo que ocurría era que el pretensado inicial tiraba de todos los alambres, circunstancia que no le convencía a Eduardo Torroja para su aplicación. Por ese motivo, instó a Ricardo Barredo a desarrollar un nuevo método de postesado que cumpliera sus premisas.

Todos los conocimientos de Ricardo Barredo respecto a la ejecución de las obras y a la construcción en sí fueron el motivo de la gran amistad que hubo entre ambos ingenieros. Como anécdota se destaca el hecho de que Torroja fue el padrino de la boda de Barredo y del bautismo de su hijo. [6]

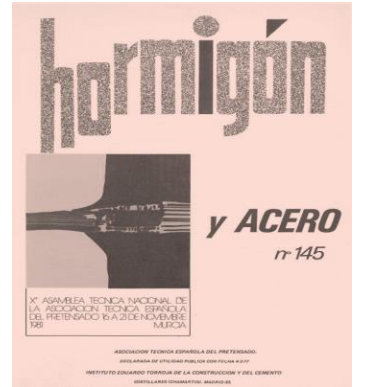


Fig. 5 Portada del nº145 de la revista Hormigón y acero.

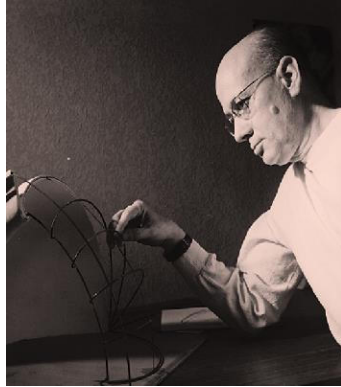


Fig. 6 Retrato de Eduardo Torroja.

Por último, se menciona que, ambos ingenieros no solo colaboraron en la construcción de obras, sino que también se presentaron a diversos concursos como el de un puente sobre el río Palmones, donde propusieron un puente cimentado con pilotes y con armaduras pretensadas que permitía reducir la altura eficaz de cada viga. [7]

En definitiva, Barredo fue un ingeniero con una forma de pensar metódica y ordenada, que resolvía los problemas utilizando los recursos que le ofrecía la época. Su forma de trabajar era rigurosa y no perdió jamás la capacidad de analizar, investigar e innovar.

## LÍNEA CRONOLÓGICA

Se ha realizado una línea de tiempo que ha permitido ordenar una secuencia de eventos e hitos en la vida de Barredo visualizando con claridad la relación temporal entre ellos.

Se han identificado los eventos y las fechas en que estos ocurrieron, se han ubicado en orden cronológico y se han seleccionado los hitos mas relevantes para poder establecer los intervalos de tiempo. Se han agregado imágenes para complementar y presentar los resultados en forma más didáctica.

La línea de tiempo ha sido valiosa para organizar la información cronológicamente de los acontecimientos mas importantes en la vida profesional de Ricardo Barredo. Además, ha servido de gran ayuda y utilidad para poder construir un conocimiento general sobre su trayectoria.

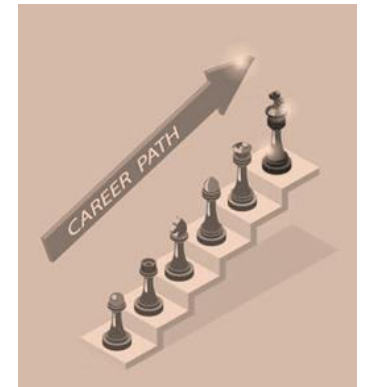
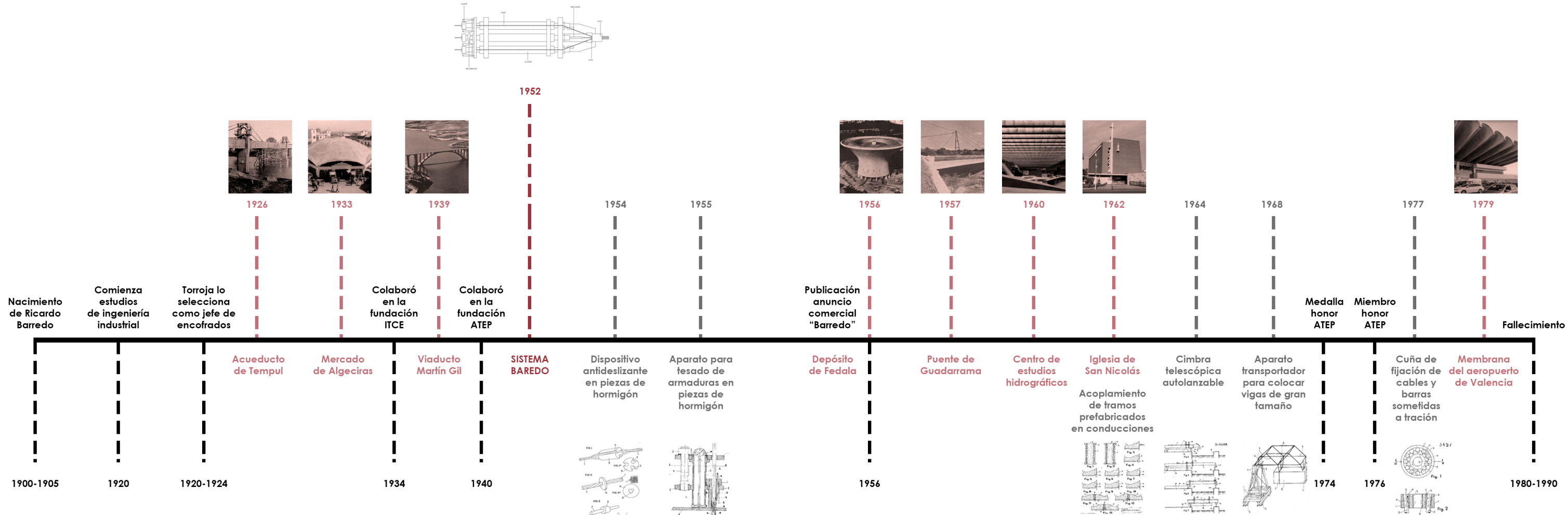
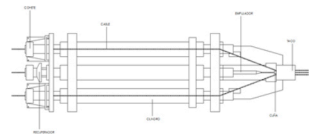


Fig. 7 Piezas de ajedrez simulando el crecimiento profesional.





## INVENCIONES

Barredo pasó su vida ideando todo tipo de sistemas, mejorando, potencialmente, la construcción. Patentó diversos inventos, generalmente guiados por la visión técnica de Eduardo Torroja.

Estas invenciones iban desde sistemas para construcciones fijas a técnicas industriales diversas como sistemas aplicados a la mecánica, a la iluminación, a la calefacción, al armamento, a la voladura, a la física o incluso al transporte. [8]

Las patentes de Barredo eran muy aclamadas en el mercado nacional llegando a ser utilizadas incluso en el extranjero. En cuanto a su patente de postesado, quizás la más exitosa de todas, competía internacionalmente con otras patentes de postesado como Freyssinet, CCL o BBRV. [8]

Múltiples ingenieros y arquitectos, entre los que destacan Torroja o Fisac, confiaron siempre en Barredo y en sus iniciativas en el campo del postesado. De hecho, Fisac, aplicaba el postesado en los edificios industriales que necesitaban de mayores luces libres.

Sobra decir que, sus invenciones eran aplicadas tanto en estas experiencias como a nivel de consolidaciones de estructuras de todo tipo, incluyendo obras arquitectónicas.

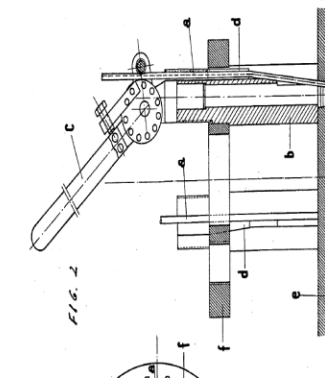


Fig. 8 Sistema de tensado.



Fig. 9 Anuncio de la empresa de Ricardo Barredo en la revista de Informes de la Construcción.

## DIVULGACIÓN DE SUS PATENTES

Las patentes de Ricardo Barredo se dieron a conocer en todo el territorio nacional e internacional gracias a los “anuncios” de la revista *Informes de las Construcción*. Se publicaron tanto sus patentes como también las de numerosas empresas que aportaban diversas innovaciones al mundo de la construcción.

Con el fin de proporcionar a los lectores el conocimiento de lo que el mercado de la construcción ofrecía en cada momento, la revista incluyó anuncios comerciales de utilidad para proyectistas y constructores del mundo de la Arquitectura y la Ingeniería. Estos anuncios divulgaban información sobre: empresas constructoras, laboratorios de control, materiales, patentes diversas, servicios de cálculo, instalaciones, andamiajes, maquinarias, acabados, etc. [8]

En el año 1956, bajo la dirección de Fernando Cassinello, la revista “*Informes*”, en concreto en el número 83, comunicó a sus lectores que se había decidido incorporar anuncios comerciales. En este número se publicaron un total de cinco anuncios, correspondientes a las empresas: Barredo, Comelsa, Hidrocivil, Huarte y Cia, e Icon. Para captar clientes de anuncios comerciales la revista diseñó diferentes reclamos que bajo el lema “*informes en Informes*” aparecían esporádicamente entre sus páginas, en diferentes idiomas y colores. [8]

Estos anuncios no solo difundían la innovación, sino que también la potenciaban, mostrando el camino a seguir de forma clara, práctica y específica, a través de ejemplos de obras construidas de reconocido prestigio.

Los anuncios referentes a las patentes Barredo consistían en el montaje fotográfico de imágenes de obras de arquitectura e ingeniería que habían sido construidas utilizando su patente, como son el “Depósito elevado de Fedala” proyecto de Eduardo Torroja, y la “Casa Barredo” proyecto del ingeniero Carlos Barredo, su hijo, y el arquitecto Fernando Cassinello.



Fig. 11 Anuncios de la empresa de Ricardo Barredo en la revista de Informes de la Construcción.

De esta forma cada tipo de anuncio cumplía un objetivo diferente, el primero difundía las diferentes utilidades y evolución de la patente, y el segundo mostraba a los lectores casos concretos de aplicación de dicha patente, en obras innovadoras, que, sin duda, servían de reclamo. [8]

A partir del conjunto de anuncios que la revista publicó durante varias décadas, y de los diferentes artículos y noticias de la revista, se puede hoy reconstruir la historia de la evolución de estas patentes y empresas a la vez que estas historias particulares nos permiten reconstruir el



Fig. 10 Retrato de Fernando Cassinello.

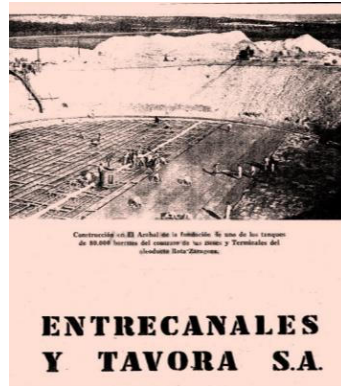


Fig. 12 Anuncio de la empresa Entrecanales y Tavora S.A.

el progreso del Mercado de la Construcción. Parte de estas pioneras empresas constructoras fueron: Agroman, Barredo, Colomina, Dragados, Enher, Entrecanales y Tavora, Fernandez, Fomento de Obras y Construcciones, Helma, Hidrocivil, Huarte y Cía, Laing, OMES, SICOP, Urbis... [8]

La mayor parte de estas empresas mantuvieron un estrecho contacto con Eduardo Torroja y el Instituto de las Ciencias de la Construcción, y algunas de ellas fueron las que construyeron las más famosas obras proyectadas por el propio Eduardo Torroja, introduciendo en muchos casos nuevas patentes que fueron desarrolladas en el Instituto. [9]

Una de esas patentes fue la del sistema pretensado del ingeniero y constructor Ricardo Barredo, patente que Eduardo Torroja potenció con especial interés, utilizándola en la mayor parte de sus obras, como; El Mercado de Algeciras (1933), el Viaducto Francisco Martín Gil (1939) o el Puente del Pedrido (1939). [9]

## DESCRIPCIÓN DE SUS PATENTES

Sus patentes, modelos y diseños abarcaban, como se ha indicado anteriormente, desde construcciones fijas hasta, por ejemplo, perfeccionamiento de mecanismos para armamento. Pasando por estudios físicos, mecánicos o incluso lumínicos.

Algunas invenciones suyas patentadas fueron: pinza portaelectrodo para soldadura eléctrica, piezas prefabricadas para edificación, dispositivo para anclaje en taladros realizados en materiales resistentes y un variador de caudal para bombas hidráulicas alternativas. [10]

Barredo también estudió el perfeccionamiento de diferentes sistemas existentes en la época como: perfeccionamiento en los acoplamientos de tramos prefabricados en la construcción, en la construcción de entresijos mediante placas prefabricadas, en la fabricación de elementos de hormigón pretensado, en el sistema de fijación de cables y barras a tracción, en las bombas hidráulicas de dos émbolos para altas presiones o en los sistemas de amarre del gato a tracción. [10]

Cabe destacar dos sistemas que también diseñó y patentó: sistema de construcción en hormigón postesado de elementos constituidos por piezas prefabricadas y el sistema de expansión mecánico por gato.

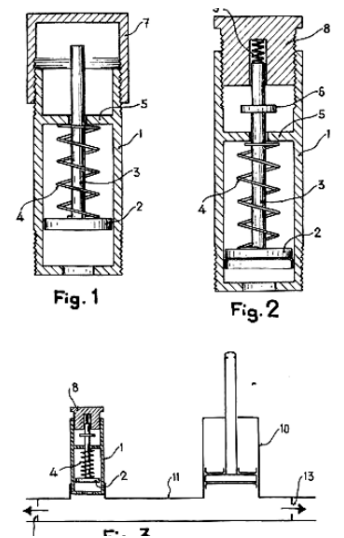


Fig. 13 Variador de caudal para bombas.



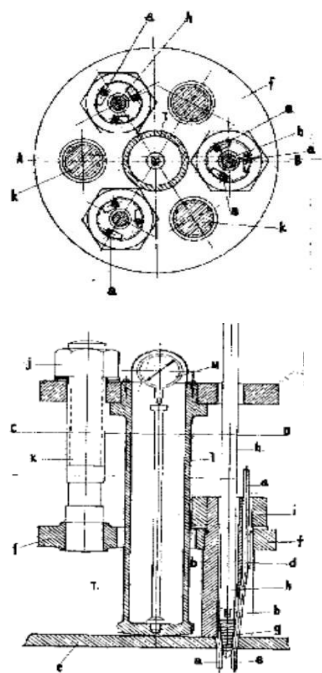


Fig. 14 Aparato para tesado de armaduras.

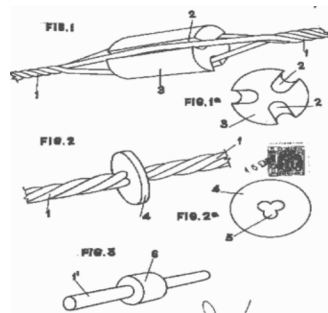


Fig. 15 Dispositivo antideslizante para las armaduras.

A continuación, se exponen las patentes e invenciones más innovadoras para aquellos tiempos y las más usadas en el campo de la Arquitectura.

- **Aparato para le tesado de armaduras en piezas de hormigón** [10]

La invención se patentó el día 16 de diciembre de 1955. Estaba caracterizado porque el proceso tensor de los alambres comprendía dos fases:

- o Se tensionaba previamente cada alambre mediante una maquinilla especial auxiliar en forma de carraca de dientes, quedando estos alambres anclados provisionalmente, de uno en uno.
- o Los alambres se anclaban al aparato en el que se efectúa la tensión definitiva por grupos de tres alambres, pudiendo repetirse, cuantas veces se desee, la maniobra de tesado.

- **Dispositivo antideslizante de armaduras en piezas de hormigón** [10]

Este dispositivo es complementario al sistema para el tesado de las armaduras de las piezas de hormigón descrito. Se patentó el 16 de febrero de 1954.

- **Nuevo aparato para el tesado de armaduras en hormigón** [10]

Este nuevo sistema de tesado se basaba en que los alambres de acero que se pretendían tesar formaban grupos de tres y cada grupo pasaba por un mismo orificio anclándose al mismo tiempo con una cuña que presionaba por igual cada alambre.

El dispositivo de anclaje era una pieza con un taladro cónico que dejaba pasar por su interior los tres alambres, que a su vez eran presionados por una cuña troncocónica o troncopiramidal sensiblemente coaxial con el taladro cónico.

La cuña no tocaba nunca las paredes interiores del cilindro y solo se apoyaba en los tres alambres de la armadura que, al ponerla en carga, la cuña penetraba en el interior del cilindro, deformándose y apretando los alambres.



Fig. 17 Alambres para tesado.

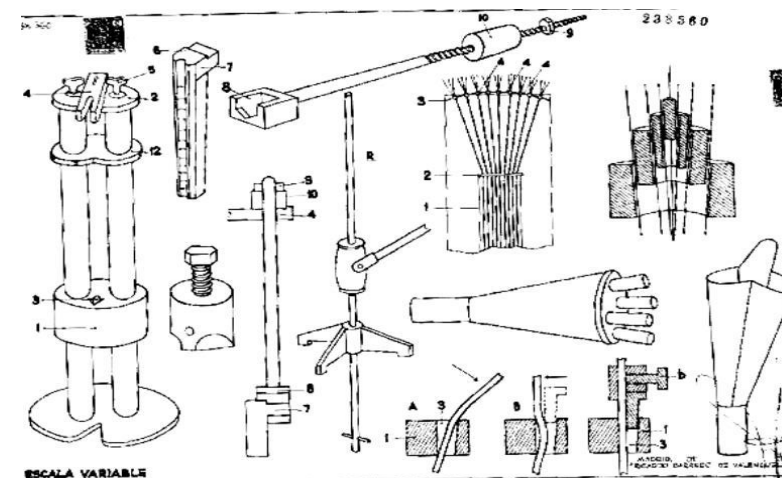


Fig. 16 Nuevo sistema para el tesado de las armaduras.

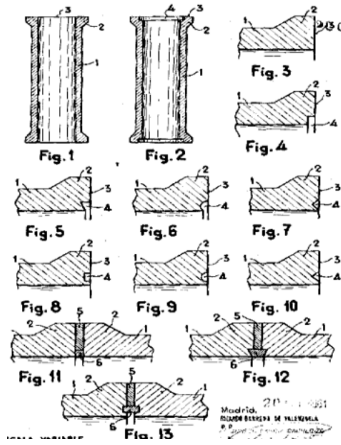


Fig. 18 Acoplamiento de tramos prefabricados en conducciones.

- **Acoplamiento de tramos prefabricados en conducciones [10]**

Esta invención fue patentada el día 1 de marzo de 1962. Este sistema consistía en acoplar varios elementos prefabricados a lo largo de una longitud concreta por medio de armaduras postesadas.

Estas armaduras pasaban por orificios preformados en los elementos prefabricados, interponiendo entre las cabezas de acoplamiento de la zona interna de la pieza juntas elásticas. El espacio entre la junta y las cabezas se recubre con un mortero debidamente tratado formando así una junta rígida pretensada.

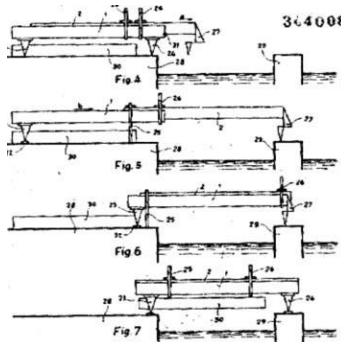


Fig. 19 Cimbra telescópica.

- **Cimbra telescópica autolanzable [10]**

La invención fue patentada por Ricardo Barredo el día 12 de septiembre de 1964. La cimbra estaba diseñada para soportar a otra estructura provisionalmente durante su ejecución y además era capaz de soportar su propio peso mientras el hormigón conseguía la resistencia suficiente y se introducía el pretensado.

Al ser una cimbra autolanzable tenía la capacidad de trasladarse de una posición inicial a la siguiente por sus propios medios sin necesidad de estructuras auxiliares.

- **Aparato transportador para colocar vigas de gran tamaño [10]**

La invención se patentó el día 1 de mayo de 1968. El aparato estaba caracterizado porque se apoyaba en carretones dotados de ruedas y borriquetas y en la parte alta de las mismas se disponían dos gatos hidráulicos elevadores dispuestos en sentido longitudinal al carretón.

Contra los gatos se apoyaba el extremo de una pluma de carga sobre la que, en su centro, se disponía de los elementos de suspensión de la viga transportada.

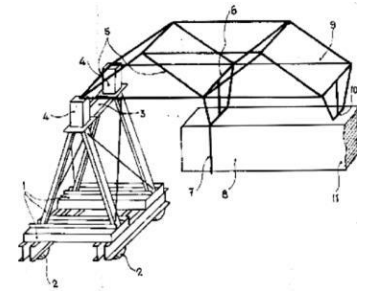


Fig. 20 Aparato transportador de vigas de gran tamaño.

- **Dispositivo de seguridad para ganchos de elevación [10]**

Su patente se realizó el día 1 de diciembre de 1977. Consistía en una anilla o abrazadera cerrada cuyos extremos se montaban articuladamente a una palanca montada sobre un eje de giro en el núcleo del gancho opuesto a la punta.

De este modo, el extremo de la abrazadera quedaba en disposición excéntrica respecto del punto de giro de la palanca, mientras que el extremo acodado libre de dicha abrazadera se situaba por debajo de la punta del gancho en un entrante previsto al efecto.

De esta manera quedaba perfectamente tensada dicha abrazadera cuando la palanca se adosaba al lomo del gancho a merced de la excentricidad mencionada.

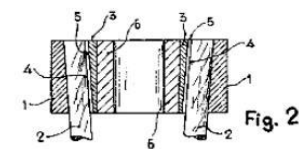
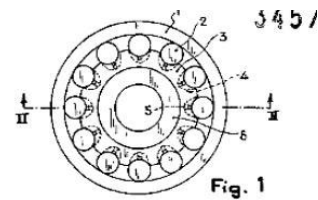


Fig. 21 Cuña de fijación.

- **Cuña de fijación de cables y barras sometidas a tracción [10]**

El día 11 de diciembre de 1968 se patentó la cuña. La fijación de los elementos de tracción que constituyen el refuerzo de los elementos de soporte de carga postesados presentaban serios problemas debido a las enormes tensiones de tracción que se producían.

Todos estos problemas se agudizaban aún más cuando el refuerzo consistía en una pluralidad de elementos, barras o cables de acero, tensionados agrupados.

El problema se resolvió satisfactoriamente fijando los elementos de tensión mediante el empleo de cuñas de un material con una alta plasticidad de modo que, por el efecto de la presión creado por la acción del acuñamiento, el material sufría una deformación plástica y se ajustaba a las deformaciones laterales superficiales de los elementos que se fijaban, lo que da lugar a un estrecho contacto entre los elementos de anclaje y la cuña.

Este medio de anclaje deformable dio resultados satisfactorios en un número limitado de aplicaciones específicas, en donde las tensiones sobre los elementos de tensión no eran muy grandes y cuando el número de elementos que se fijaban era pequeño.

Cuando tales dispositivos de anclaje previos se utilizaban para la fijación de un gran número de elementos tensionados el elemento en tensión experimentaba deslizamiento longitudinal respecto al dispositivo de anclaje, causando una reducción de las capacidades tensionales de dichos elementos o incluso la rotura total del dispositivo de anclaje.

Lo mismo sucedía cuando las tensiones eran lo suficientemente grandes como para causar una deformación mínima pero continua del material plástico de la cuña durante un periodo de tiempo. El objetivo de la invención era proporcionar un dispositivo de anclaje donde la distorsión del elemento elástico del dispositivo de anclaje fuese limitada.

El componente básico del dispositivo de anclaje era una corona exterior y una interna formadas por un acero lo suficientemente resistente para oponerse a la deformación plástica. Los dos componentes cooperaban para formar una cuña capaz de sujetar con abrazaderas a varios elementos tensionados.

La corona interna estaba formada por unos canales semicirculares capaces de recibir los futuros elementos que se fuesen a fijar. En el fondo del canal, las ranuras se diseñaron en una dirección axial para permitir que la corona interna se desviase bajo la presión ejercida por la tensión de los elementos.

Se imponía así cierta elasticidad a la corona interna, así, por efecto de la presión de la acción de la cuña, los canales se adaptaban a la superficie lateral de los miembros a fijar, provocando un contacto entre ambos elementos. Para evitar cualquier distorsión inapropiada debido a la elasticidad de la parte interna de la corona, se introducía un anillo limitador de la distorsión en su interior.

Por medio de tal sistema de anclaje de los elementos tensionados se obtuvo, en primer lugar, una elasticidad característica del dispositivo suficiente para facilitar la compresión de dichos elementos a lo largo de todo el dispositivo de anclaje, y, en segundo lugar, un grado de dureza del material suficiente para evitar la deformación del dispositivo de anclaje durante un periodo de tiempo prolongado.

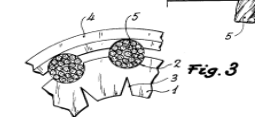
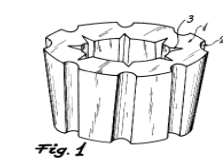


Fig. 22 Cuña de fijación.

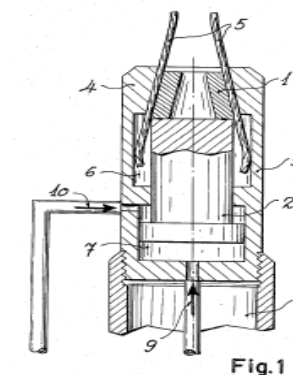


Fig. 23 Anclaje de fijación.

### HORMIGÓN PRETENSADO Y POSTESADO

#### a. Hormigón pretensado o pretesado

El término pretensado se usa para describir el método donde las armaduras activas de la pieza se tesan antes del vertido del hormigón.

El hormigón se adhiere al acero en el proceso de fraguado, y cuando éste alcanza la resistencia requerida, se retira la tensión aplicada a los cables y es transferida al hormigón en forma de compresión.

Este método produce un buen vínculo entre las armaduras y el hormigón, el cual las protege de la oxidación, y permite la transferencia directa de la tensión por medio de la adherencia del hormigón al acero.

Consecuentemente, éstos son usualmente prefabricados en serie dentro de plantas con instalaciones adecuadas, donde se logra la reutilización de moldes metálicos o de concreto y se pueden pretensar en una sola operación varios elementos. [11]



Fig. 24 Elemento de hormigón pretensado.





Fig. 25 Elemento de hormigón postesado.

## b. Hormigón postesado o postesado

El hormigón postesado se diferencia del hormigón pretensado, por el retraso de aplicación de la tensión a los tendones en el proceso de ejecución.

El postesado es el método de pretensado que consiste en tesar los tendones y anclarlos en los extremos del elemento después de que el hormigón ha fraguado y alcanzado su resistencia necesaria.

En este sistema, los cables de prefuerzo serán colocados con la trayectoria deseada, permitiendo variar la excentricidad dentro del elemento a lo largo del mismo para lograr las flechas y esfuerzos deseados. Al hacer las trayectorias del acero de prefuerzo curvas, se logra diseñar con mayor eficiencia los elementos hiperestáticos y evitar esfuerzos en los extremos. [11]

En el proceso de postesado, se colocan en los encofrados de las piezas, vainas de plástico, acero o aluminio antes del vertido del hormigón, por las cuales se enfilarán los tendones sin tensionar. Los conductos se atan con alambres a los estribos constructivos auxiliares para prevenir su desplazamiento accidental, y luego se vierte el hormigón.

Cuando éste alcanza la resistencia necesaria, los tendones son estirados de acuerdo con las especificaciones de diseño, y mediante cuñas u otros sistemas de anclaje quedan atrapados en su posición. [11]

Después de que los gatos hidráulicos se retiran, los tendones, que mantienen la tensión aplicada, transfieren la presión hacia el hormigón.

Este procedimiento permite prescindir de anclajes exteriores apartados una determinada distancia de los elementos estructurales para este estiramiento, gracias a la existencia del hormigón endurecido que ejerce de soporte para aplicar el esfuerzo de tracción. [11]

Tanto en los elementos estructurales de hormigón pretensado como en los de hormigón postesado, la combinación del hormigón y el acero traccionado permite producir esfuerzos y deformaciones que contrarrestan los que producirán las cargas exteriores, habitualmente las gravitatorias, lográndose así diseños estructuralmente más eficientes que los de hormigón armado.

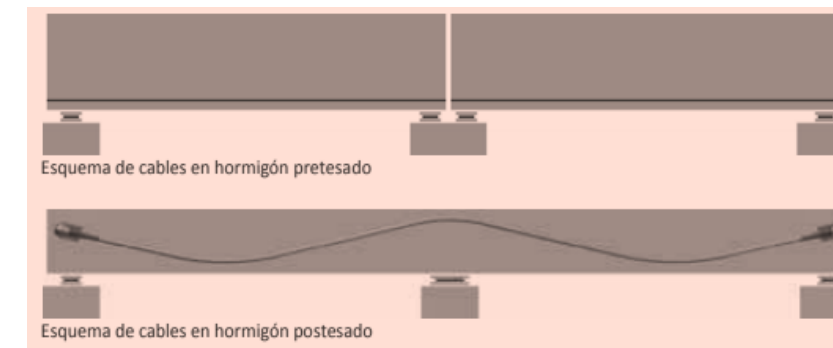


Fig. 27 Esquemas de cables en hormigón pretensado y postesado.

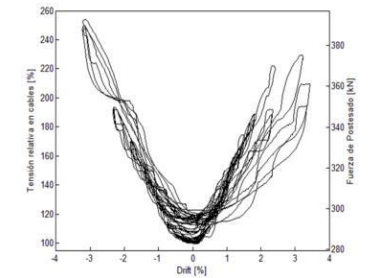


Fig. 26 Fuerza de postesado total en función de la distorsión de piso.

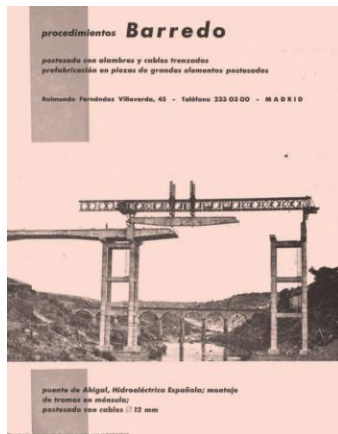


Fig. 28 Portada de la revista nº78, vol. 17.

## ORIGEN Y COMPARATIVA CON OTROS SISTEMAS

En 1952, con España sometida a una dictadura franquista, las relaciones con el exterior eran prácticamente nulas y casi nula también la posibilidad de utilizar en nuestro país los sistemas tradicionales de pretensados extranjeros.

El sistema Barredo permitió dar un impulso decisivo a las realizaciones con armaduras postesadas y con el que se construyeron la mayor parte de las obras pretensadas, durante varios años, hasta la normalización de la situación internacional y la integración de España en el concierto mundial del libre intercambio. En la concepción del sistema Barredo debe anotarse la influencia del maestro Torroja, que señaló a Ricardo Barredo los requisitos fundamentales que tal sistema debía satisfacer.

La habilidad, la inventiva, la agudeza y el tesón de Barredo completaron la obra y dieron como resultado la creación de un sistema que no solo vino a resolver satisfactoriamente el problema nacional en una coyuntura difícil de nuestro desarrollo industrial, sino que por su calidad ha conseguido el reconocimiento de la patente en los mercados más exigentes y ha logrado ser elegido para la construcción de varias obras en diversos países, en libre competencia con los otros procedimientos existentes del pretensado. [12]

En función de su sistema de anclaje, los sistemas de postesado se pueden clasificar en:

- Anclaje por adherencia al embeber el tendón en el hormigón.
- Anclaje mediante rosca, como el sistema Dywidag.
- Sistemas especiales como el BBRV, VSL O Leoba.
- Sistemas de anclaje mediante cuña, como el método Barredo.

En todos los sistemas, el tesado de las armaduras se realiza mediante el uso de gatos hidráulicos, que aprisionan las barras mediante cuñas en la mayoría de los sistemas o mediante rosca.

Los tendones, pueden tesarse uno a uno o bien todos los alojados en una misma vaina al mismo tiempo. El tesado simultáneo permite mayor rapidez de trabajo, pero requiere un gato de mayor tamaño y más difícil de manejar.

Además, la posibilidad de alargamiento distinto de alguna armadura o el deslizamiento de cualquier tendón durante el tesado puede causar la sobrecarga no prevista del resto.

Estos inconvenientes serán superados por el sistema Barredo que utiliza un gato hidráulico con tres émbolos interconectados que podían tener recorridos distintos de modo que las armaduras trabajasen todas a igual tensión. [13]

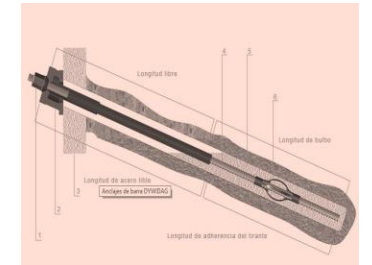


Fig. 29 Anclaje de barra Dywidag.

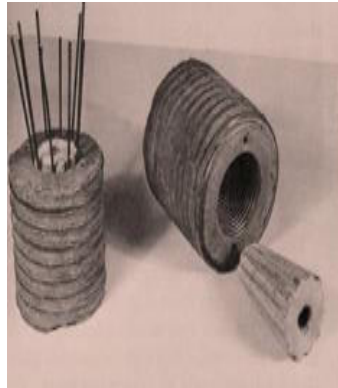


Fig. 30 Anclaje Freyssinet.

Hacia 1964, el número total de sistemas de pretensado reconocidos era de 63, de los que, 54 eran europeos y los 9 restantes estadounidenses. De entre los europeos, solo uno era español: el Sistema Barredo o Sistema Español.

En cuanto al elemento a tesar, 48 empleaban alambres, como el sistema Barredo, 10 empleaban cordones y los 5 restantes empleaban barras. El tesado era simultáneo en 40 sistemas, e individual, o en grupos de 2,3 o 4 en los 23 sistemas restantes. [14]

El sistema Barredo compitió a nivel internacional con los más prestigiosos como BBRV, Freyssinet, CCL, Mangel, V.C.L., Leoba o Dischinger. Eduardo Torroja desde su aparición solo empleó dicho sistema, no solo por ser en parte responsable de su creación, sino como un modo de promocionar un producto patrio.

Se presenta un cuadro resumen de los distintos tipos de sistemas de postesado contemporáneos a Barredo. [13]

TIPO DE ANCLAJE	SISTEMA POSTESADO	ANCLAJE	TIPO DE CUÑA
<b>Especiales</b>	V.S.L., Leoba	-	-
	BBRV	Rosca	-
<b>Rosca</b>	Dywidag	Rosca	-
<b>Cuña</b>	Interior CCL	Cuña. 1 cable	-
	Exterior Mangel Barredo	Cuña. 2 cables Cuña. 3 cables	Rígidas y lisas
	Interior y exterior Barredo, CGC, Freyssinet y otras	Cuña. Múltiples	Flexibles y acanaladuras

## SISTEMA BARREDO

Este sistema emplea un anclaje de cuña interior para tres alambres o cables trenzados, siendo su coeficiente de seguridad de retención de armaduras superior al de rotura de las mismas. El anclaje consiste en una cuña interior que aprisiona los alambres contra el cono hembra.

La cuña permite la corrección del tesado durante la aplicación de la carga e incluso durante la fase de servicio. El anclaje queda estáticamente determinado, y, por consiguiente, son iguales los esfuerzos de retención para todos los alambres. [12]

Tanto el cono de anclaje como la cuña son metálicos, existiendo modelos roscados para empalme de armaduras mediante manguito. La gama empleada hasta ahora va desde 3 alambres de 1 mm. de diámetro, hasta 3 cables trenzados de 19 alambres con 1,25 mm. cada uno. [12]

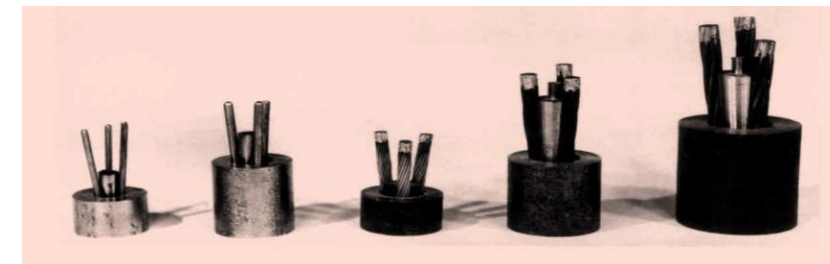


Fig. 31 Anclaje de método Barredo de postesado.



Fig. 32 Tesado de los cables por el Método Barredo.

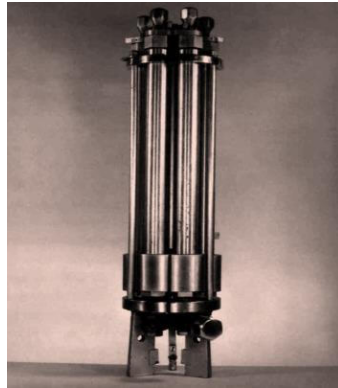


Fig. 34 Gato hidráulico.

El gato de tracción está formado por tres gatos independientes conectados a la misma bomba de presión hidráulica. Con ello, el esfuerzo de tracción para cada una de las unidades es conocido e igual para las tres, al equilibrarse por sí mismo independientemente de sus diferencias de colocación y del diferente recorrido de cada gato. [12]

El anclaje y el gato permiten el retesado de las armaduras, pudiéndose variar el esfuerzo en las mismas o medir el que existía antes de la operación. Si sobreviene la rotura de un alambre durante la operación de tesado, el gato se descarga automática e instantáneamente sin desplazarse de su posición, quedando unido a los otros dos alambres del mismo cordón. [12]

Los gatos están automatizados con enclavador hidráulico para la cuña de anclaje y doble circuito para la recuperación del gato, desenclavándose automáticamente en esta operación las fijaciones provisionales de las armaduras del mismo. [12]

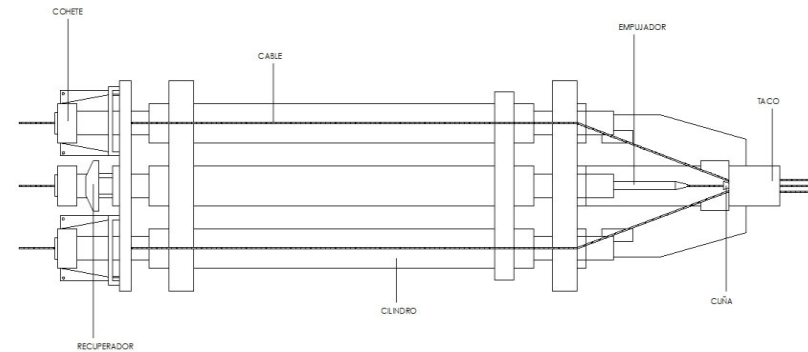


Fig. 33 Sistema Barredo.

## SISTEMA MULTI-B

La empresa *Procedimientos Barredo S.A.* puso a punto este otro sistema de postesado, que se impuso en poco tiempo por sus características de seguridad y economía. El anclaje pertenece también al tipo de los de cuña interior y se utiliza para grupos de 9 o 12 alambres o cables trenzados, llegando en la actualidad al anclaje de 200 t. para 12 cables trenzados de 0.6 mm. de diámetro, pudiendo realizarse también las operaciones de retesado y de empalme de armaduras. [12]

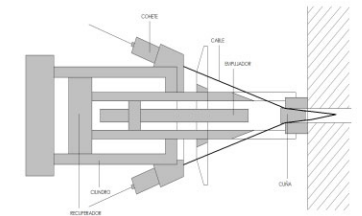


Fig. 35 Sistema Multi-B.

El cono hembra es una pieza metálica rígida mientras que, el cono macho, también metálico, presenta unos puntos de deformación concentrada que permiten el cierre de los canales de alojamiento de los cables, lográndose un efecto de pinzamiento sobre los mismos, que garantiza su retención total incluso a las cargas de rotura de la armadura. [12]

Estos puntos de deformación concentrada se consiguen mediante ranuras interiores o exteriores en el fondo del canal, o por un debilitamiento de la pared de fondo, conseguida mediante la utilización de materiales y tratamientos adecuados. La tracción de las armaduras se realiza mediante un gato único, que, como el anteriormente descrito para el sistema Barredo, va dotado de un enclavador hidráulico para la cuña del anclaje y desenclavamiento automático. [12]



OBRAS REALIZADAS POR PROCEDIMIENTOS BARREDO

CUBIERTAS

A continuación, se expone una tabla a modo de resumen de diversas obras cuyas cubiertas se construyeron por el **método de Barredo**. A pesar de la existencia de la empresa "Procedimientos Barredo", la totalidad de las obras citadas a continuación no están ligadas a dicha empresa constructora. Algunas de ellas se construyeron cuando el método no estaba completamente desarrollado, pero Ricardo Barredo ya colaboró en las obras con ideas similares para la resolución de las estructuras.

Tabla 1. Recopilación de obras donde en sus cubiertas intervino Ricardo Barredo.

OBRA	AUTOR	LUGAR	CONSTRUCTORA	FECHA
<b>Mercado de Algeciras</b>	Eduardo Torroja	Algeciras, Cádiz	Ricardo Barredo de Valenzuela	1935
<b>Central Hidroeléctrica</b>	Carlos Barredo	Logroño	Talleres Grasset	1955
<b>Salón de actos de la escuela de peritos industriales</b>	-	Madrid	M.Z.O.V.	1956
<b>Universidad Laboral</b>	Eduardo Torroja, Alfredo Páez y Florencio del Pozo	Tarragona	Fomento de obras y construcciones S.A.	1956
<b>Talleres de laminación de ENSIDESA</b>	Carlos Fernández y Amalio Hidalgo	Avilés	Huarte y Cía S.A.	1957
<b>Mercado de Ruzafa</b>	Carlos Barredo	Valencia	Manuel Rodrigo S.A.	1959
<b>Compañía asturiana CINS S.A.</b>	-	Salinas, Oviedo	Entrecanales y Távora S.A.	1959
<b>Nave para una fábrica de papel y cartón</b>	-	Zaragoza	La montañesa	1959
<b>Nave para tren Morgan</b>	-	Santander	Entrecanales y Távora S.A.	1960

OBRA	AUTOR	LUGAR	CONSTRUCTORA	FECHA
<b>Capilla de los PP. Blancos</b>	-	Logroño	Entrecanales y Távora	1960
<b>Mercado de Alcalá de Henares</b>	José de Azpiroz y Azpiroz	Alcalá de Henares, Madrid	Arke	1960
<b>Fábrica Cerdán</b>	-	Barcelona	José María Llobet	1961
<b>Edificio de molinera de azufre</b>	-	Huelva	Obrascon S.A.	1961
<b>Estación receptora</b>	-	Mata, Barcelona	Constructora pirenaica S.A.	1962
<b>Cubierta para la firma Esteve y Cía S.A.</b>	-	Barcelona	SATHOR	1962
<b>Factoría de Cimianto de España S.A.</b>	-	Alicante	Sánchez Quiles	1962
<b>Centro de Estudios Hidrográficos</b>	Miguel Fisac, José María Pliego y Julián Montesinos	Madrid	Corsan S.A.	1963
<b>Edificio Trilingüe</b>	-	Salamanca	Beyre S.S.	1963
<b>Edificio Trema en la C/López de Hoyos</b>	-	Madrid	Construcciones MB	1964
<b>Pescadería municipal</b>	-	Castellón de la Plana	Juan Armiñana	1965
<b>Cobertura de la C/Aragón</b>	Carlos Fernández Casado	Barcelona	Huarte y Cía S.A.	1965

OBRA	AUTOR	LUGAR	CONSTRUCTORA	FECHA
<b>Factoría para la firma Henkel</b>	-	-	Henkel S.A. y Alcor S.A.	1966
<b>Garaje de la residencia Escrafti</b>	-	-	Hormitesa	1966
<b>Mercado municipal</b>	-	Hospitalet de Llobregat, Barcelona	Alcor S.A.	1967
<b>Aeropuerto de Valencia</b>	Antonio Mantilla y Carlos Marín	Manises, Valencia	Ricardo Barredo de Valenzuela	1979

A continuación, se describen algunas de las obras que se han considerado de mayor relevancia.

## MERCADO DE ALGECIRAS

**Arquitecto:** Manuel Sánchez Arcas

**Ingeniero:** Eduardo Torroja

**Fechas:** 1933 (Proyecto) 1933 – 1935 (Obra)

**Localización:** Algeciras, Cádiz

**Tipo de obra:** Mercado

El mercado viene inspirado por los proyectos de Leipzig y Basilea, ambos cubiertos por cúpulas nervadas de 65 y 60 m. de luz respectivamente. Con ellos, se mostró la posibilidad de crear una planta central cubierta con una cúpula para resolver el proyecto de mercado. <sup>[15]</sup>

Sobre la planta cuadrada de la plaza se planteó un proyecto en forma de octógono regular de 18.20 m. de lado, inscrito en las cuatro calles que delimitaban el contorno. La entrada se efectúa por cuatro de las caras, opuestas dos a dos, formando dos calles de circulación interior que se cruzan en el centro. <sup>[15]</sup>

Fue una de las primeras obras del pretensado en España y es que, además, tiene la virtud de ser una auténtica joya arquitectónica precursora de formas y consistente en una sala diáfana sin construcciones que interrumpiese la percepción del espacio. <sup>[16]</sup>



Fig. 36 Vista interior del Mercado.



Fig. 37 Cubierta exterior.

El proyecto básicamente consiste en una cúpula laminar esférica apoyada sobre ocho soportes. Esta cúpula tiene diámetro de 47.80 m., récord mundial de luz en 1935, y el radio de curvatura es de 44.10 m. [17]

El borde exterior del casquete esférico se cortaba por bóvedas cilíndricas que, periféricamente, iban de soporte a soporte. En cada apoyo, la componente vertical de la reacción se soporta por el pilar, y el empuje radial se contrarresta por un anillo octogonal formado por 16 redondos de acero dulce de 30 mm. de diámetro. [18]

Este anillo, para trabajar en tracción, precisaría dilatarse, mientras que la cúpula se contraía. Las flexiones ocasionadas por estas diferencias de corrimientos se evitaron intercalando tensores de rosca en las barras del anillo. Estos tensores, al acortar las barras, las ponían en tracción, provocando las correspondientes reacciones radiales sobre la lámina, de 9 cm. de espesor, en sus uniones con los soportes. [18]

Una vez postesado el zuncho, se procedió a su hormigonado para evitar la oxidación y las sensibles diferencias de temperatura que hubieran podido producirse entre el tirante y la lámina y se continuó tensionando las armaduras de dicho tirante hasta que alcanzaron la tensión de trabajo definitiva. Así se consiguió que la cúpula se separase ligeramente del encofrado y que el descimbrado no produjese deformaciones en los arranques. [19]

A excepción del muro perimetral, el edificio es una estructura que no precisa de ningún elemento para delimitar el espacio. Una de las dificultades de la estructura laminar era la imposibilidad de mantener el pequeño espesor en los apoyos ya que los esfuerzos requerían mayores

dimensiones. Se solucionó aumentando progresivamente el espesor de la cúpula hasta alcanzar 50 cm. sobre los apoyos. [18]

En la superficie interior de la cubierta quedó vista la unión del casquete esférico con un sector de la superficie tórica. Sin embargo, el refuerzo no quedó visto exteriormente al resolverse cuidadosamente los triángulos esféricos que se formaban entre las láminas cilíndricas. [18]

#### **El adjudicatario de la construcción de la estructura fue Ricardo Barredo.**

Junto a Torroja, asumió la organización de la obra, definiendo los medios auxiliares necesarios, cimbras y encofrados, así como el proceso de construcción. [12]

La resistencia de las láminas de hormigón era muy sensible a las variaciones geométricas. Un minúsculo desplazamiento de los apoyos provocaba solicitaciones muy elevadas pudiendo provocar el colapso de la estructura. Se usó un volumen de hormigón pretensado de 262 m<sup>3</sup>. con una resistencia de este de 220 Kp/cm<sup>2</sup>. En cuanto al acero, se usaron unos 12.600 kg. [12]

En el Trabajo Final de Grado de Inés Barelles se puede encontrar más información sobre el comportamiento estructural y el funcionamiento de la cubierta del mercado. A modo de resumen se expone lo siguiente:

- La primera hipótesis que analizó fue la referida al peso propio de la estructura. Se observó como la cúpula descendía verticalmente, achatándose y los pilares se abrían lateralmente. Todo ello fue debido a la desaparición de las fuerzas de los tensores.



Fig. 38 Cubierta.

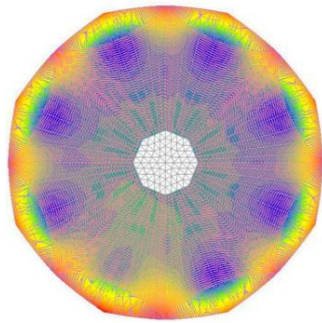


Fig. 39 Mapa de colores Dz. HIP01.

- La segunda hipótesis analizada fue la fuerza de los tensores de la estructura sin tener en cuenta el peso propio de la estructura. En este caso los pilares se cerraban y la cúpula experimentaba un ascenso vertical.
- La tercera situación que se estudió fue una combinación del peso propio más la fuerza de los tensores. Al combinarlas, se contrarrestaban tanto los desplazamientos verticales ascendentes como las descendentes, de manera que las deformaciones finales en la cúpula eran prácticamente cero.
- La cuarta situación que se estableció fue una combinación de las hipótesis de peso propio, sobrecarga de uso y de nieve más la fuerza de los tensores.

Las deformaciones en el modelo del Mercado de Algeciras eran muy pequeñas, dando valores muy próximos a cero. Posteriormente se analizaron los valores de las tensiones  $S_x$ ,  $S_y$  y Von Mises y se observó la necesidad de colocar armado en las zonas de tracción. [20]

## CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS

**Arquitecto:** Miguel Fisac Serna

**Fechas:** 1960 – 1962 (Proyecto) 1963 (Inauguración)

**Localización:** Madrid

**Tipo de obra:** Centro de investigación

El centro constituye uno de los edificios más singulares y carismáticos de Miguel Fisac. Representa uno de los primeros intentos de usar el hormigón armado como único material constructivo, además de ser de los pocos edificios donde se muestra visto el hormigón. Es el primero en Madrid que consigue cubrir un espacio adintelado con vigas de hormigón pretensado con armaduras postesas con una luz de 22 m. [12]

El proyecto fue fruto de la unificación de dos instituciones que, hasta entonces, eran independientes, lo que explica la disposición en dos pabellones unidos por un único pasillo. El edificio principal es destinado a oficinas, despachos y espacios de uso común, mientras que, el segundo pabellón se destina a laboratorios. El segundo volumen contiene una nave diáfana de 88 x 22 (m<sup>2</sup>.) que, por su resolución formal, constituyó un exponente de la arquitectura madrileña de ese momento. [21]

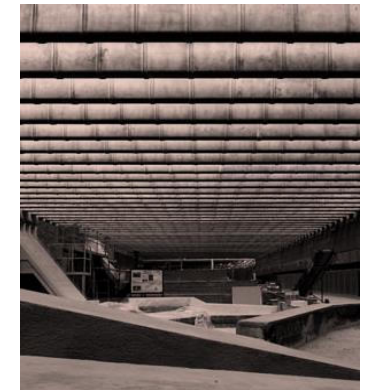


Fig. 40 Interior de estudios Hidrográficos.



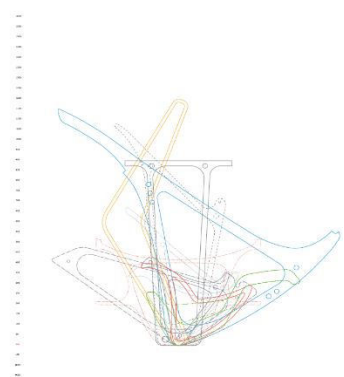


Fig. 42 Superposición de las diferentes vigas-hueso en comparativa a la misma escala.

Ante la necesidad de obtener una rigurosa uniformidad lumínica que impidiese la incidencia del sol, Fisac diseñó una estructura de cubrición formada por vigas huecas de gran luz realizadas en hormigón pretensado y apoyadas sobre muros lisos sin huecos.

*“Fue el mayor desafío estructural que había tenido. Se trataba de crear un espacio rectangular de 80 x 22 m. con una iluminación de bóveda celeste, totalmente uniforme, que me obligó a inventar una solución (e incluso una teoría estructural completamente nueva). Tengo que reconocer que me divertí mucho en esta investigación, en la que conté con dos extraordinarios colaboradores: José María Priego como calculista y Ricardo Barredo como ejecutor”.* Miguel Fisac. [22]

Por el funcionamiento de las piezas, éstas se dividen en dos grupos:

- Las vigas postesadas hechas a base de dovelas y tensada según el procedimiento Barredo o español.
- Las vigas continuas pretensadas utilizando los sistemas de Peiró S.A.

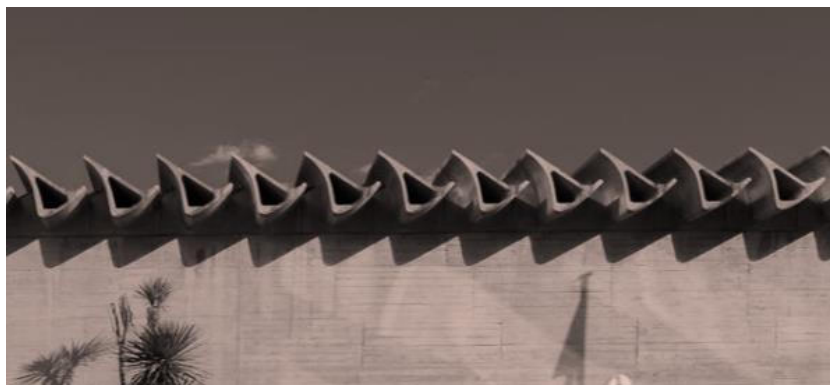


Fig. 41 Vigas vistas desde el exterior.

**El edificio del Centro de Estudios Hidrográficos tiene dos elementos singulares y prefabricados donde Ricardo Barredo colaboró para su correcto funcionamiento.**

**a. La viga postesada de la cubierta de la nave del Laboratorio de Hidráulica. [23]**

Esta viga de 22 m. de luz está formada por veintidós piezas premoldeadas de hormigón armado (dovelas) unidas entre sí según el procedimiento diseñado por Ricardo Barredo.

Cada dovela tiene 1 m. de anchura y pesa 350 kg, por otra parte, en algunos puntos tiene un grueso de pared de 5 cm. y lleva una ranura para poder colocar la lámina de policarbonato una vez montada, lo que evita la utilización de la carpintería.

La característica fundamental de las vigas-hueso de la nave del Laboratorio de Hidráulica es su forma hueca triangular que permite un homogéneo aprovechamiento de la luz cenital, un aislamiento térmico y acústico y una gran facilidad para la recogida de aguas por la propia impermeabilización del hormigón pretensado.

Las dovelas poseen tres núcleos de agujeros para el paso de los cables a tracción en sus vértices donde se sitúa una armadura de cable en catenaria postesada. La situación de dichos núcleos de tensión es la adecuada para que la resultante de las fuerzas que intervienen se encuentre situada en el plano vertical del centro de gravedad.



Fig. 43 Dovelas postesadas.



Fig. 44 Pieza prefensada.

La dovela tiene una aleta o visera longitudinal que se queda situada por encima del espacio resultante entre cada dos vigas adyacentes y actúa como pantalla contra la luz directa del lucernario.

Entre cada dos vigas se introduce, en las ranuras existentes en las mismas, una placa de policarbonato con fibra de vidrio de 22 m. de longitud, de esta forma queda un espacio completamente estanco en la cubierta, quedando abiertas en los extremos. Estas placas se colocan curvadas con convexidad hacia el exterior con el fin de absorber y adaptarse a los movimientos o desplazamientos relativos entre las vigas.

*“Debería aligerar el peso propio que habían de soportar las vigas. Y pensé en la posibilidad de hacerlas huecas. Y al tantear cómo unir una pieza de sección rectangular o triangular a la pantalla para conseguir la luz celeste deseada, me encontré con una figura que me recordó la sección de los huesos de las extremidades de los animales vertebrados. Entonces pedí que me trajeran unos huesos de vaca de la carnicería y, al comprobar su semejanza, adquirí la convicción de que marchaba por buen camino.” Miguel Fisac. [22]*

La solución propuesta por Fisac para resolver la cubierta de la nave del Laboratorio de Hidráulica le llevó más tarde a patentar e industrializar este sistema de vigas-hueso por medio de una patente y una marca comercial, HUECO S.A. En torno a 1974 Barredo y Peiró cierran sus respectivas empresas, incluso el propio Fisac cerrará su estudio años después. La historia de los huesos tan unida a estos tres nombres había terminado.

## MARQUESINA DEL AEROPUERTO DE VALENCIA

**Arquitecto:** Antonio Mantilla Estrada

**Ingeniero:** Carlos Marín

**Fecha:** 1979

**Localización:** Manises, Valencia

**Tipo de obra:** Aeropuerto

Es un aeropuerto español de Aena. Está ubicado a 8 km al oeste de Valencia, entre los términos municipales de Manises y Quart de Poblet. Su implantación ha contribuido a crear un importante centro de negocios y turismo, facilitando el desarrollo económico de las zonas de su alrededor. [24]

Además, el proyecto, promovido por la Diputación de Valencia de acuerdo con el ministerio de Transportes y Comunicaciones, fue desarrollado gracias al trabajo de Antonio Mantilla Estrada, como arquitecto. **Hay que destacar el trabajo de Ricardo Barredo como autor del diseño y cálculo de la membrana.**

La cubierta se constituye por una membrana troncocónica de directriz media circunferencia, con pequeña conicidad. Está formada por 18 lóbulos, con parte volada y parte apoyada. El gran vuelo era necesario para proteger la entrada del aeropuerto de las posibles precipitaciones. [25]



Fig. 45 Marquesina del aeropuerto.



Fig. 46 Marquesina del aeropuerto.

Para que la estructura de la cubierta soportase el gran vuelo, los lóbulos debieron ir ampliando su diámetro, formándose así la forma de tronco-cono. De la repetición de un lóbulo pegado a otro surgió la figura en planta de un abanico que se adaptaba perfectamente al perfil del edificio en forma de segmento de corona circular. [25]

La membrana se construyó con viguetas de hormigón prefabricado pretensado en el que se dispusieron unas armaduras de conexión con el resto del elemento ejecutado en hormigón in situ.

La membrana está formada por dos apoyos: [25]

- El primer apoyo de la marquesina se encuentra en el lado opuesto a la entrada principal de la T-1 y salva una luz total de 22,5 m.
- El segundo apoyo, coincidente con la entrada de la terminal, sirve de punto de conexión entre la pieza de vano de 22,5 m. y la pieza del voladizo de 19.6 m.

En el extremo del voladizo se localiza una pieza prefabricada que sirve de entramado de la estructura de cubierta. La pieza de hormigón pretensado ejerce una tensión interna que contrapone el efecto de la gravedad. [25]

A continuación, se expone una tabla a modo de resumen de diversas obras singulares, donde, la obra en sí o parte de la misma fueron construidas por el método de Barredo. A pesar de la existencia de la empresa “Procedimientos Barredo”, la totalidad de las obras citadas a continuación no están ligadas a dicha empresa constructora. La tabla se ha desarrollado con la recopilación de obras que hizo la empresa *Procedimientos Barredo*.<sup>[12]</sup>

Tabla 2. Recopilación de obras especiales donde intervino Ricardo Barredo.

OBRA	TIPO	AUTOR	LUGAR	CONSTRUCTORA	FECHA
<b>Acueducto de Tempul</b>	Obra	Eduardo Torroja	Jerez de la Frontera, Cádiz	-	1926
<b>Pabellón internacional de la feria del campo</b>	Refuerzo de la cubierta	Carlos Barredo y García Amorena	Madrid	Ricardo Barredo de Valenzuela	1956
<b>Aeropuerto de Barajas</b>	Reforma	Alfredo Páez	Madrid	Investigación de la Construcción	1956
<b>Factoría Vespa</b>	Refuerzo estructural	Carlos Fernández Casado	Madrid	Huarte y Cía S.A.	1956
<b>Depósito de agua</b>	Obra	Eduardo Torroja, Alfredo Páez y Florencio del Pozo	Fedala, Marruecos	-	1956
<b>Banco de pruebas para ensayos en el laboratorio</b>	Obra	Carlos Fernández Casado	Madrid	Huarte y Cía S.A.	1957
<b>Edificio para reactor nuclear</b>	Obra	Florencio del Pozo	Madrid	Ramón Beamonte	1957
<b>Casco flotante para Cabria</b>	Obra	Walter Mac Lellan y Rafael Romero	A Coruña	Termac S.A.	1958
<b>Electroquímica de Flix S.A.</b>	Refuerzo en los pórticos	Florencio del Pozo	Tarragona	Miro trepat S.A.	1959
<b>Chimenea en el paseo del Rey</b>	Obra	Diego de la Rosa y Carlos Barredo	Madrid	José Luis Rodríguez	1960

OBRA	TIPO	AUTOR	LUGAR	CONSTRUCTORA	FECHA
<b>Garaje de viajes Meliá</b>	Refuerzo estructural	José Antonio Torroja	Madrid	Viajes Meliá S.A.	1960
<b>Fábrica de San Jerónimo</b>	Cosido de las ménsulas	Carlos Puig	Sevilla	Cross S.A.	1961
<b>Pabellón de exposiciones de la cámara de comercio e industria</b>	Obra	José Antonio Torroja	Madrid	Construcciones Locasfer	1962
<b>Salto del Bao-Puente Bibey</b>	Consolidación del terreno	José Manuel Peironcelly	Madrid	Saltos de Sil S.A.	1962
<b>Iglesia de San Nicolás</b>	Obra	Eduardo Torroja, Miret y Gonzalo Echeagaray	Gandía, Valencia	SICOP S.A.	1962
<b>Aparcamiento subterráneo en la plaza de Mostenses</b>	Obra	José Antonio Torroja	Madrid	Constructora Hispánica S.A.	1965
<b>Edificio industrial en Elgoibar</b>	Refuerzo estructural	Emili Renuar Echaniz	Guipúzcoa	Construcciones Vadillo S.A.	1965
<b>Alternadores en los saltos de Orbigo</b>	Copa y base	José Antonio López Jamar	León	José María Marques y Dragados y Construcciones S.A.	1965
<b>Viaducto de tarancones</b>	Refuerzo	Confederación hidrográfica del Segura	Murcia	Obras y servicio públicos S.A.	1965
<b>Chalé Barredo</b>	Terraza volada	Carlos Fernández Cassinello y Ricardo Barredo	Madrid	Ricardo Barredo de Valenzuela	1965
<b>Edificio en la plaza de Campuzano</b>	Refuerzo estructural	Carlos Barredo y Emili Renuar	Bilbao	Cotecosa	1967
<b>Bloques de viviendas</b>	Enderezamiento	Carlos Barredo y Emili Renuar	Beasain, Guipúzcoa	Cotecosa	1967



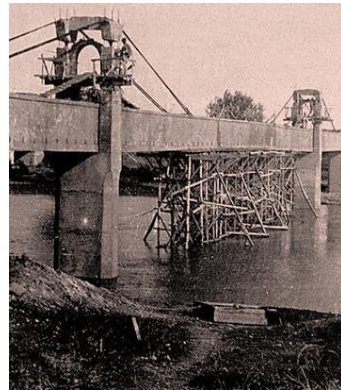


Fig. 47 Vista general antes del descimbrado.

## ACUEDUCTO DE TEMPUL

**Ingeniero:** Eduardo Torroja

**Fechas:** 1926

**Localización:** Jerez de la Frontera, Cádiz

**Tipo de obra:** Acueducto

Su origen data de la gran riada de 1917. Esa descomunal avenida se llevó por delante el puente de Villamartín, el de San Miguel en Arcos, el de la Junta de los Ríos y el puente-sifón de celosías de hierro por el que el que en ese mismo lugar cruzaba el Guadalete la tubería del acueducto de Tempul de la que se abastecía de agua potable la ciudad de Jerez. [12] Tras su destrucción y gracias a la intervención del joven ingeniero de minas, Juan Gavala Laborde, se construyó una presa de gaviones que de manera provisional pudo dar continuidad a la conducción del acueducto de Tempul. [26]

Su ejecución tuvo lugar en 1926, cuando aún no existía el hormigón pretensado y no estaba aún desarrollada la soldadura como para confiar en ella. Es, por tanto, la auténtica obra pionera de esta técnica que vino a revolucionar a la construcción y las obras públicas. **Ricardo Barredo ejerció como perito mecánico en la obra además de colaborar con Torroja en la comprobación estructural del conjunto.** [12]

El acueducto del Tempul, construido para el abastecimiento de aguas de Jerez, está formado por 11 tramos de vigas rectas de hormigón armado de 20 metros de luz y 1 tramo central de tipo "Cantilever" (viga volada) de 57 metros. [12]

La estructura original estaba constituida por 14 tramos de vigas de 30 metros de luz biapoyadas en los correspondientes pilares. Dos de estos pilares se apoyaban en el cauce del río, lo que provocaba dudas acerca de su resistencia a la socavación. [x3] Por ello, se decidió eliminar estas dos pilas, manteniendo el resto de la estructura. Se sustituyeron las pilas por apoyos elásticos cimentados a 8 metros de profundidad debido a la mala calidad del suelo del cauce. [27]

Para eliminar estos apoyos, sin aumentar excesivamente la luz, se dispusieron unos tirantes con un cordón central de acero dulce que, pasando por encima de las pilas adyacentes a los soportes eliminados se anclaban a uno y otro lado de las mismas, disponiendo, por tanto, de la reacción vertical eliminada. [27]

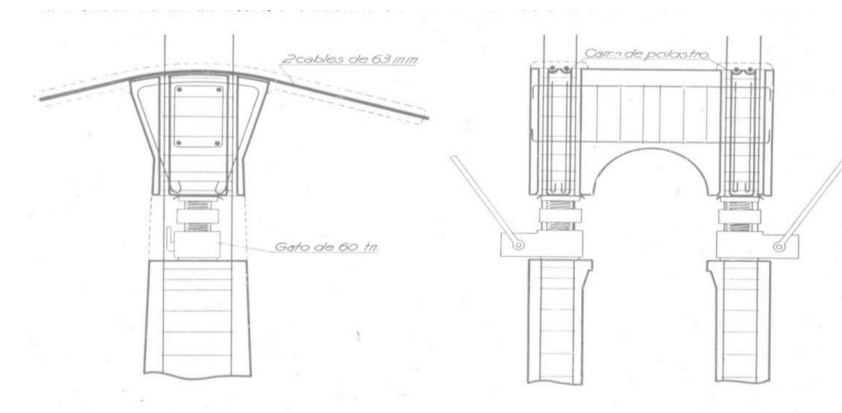


Fig. 49 Dispositivos de elevación de las cabezas de los pilares.

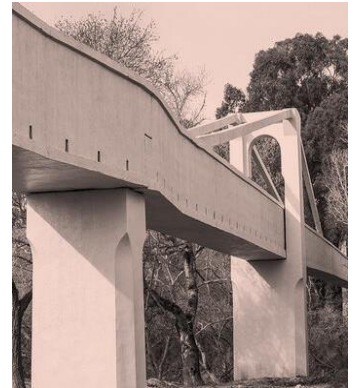


Fig. 48 Vista general de un tramo.





Fig. 50 Detalle.

El principal problema de esta solución era que esa reacción provenía de la componente vertical de la tracción del tirante y, salvo que la pila sobreelevada fuese muy alta, dicha reacción no podía generarse de forma pasiva sino con una gran flecha del tramo volado y, por lo tanto, con una flexión excesiva. Por ello, se emplearon cables de alta resistencia y se pretensaron mediante un sistema de elevación con gatos hidráulicos insertados entre las propias pilas y las cabezas de estas, consiguiendo además introducir una compresión adicional en los tramos de tablero entre los puntos de anclaje. [27]

Según cuenta Torroja, poco después de finalizar el hormigonado del tramo central apoyado en los voladizos atirantados, sobrevino una fuerte riada que comenzó a arrastrar la cimbra. Viendo peligrar la integridad de la estructura, y puesto que el hormigón ya había alcanzado una resistencia que se estimó suficiente, se procedió a accionar los gatos, levantando el cabezal de las pilas unos 25 cm., lo que bastó para elevar el extremo de los tramos colgados unos 5 cm., separando la estructura de las cimbras que fueron, finalmente, arrastradas por el agua. [27]

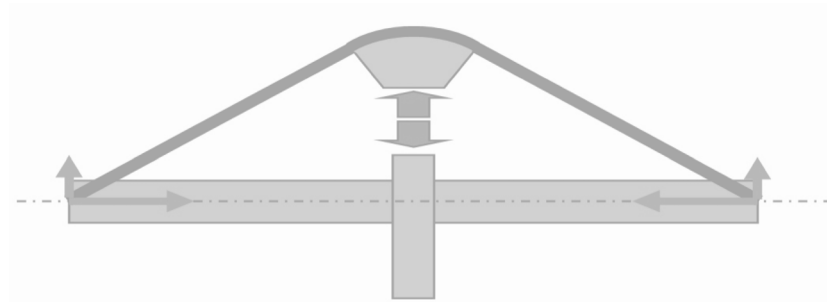


Fig. 51 Esquema de esfuerzos al elevar los gatos.

## DEPÓSITO DE AGUA

**Ingenieros:** Eduardo Torroja Miret, Alfredo Páez y Florencio del Pozo

**Fechas:** 1956

**Localización:** Fedala, Marruecos

**Tipo de obra:** Depósito

Se trata de una de las obras de ingeniería más importantes realizadas en el mundo, en esta especialidad, y, sin duda, una también de las más bellas desde el punto de vista arquitectónico.

El depósito, con una capacidad de 3500 m<sup>3</sup>. de agua, tiene forma de cuba y su pared consiste en un hiperboloide de revolución de una hoja, apoyado sobre 18 soportes de contorno y un fondo tórico también apoyado, exteriormente, en el anillo e, interiormente, en una chimenea central de acceso. [12]

Con objeto de evitar la dilatación del anillo exterior, zuncho de la bóveda tórica en su unión con la superficie del hiperboloide, se dispuso una serie de armaduras que, por bajo del fondo, forman un polígono estrellado. Así, ninguna barra tropezaba con la chimenea ni con la parte central, más baja, de la bóveda tórica. Un simple tensor de rosca en cada barra permitió su tesado, fácilmente regulable. [28]

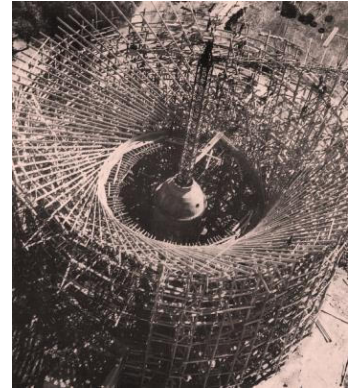


Fig. 52 Cuba hiperbólica.



Fig. 53 Vista exterior del depósito.

La cubierta está formada por dos bóvedas a la catalana de triple hoja, de forma tórica, que se apoyan sobre tres anillos concéntricos de hormigón armado: Uno, central, que zuncha la chimenea, otro, intermedio, apoyado en una serie de soportes que, en prolongación a los de la base, atraviesan la cuba, y el tercero, alojado en la pared exterior del vaso. [28]

Las dimensiones esenciales de la estructura son: Diámetro inferior, 18,40 m., diámetro superior, 39,60 m., diámetro del nivel máximo del agua, 31,80 m., altura útil de agua, 8 m., altura total de la cuba sobre apoyo de soportes, 12,35 m. y, finalmente, espesor de la pared, 28 cm. en la base, reduciéndose gradualmente hasta llegar a 17 cm. en la altura del nivel máximo de agua y siendo de 10 cm. el espesor del resto hasta la coronación. [12]

El pretensado se llevó a cabo con alambres de 7 mm. en la pared y con redondos de acero dulce de 35 mm. de diámetro en el anillo inferior. Para encofrar el fondo fue utilizada una bóveda a la catalana de doble hoja. El volumen de hormigón a pretensar fue de 390 m<sup>2</sup>., mientras que, el acero de pretensar para los alambres consistió en unos 39601 kg. y para las barras se emplearon 6050 kg. [12] **El tesado de las armaduras se hizo por el anillo superior mediante anclaje y gatos tipo Barredo.** [28]

Esta construcción, es un buen ejemplo de las posibilidades formales y estructurales del hormigón pretensado. Su original silueta campaniforme, destacándose sobre el horizonte, viene a ser como un símbolo del dominio de la técnica en beneficio de las condiciones de vida de un pueblo. [12]

## IGLESIA DE SAN NICOLÁS

**Arquitecto:** Gonzalo Echegaray

**Ingeniero:** Eduardo Torroja Miret

**Fechas:** 1962

**Localización:** Gandía, Valencia

**Tipo de obra:** Iglesia

La construcción de un templo parroquial en el Grao de Gandía era bien notoria y necesaria desde que terminó la Guerra de Liberación, donde fue destruida la antigua iglesia. La Santa Misa y demás cultos se celebraban en uno de los pabellones del puerto dedicado a Lonja de Pescado. [17]

Esto obligaba a crear unas instalaciones en la Lonja, de tipo provisional, en las que el culto se desarrollaba en unas condiciones de temperatura, aislamiento, recogimiento y de confort, muy por debajo de las admisibles en un recinto dedicado a cumplir tan altos fines espirituales. [17]

El solar elegido para la construcción del nuevo templo está situado en un saliente de tierra, frente al puerto, de forma sensiblemente triangular, limitado por su lado oeste con la carretera, quedando los otros dos lados en forma de cuna o espolón que penetra en el mar. [29]



Fig. 54 Fachada oeste de la Iglesia de San Nicolás.

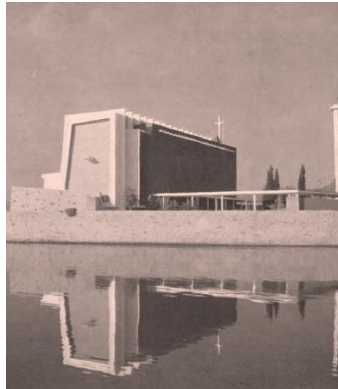


Fig. 55 Vista exterior de la fachada.

Desde un punto de vista artístico su emplazamiento es excelente, pues queda el templo exento, sin servidumbres respecto a los edificios colindantes, y en destacada posición frente a los que desde el mar vienen a arribar al puerto. [30]

La estructura está formada por una doble fila de contrafuertes en Z, que en el paramento norte aparecen al interior de la nave y en el sur al exterior, y que son los elementos rigidizadores de unas vigas-muro pretensadas, que se apoyan en los piñones de fachada principal y fondo de altar, dejando toda la luz libre por su base y parte alta.

La iluminación de las capillas es indirecta, apareciendo, en su frente sur, una serie de huecos de colores como expresión y símbolo de la tradicional y representativa vidriera religiosa. La separación de estas capillas se efectúa de un modo parcial con unos muretes bajos de piedra. Esta solución permite que la visibilidad del altar sea completa, pudiendo seguirse la Santa Misa desde dentro de las capillas. [29]

Cubriendo casi toda la zona baja del frente norte aparece un hueco corrido, cerrado con puertas correderas transparentes, que incorpora el claustro a la nave. Esta solución se ha estudiado desde un punto de vista funcional, con el fin de conseguir durante el verano, época donde la población sufre un importante incremento, que, al abrir las puertas correderas, la nave y el claustro quedan totalmente enlazados, aumentando casi al doble la zona desde la que se puede seguir la Santa Misa. [29]

En el fondo de la nave, y encuadrado con una embocadura marcadamente asimétrica, aparece el presbiterio, en el que se alza el altar, se-

parado del muro de fondo y sobre el que destaca una sencilla cruz de hierro liso resaltada ante un paño completo de mosaico. El presbiterio se ilumina a través de un ventanal con vidrios de colores, oculto en un lateral, de forma que acentué la composición asimétrica. El pórtico que encuadra el presbiterio y define el piano de separación entre este y la nave, se ha tratado con un mosaico de tonos fríos. [29]

La iluminación principal de la nave se efectúa a través de un ventanal corrido, situado entre las dos cubiertas a todo lo largo de la nave, marcando la independencia existente entre los dos paños de estructura. Esta iluminación fuerza el contraste que se buscó entre los dos paramentos opuestos de la nave, dejando el patio frente al ventanal, en forma exageradamente lisa y sencilla, con iluminación directa que, resbalando por el techo inclinado, cae sobre dicho muro lateral, en marcada oposición con el otro lateral, que queda en sombra, desdibujando la dureza de las vigas-contrafuerte que aquí aparecen al interior a lo largo de todo el paño. [29]

Independientemente de su solución original y de altos valores estéticos, se llegó a esta forma en el deseo de que los paramentos que cierran y delimitan el templo, parezcan aéreos y ligeros. En este camino surge la estructura que envuelve la nave, sin apoyo aparente, rotos sus enlaces con la tierra y abierta en su altura, como cumpliendo un deseo de entrega a su misión. [29]

Se construyó en una época en el que el hormigón armado se había consolidado en España como principal material para la ejecución de estructuras y se experimentaba con nuevos sistemas. En concreto, se recurrió a la utilización de una innovadora solución, la disposición de dos láminas plegadas.



Fig. 56 Interior de la Iglesia.

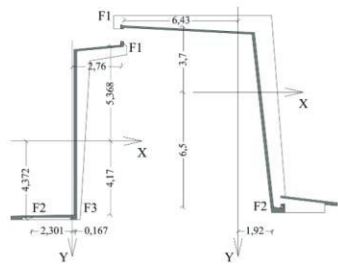


Fig. 57 Sección transversal de las láminas.

Torroja proyecta dos láminas plegadas de hormigón, independientes entre sí, apoyadas en los testeros de la edificación. La autonomía de las dos láminas plegadas permite generar tres rasgaduras longitudinales: el lucernario de cubierta, el tragaluz sobre las capillas y el acristalamiento al claustro. Las láminas de hormigón adquirieron inercia gracias a la altura de los muros (9,5 m. el muro Norte y 10,5 m. el Sur) y al plegado horizontal en sus extremos. Tienen forma de Z, con el alma formada por las fachadas y el ala superior por la cubierta de la nave. [12]

El ala inferior está constituida por la cubierta de las capillas laterales de la lámina Sur y por la cubierta del claustro en la Norte. Sin embargo, la losa inferior de la lámina Sur no se encuentra directamente conectada con el muro, sino que se une a través de las costillas. Por ello, es frecuente referirse a la forma de esta lámina como una L invertida.

El comportamiento estructural de las delgadas láminas es mejorado por Torroja mediante dos soluciones constructivas. Por un lado, dispone una serie de costillas, como elemento de rigidización frente a los esfuerzos de flexión esviada y torsión, causados por la geometría asimétrica y quebrada de las láminas y para evitar los fenómenos de inestabilidad elástica. Por otro lado, introdujo esfuerzos activos en las losas mediante **el postesado de tendones de acero por el método Barredo.** [12] Los situados en la superficie vertical contrarrestaban la mayor parte del peso propio, reduciendo los esfuerzos de flexión. Los tendones situados en la cubierta de la nave y de las capillas producían dos fuerzas horizontales de sentidos contrarios que reducían los esfuerzos de torsión. [30]

A los 15 años de la construcción de la Iglesia, Fernández Cánovas supervisó la primera intervención, motivada por la fisuración generalizada que presentaban las costillas de la estructura exterior. Las fisuras que

aparecían, en vertical, en todas las costillas coincidían con la posición de las barras de esquina y estaban motivadas por la corrosión de estas. La intervención consistió en eliminar los recubrimientos, que eran escasos, limpiar las barras mecánicamente con cepillo de alambre, darles una pintura protectora de epoxi-zinc y posteriormente rehacer el recubrimiento con un hormigón adecuado de cemento portland. [30]

Al finalizar la obra, Gonzalo Echegaray y Francisco Arredondo, comentaron que ésta no era una solución definitiva y que, en un futuro, volverían a aparecer problemas dado que no se conocía el estado de los cables de postesado, ni de otros elementos interiores sobre los que no se había intervenido. [30]

Efectivamente, la estructura de la iglesia de San Nicolás del Grau de Gandía presentó de nuevo ciertas lesiones que fueron detectadas en 1996, llevando a cabo un proyecto de rehabilitación integral entre los años 2002 y 2006. [30]

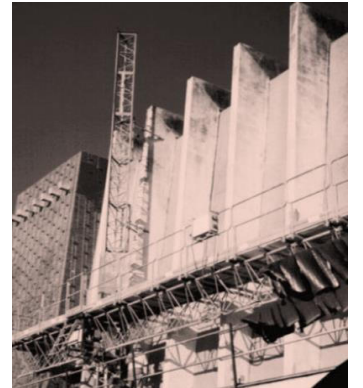


Fig. 58 Estado de los pórticos-costillas.



## PUENTES

Se expone una tabla a modo de resumen de diversos puentes y obras civiles que fueron construidos por el método de Barredo. Hay que destacar que fue en este campo donde el método tuvo su máximo uso y aprovechamiento. A pesar de la existencia de la empresa "Procedimientos Barredo", la totalidad de las obras citadas a continuación no están ligadas a dicha empresa constructora.

Tabla 3. Recopilación de puentes donde intervino Ricardo Barredo.

OBRA	LONGITUD (m)	AUTOR	LUGAR	CONSTRUCTORA	FECHA
<b>Viaducto Martín Gil</b>	470	Francisco Martín, Eduardo Torroja, César Villalba y Antonio Salazar	Zamora	-	1943
<b>Puente del Pedrido</b>	70	Eduardo Torroja y César Villalba	La Coruña	-	1943
<b>Puente de la Barca</b>	-	Eduardo Torroja	Pontevedra	-	1946
<b>Puente en Ledesma</b>	108,80	Eduardo Torroja	Ledesma, Salamanca	-	1954
<b>Paso de hormigón sobre vías de ferrocarril</b>	12,90	Carlos Fernández Casado	Madrid	Huarte y Cía S.A.	1954
<b>Puente en Almarail</b>	70	Alfredo Páez y Eduardo Torroja	Almarail, Soria	Ricardo Barredo	1955
<b>Paso del camino viejo de Villaverde</b>	60	I. de los Santos	Madrid	Termac S.A.	1954
<b>Puente de Valdecañas</b>	162	A. Martínez Santoja	Cáceres	Hidroeléctrica Española S.A.	1958
<b>Puente sobre el Guadarrama</b>	-	Alfredo Páez	Villalba, Madrid	AMSA	1958



OBRA	LONGITUD (m)	AUTOR	LUGAR	CONSTRUCTORA	FECHA
<b>Puente de Gundián</b>	250	Ricardo Barredo de Valenzuela	Vedra, La coruña – A Estrada, Pontevedra	-	1958
<b>Losa de cierre del tablero en el puente sobre el Guadiana</b>	-	Carlos Fernández Casado	Badajoz	Cimentaciones y obras S.A.	1958
<b>Puente sobre el Nervión</b>	20	Luis Angulo Prota	Bilbao	Aynco	1959
<b>Puente del Canal del bajo Guadalquivir</b>	47,20	A. Martínez Santoja	Sevilla	Alcazamsa	1961
<b>Puente sobre las compuertas de la presa de Soto Ribera en el Nalón</b>	112	Carlos Fernández Casado	Asturias	Huarte y Cía S.A.	1961
<b>Puente sobre el Cabriel</b>	60	Baltasar Guardia	Cuenca	Construcciones Machetti	1961
<b>Puente sobre el Mogent</b>	30	José Antonio Torroja	Barcelona	Constructora Industrial S.A.	1960
<b>Puente sobre el embalse de Valdecañas</b>	337,71	A. Martínez Santoja y F. García Mata	Cáceres	Hidroeléctrica Española S.A.	1961
<b>Puente superior de ferrocarril</b>	130	Francisco González Quijano y José López Jamar	Talavera de la Reina – Villanueva de la Serena	Dragados y Construcciones S.A.	1961
<b>Pasarela en la presa del Vado</b>	60	Carlos Barredo	Guadalajara	MZOV	1961
<b>Puente sobre el Tinto</b>	115	Carlos Fernández Casado	Huelva	Entrecanales y Távora S.A.	1961

OBRA	LONGITUD (m)	AUTOR	LUGAR	CONSTRUCTORA	FECHA
<b>Puente de Erro a Urroz</b>	13	José Antonio Torroja	Navarra	Maritnicorena S.A.	1961
<b>Puente sobre el Alcanadre</b>	126	Tomás Mur Vilaseca	Ballobar, Huesca	Cimentaciones y obras S.L.	1961
<b>Puente sobre la cola del embalse de Alarcón</b>	217,2	José Sancho-Tello	Alarcón, Cuenca	Entrecanales y Távora S.A.	1961
<b>Puente de Almodóvar</b>	176	Carlos Fernández Casado	Córdoba	Huarte y Cía S.A.	1962
<b>Viaducto sobre el Fresnedoso</b>	169,20	José Antonio Torroja	Salamanca	Helma S.A.	1962
<b>Puente de Santiago</b>	190	Tomás Mur Vilaseca	Zaragoza	Dragados y construcciones S.A.	1962
<b>Puente sobre la riera del Callonge</b>	52	-	Hospitalet de Llobregat, Barcelona	Alcor	1962
<b>Puente sobre el Guadarranque</b>	66	José Antonio Torroja	Cádiz	Corsan S.A.	1962
<b>Puente sobre el Guadiaro</b>	90	José A. López y Carlos Gosálvez	Cádiz	Dragados y Construcciones S.A.	1963
<b>Puente sobre el Pisuerga</b>	95	José A. Puyal Lezcano	Valladolid	García Jimeno e hijos S.A.	1963
<b>Puente de Eduardo Torroja</b>	74	Eduardo Torroja y José Antonio Torroja	Corella, Navarra	Fernández Constructor S.A.	1963
<b>Puente de Ahigal</b>	155	A. Martínez Santoja y Gabriel Ramos	Cáceres	Cintec S.A.	1964

OBRA	LONGITUD (m)	AUTOR	LUGAR	CONSTRUCTORA	FECHA
<b>Puente sobre el canal imperial</b>	21	Juan José Arenas de Pablo	Zaragoza	Fernando Lázaro e Industrias Albajar S.A.	1965
<b>Puente en la presa de Guadarranque</b>	33,64	José Antonio López Jamar y Luis Lozano	Algeciras, Cádiz	Dragados y construcciones S.A.	1966
<b>Puente del ferrocarril Miraflores Arrabal</b>	222	Demetrio Ullastres y José Antonio López Jamar	Zaragoza	Dragados y construcciones S.A.	1967
<b>Puente-acueducto</b>	180	José Antonio Puyal Lezcano y Vicente Vilanova	Loriguilla, Valencia	Coninsa	1968

A continuación, se exponen y describen algunas de estas obras.

## VIADUCTO MARTÍN GIL

**Ingenieros:** Francisco Martín Gil, Eduardo Torroja Miret, Antonio Salazar Martínez y César Villalba Granda

**Fechas:** 1932 (1<sup>er</sup> Proyecto) 1935 (2<sup>o</sup> Proyecto) 1939 (3<sup>er</sup> Proyecto) 1934-1943 (Obra)

**Localización:** Zamora

**Tipo de obra:** Viaducto

El trazado de la línea del ferrocarril entre Zamora y A Coruña cruza la zona del embalse que forma la presa de Ricobayo en el río Esla mediante el viaducto de Martín Gil, cuyo gran arco central fue genialmente **proyectado y dirigido por Eduardo Torroja, en colaboración con OMES y Ricardo Barredo.** [31]

Con una longitud de 470 metros de longitud y 60 metros de altura sobre el nivel máximo del embalse del río Esla, dispone de un arco de casi 200 metros de luz siendo el más largo del mundo construido en hormigón, cuyas cifras dan una idea de la magnitud de la obra. [12]

La envergadura de la obra, por un lado, y el obligado paro de los trabajos durante la guerra civil española, por otro, hicieron que el proceso, tanto de proyecto como de ejecución, fuese lento, laborioso y sometido a frecuentes cambios. [32]

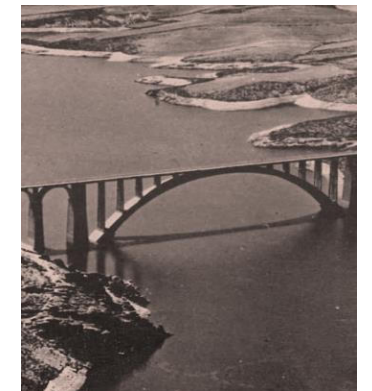


Fig. 59 Viaducto.



Fig. 60 Construcción de la cercha metálica.

En un principio se redactaron dos proyectos: uno de Antonio Salazar y otro de Alberto Pérez Moreno. En ambos casos, eran soluciones muy conservadoras que no resolvían los problemas de construcción y cimentación en los tramos de mayor calado del embalse.

En noviembre de 1929 se hicieron cargo del proyecto Francisco Martín Gil y César Villalba que proponen una solución donde ya se incluía el arco de 200 metros de luz. La construcción de la gran bóveda comenzó en plena Guerra Civil, por lo que sufrió los problemas de una situación de contienda. Fue Eduardo Torroja quien intervino de manera decisiva al aconsejar un sistema de armazón metálico para permitir la construcción de la gran bóveda central, basándose en las enseñanzas de su maestro, José Eugenio Ribera. [33]

**El hormigonado de la bóveda lo llevo a cabo Ricardo Barredo**, y no solo fue complejo desde el punto de vista técnico, sino que la operación se realizó durante el invierno de 1940-1941 en el que las temperaturas máximas apenas llegaron a los 2 grados y los vientos soplaron con velocidades medias de 60 kilómetros/hora. Las bajas temperaturas hicieron necesario emplear calentadores eléctricos en la hormigonera y en la zona de trabajo, aunque ni así se alcanzaron los 10 grados.

La inauguración se produjo en abril de 1943 y el coste de las obras fue casi de 70.000 € (11.500.000 pts.), el doble de lo fijado en el proyecto modificado de Villalba. [34]

En cuanto a la cimbra que caracteriza el viaducto, se resolvió colocándola dentro del arco que se quería construir, estudiándola para que, después de cumplida su misión como cimbra, continuase trabajando como armadura definitiva del hormigón del propio arco. [34]

La cimbra estaba formada por dos cuchillos arriestrados transversalmente; cada cuchillo estaba constituido por una serie de triángulos que se fueron colocando y enlazando unos a otros mediante un blondín.

Cada grupo de cuatro triángulos quedaba provisionalmente articulado al contiguo; y en estos puntos de articulación, quedaban colgados de un cable superior provisional mediante pendolones. Estos iban provistos de tensores de rosca que permitieron, una vez montados todos los elementos de la cimbra, corregir su nivel y adaptar el conjunto exactamente a la directriz prevista. [34]

Acabada esta operación, se soldaron todas las articulaciones, excepto la de la clave y las dos de los arranques situadas en la cabeza superior de la cimbra. De esta forma la cimbra podía dilatarse libremente por efecto de las variaciones de temperatura, sin sufrir por ello esfuerzos adicionales. [34]

En estas condiciones se hormigonaron los primeros cordones del trasdós del arco, envolviendo las cabezas superiores de la cimbra, quedando éstas muy reforzadas y, a continuación, se envolvieron, igualmente en hormigón, las cabezas inferiores. Este hormigón quedaba, por consiguiente, colgado, a través de las diagonales, del arco que formaban las cabezas superiores con el hormigón ya endurecido. [34]

La aplicación de unos gatos en los arranques y en la clave de la cabeza superior, pusieron la cimbra en compresión, obligándola así a soportar parte de la composición que hasta ese momento cargaba íntegramente sobre los cordones del trasdós.



Fig. 61 Retrato de dos trabajadores con un triángulo.



Fig. 63 Arranque del viaducto.

El conjunto pasa de ser un arco triarticulado a ser uno empotrado. Ya no había inconveniente en ello, porque, envueltas ambas cabezas de la cimbra por igual en gruesas secciones de hormigón, desaparecían las fuertes desigualdades de deformación que podían sufrir antes, mientras una cabeza estaba envuelta, la otra se encontraba totalmente desnuda y expuesta a la acción de la intemperie. [34]

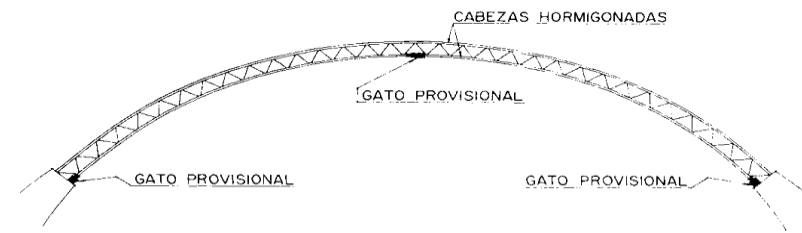


Fig. 62 Esquema del arco.

A partir de este momento podían irse hormigonando, sucesivamente, los diferentes cordones hasta completar la sección definitiva. Cabe destacar que los cuchillos de la cimbra se habían dispuesto de modo que quedasen alojados en los dos huecos laterales de la sección de hormigón. Como consecuencia de ello, la separación entre cuchillos de cimbra era relativamente pequeña y hubiera podido pandear lateralmente el conjunto de la cimbra bajo la acción del viento y de los propios pesos de los primeros cordones de hormigón. [34]

Para evitarlo se fijaron, hacia los riñones del arco, dos botones de amarre que quedaban fijos en el espacio mediante sistema de cables y fuertemente anclados a las laderas rocosas, con los oportunos dispositivos para regular la tensión. Estos botones pasaban a través de los correspondientes ojales o deslizaderas en la cimbra; de modo que ésta, si bien podía moverse libremente en el plano vertical, no podía tomar en esos puntos movimientos transversales. [34]

Volviendo al hormigonado del arco, éste se hizo, por cordones longitudinales sucesivos. Pero, además, cada uno de ellos se hormigonó por dovelas independientes según un orden preestablecido para producir las mínimas flexiones en la cimbra. Cada dovela tenía la longitud comprendida entre dos nudos sucesivos de la misma. Entre dos dovelas contiguas se dejaba un espacio de algunos centímetros, que era hormigonado después de tres semanas del hormigonado de las dovelas para dar tiempo a que tomase la mayor parte de su retracción. [34]

Una vez terminado totalmente el hormigonado del arco, se procedió a abrir la clave mediante la aplicación en ella de 36 gatos hidráulicos capaces de equilibrar con holgura, sobre cada mitad del arco, el empuje de 7.500 toneladas, propias del peso propio del arco. Así se abrió la clave 9 cm., compensando el acortamiento por retracción y por deformación elástica bajo la acción permanente de la compresión. [34] Una vez hormigonada esa abertura, retirados los gatos y hormigonados, también, los espacios que ocupaban, se procedió a la construcción de las palizadas y de la estructura del tablero, quedando, así, terminada la obra.

El proceso descrito se efectuó sin dificultad. Los botones de amarre funcionaron eficazmente, impidiendo el vuelco, aún bajo la acción de fuertes vendavales. Y las mediciones y observaciones, que continuamente se hacían, acusaron siempre un buen comportamiento del arco. Sin embargo, el proceso seguido obligaba a una marcha relativamente lenta para dar lugar a la retracción de las dovelas y evitar desigualdades demasiado grandes entre las dimensiones de los distintos cordones. [34]



Fig. 64 Retrato de un trabajador con un anclaje tipo.





Fig. 65 Vista del puente.

## PUENTE EN GUADARRAMA

**Ingeniero:** Alfredo Páez Balaca

**Fechas:** 1957 (Obra)

**Localización:** Villalba (Madrid)

**Tipo de obra:** Puente

Para la construcción del puente el ingeniero de la Administración impuso la condición de que el tramo debería ejecutarse si auxilio de cimbras ni apoyos intermedios que obstruyesen, siquiera parcialmente, el vano libre. En realidad, nada se oponía a la construcción de una cimbra, dado que, el río Guadarrama, en aquellos parajes, es un modesto arroyo. [35]

La posibilidad de poder apuntalar la obra, en un momento de apuro, es lo que motivó la decisión de suprimir la cimbra, lo que conllevó a que la obra se convirtiese en un caso donde se pudiese ensayar una maniobra de lanzamiento de vigas con menor riesgo técnico y económico. [35]

Alfredo Páez, junto a Ricardo Barredo y Carlos Ruiz Larrea idearon este original sistema de lanzamiento de las vigas, que funcionó a la perfección. [35]

El sistema de ejecución fue el del lanzamiento de piezas de 18 metros de longitud y peso no superior a las 15 toneladas, estimadas como límite para poder ser suspendidas por cabrestantes de menos de 8 toneladas de carga. [35]

El puente tenía que estar formado por un conjunto de vigas o largueros longitudinales de dimensiones convenientes para satisfacer la limitación de peso establecida. El problema residía en la disposición, técnica y económicamente más ventajosa, de un tablero sustentado por una serie de vigas paralelas. [35]

Bajo el peso de las cargas, la independencia de las vigas hace que, al deformarse y ceder unas más que otras, se produzcan unos desniveles que agrietan longitudinalmente el firme. Cinco soluciones distintas se ensayaron:

- La primera consistía en separar las vigas 3 metros. Las vigas, prefabricadas, se lanzaban colocándolas a esta distancia. Colgándose de ellas se disponía un encofrado sobre donde se hormigonaba un tablero armado.

Esta solución pronto se abandonó.

- La segunda opción que se pensó fue la de colocar las vigas (de sección en T), con sus alas dispuestas a tope. Sobre ellas se hormigona el tablero dejando previamente las armaduras de acero para la continuidad transversal. Las vigas quedan así recrecidas con el espesor del forjado.

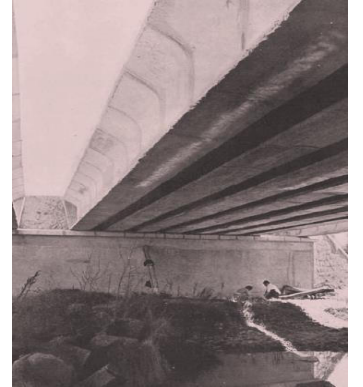


Fig. 66 Vista inferior del puente.





Fig. 67 Piezas estructurales.

- La tercera opción es una variante del hormigón, donde el tablero se hormigona igual, pero sin la colocación de las armaduras.

La solidarización de las piezas para conseguir el conveniente reparto de las cargas del tanque entre varias vigas, y la resistencia transversal del tablero se consigue mediante un pretensado normal a las piezas.

- La cuarta solución que se ensayó fue la de lanzar las vigas con su sección definitiva, empleando el pretensado transversal para solidarizarlas entre sí.
- En la quinta solución las piezas presentan unos rigidizadores de alma con unos orificios transversales- las vigas se colocan, unas junto a otras, enfrentándose los rigidizadores.

Por los orificios practicados se pasa una armadura de acero especial que cose todas las piezas a través de los rigidizadores transversales. Mediante un pretensado de esta armadura, el tablero queda constituido por un emparrillado de vigas longitudinales y transversales.

Entre la solución quinta y las anteriores hay una diferencia fundamental: el reparto de la carga entre las distintas piezas longitudinales es completamente distinto, debido a la mayor rigidez del tablero. [35]

En principio, la quinta solución parece no presentar más que ventajas y resultar la opción óptima. Pero las apariencias engañan y la rigidez transversal del emparrillado no siempre es muy conveniente. A veces se omite la comprobación de los esfuerzos a que da lugar la posición excéntrica del tanque, respecto al eje longitudinal de simetría del puente. [35]

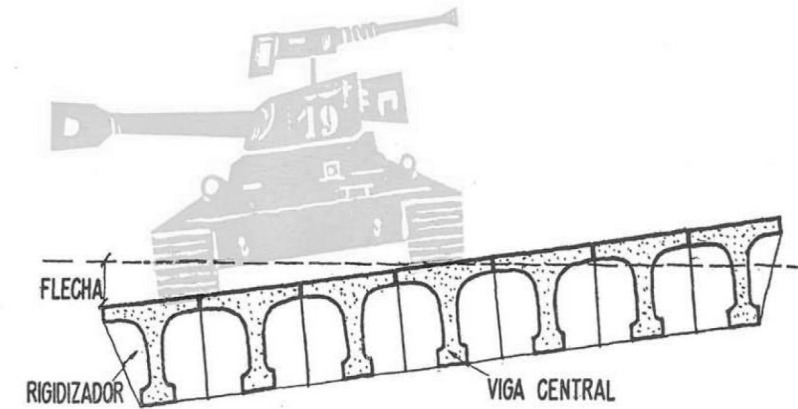


Fig. 69 Esquema de las comprobaciones de los esfuerzos que producen la posición excéntrica del tanque.

Más cerrada fue la lucha entre las soluciones segunda, tercera y cuarta. Esta última conduce a un mayor peso de la viga durante el lanzamiento por llevar la sección definitiva. La segunda y tercera exigen el hormigonado del tablero en la obra. [35]

La solución segunda parece la más económica en puentes estrechos: La economía en acero que se deduce del pretensado transversal se diluye con el sobrecosto de los anclajes. [35]



Fig. 68 Construcción del puente.



Fig. 70 Construcción del puente.

La solución tercera aparece sobrecargada con el coste de los tubos de pretensado. En el puente esta partida se suprimió dejando unas ranuras transversales en el tablero, mediante la colocación de unos tabloncillos colocados de canto, en cuyo fondo se sitúan las armaduras de pretensado transversal, calculado por el método de Courbon. <sup>[12]</sup>

La sencillez de ejecución por este sistema y la economía en acero decidieron la adopción de este método. Las vigas longitudinales se construyen por dovelas. Una vez fabricadas y alineadas, se enhebra la armadura de acero de alta resistencia. <sup>[35]</sup>

Solidarizadas las piezas mediante el esfuerzo de compresión introducido, se lanzan colgándolas de dos torretas rudimentarias, ejecutadas con carriles, mediante cables accionador por dos cabrestantes sencillos. <sup>[35]</sup>

La circunstancia de que las dovelas se solidarizan mediante la compresión ejercida por el pretensado, invalida la posible objeción de que las juntas constituyen una sección débil. <sup>[35]</sup>

Proyectado el puente mediante el doble cálculo a la fisuración y a la rotura, todas las fibras longitudinales están comprimidas incluso bajo la acción del tanque de 60 toneladas, después de haberse experimentado las pérdidas habituales de tensión. <sup>[35]</sup>

Alfredo Páez menciona que pocas obras se han desarrollado con la facilidad con la que se ha construido este puente. El mérito de esa difícil cualidad corresponde tanto a los constructores Carlos Ruiz y Ricardo Barredo como a la Administración. <sup>[35]</sup>

## TECPRESA



Fig. 71 Producto certificado por AENOR.

El sistema Barredo sigue activo gracias a la firma Tecpresa. Dicha constructora es pionera en España en la actividad del Postesado desde 1957. Es una empresa líder en el sector debiendo su éxito a su personal altamente especializado.

La gran experiencia de Tecpresa en el mercado del postesado, así como la confianza mostrada por sus clientes en las soluciones aportadas, la han llevado a desarrollar una amplia diversificación de la empresa en el sector de las actividades complementarias de la construcción, entre las que destacan:

- Tirantes.
- Empuje de viaductos.
- Movimiento de grandes cargas.
- Protección acústica.

Tecpresa colabora con otras empresas del grupo como; Cintra, Grupisa, BAA, Budimex, Cadagua o Grupo Ferrovial. <sup>(36)</sup>

## TENDENCIAS DEL PRETENSADO Y POSTESADO <sup>[14]</sup>

Las empresas especializadas que poseen las patentes de los sistemas de pretensado y postesado juegan con la tecnología para crecer en el mercado. Los avances tecnológicos son la respuesta a demandas específicas para ciertas estructuras y construcciones.

En el terreno de las demandas más recientes, la durabilidad es la más importante, para la cual, la primera solución investigada fue la monitorización, siendo la segunda la mejora de los procedimientos de ejecución junto con una profundización en el conocimiento de los materiales empleados. La dificultad fundamental, entre otras, para los nuevos materiales es económica, al tener que competir con dos de los materiales de construcción más extendidos y baratos: el hormigón y el acero.

Dada la situación alcanzada, no son de prever grandes cambios a corto plazo. Tampoco, se trata de una técnica amenazada de extinción. La evolución del acero de pretensado está prácticamente estancada a pesar de los rumores cíclicos sobre apariciones de nuevos aceros con resistencias específicas a rotura más allá de los 2000-2200 MPa. No se prevén grandes saltos principalmente porque la demanda de acero de pretensado sólo afecta a una fracción mínima de la producción mundial de acero, con lo que los grandes productores no se sienten presionados.



Fig. 72 Maquinaria de tensado.



Fig. 73 Gato hidráulico para postesado.

La normalización es el factor que deberá uniformizar los criterios para la aplicación de los sistemas de pretensado. Las normas serán cada vez más parecidas, proceso que se verá facilitado por la correspondiente uniformidad de los procesos industriales que se aplican a la fabricación de los componentes de los sistemas.

Todas las normas se referirán al anclaje por cuña sobre cordón de 7 alambres, por lo que morfológicamente todos los sistemas tenderán hacia una solución única. Sin embargo, los intereses políticos y comerciales no permitirán la aparición de un monopolio.

Gracias a la proximidad de grandes ingenieros constructores, el pretensado se aplica de maneras diversas tanto en la concepción del proyecto como en su ejecución, contribuyendo incluso al nacimiento de nuevos métodos constructivos.

La introducción del hormigón pretensado y postesado cambió la situación de un modo espectacular en casi todos los procedimientos, tales como el de avance por voladizos y el empuje del dintel, que inicialmente se aplicaron casi exclusivamente con hormigonado 'in situ'. Posteriormente, el empleo de dovelas prefabricadas ha permitido aumentar los ritmos de construcción, especialmente en puentes muy largos, acortando drásticamente el período de construcción.

## CONCLUSIONES



Fig. 74 Portada revista ATEP, mayo 1970.

Barredo con sus patentes e invenciones plasmó sus conocimientos en el amplio mundo de la construcción de diversas estructuras. Con su innovador sistema de postesado brindó a España la capacidad de competir con los más conocidos y utilizados sistemas internacionales.

Se ha mostrado la importancia y trascendencia de Ricardo Barredo mediante su colaboración en diferentes empresas, sus patentes y sus premios recibidos. Su cooperación en la fundación de diferentes entidades del mundo de la construcción, como lo fueron la ATEP o el Instituto Torroja, ha dejado constancia de lo ligado que estaba el ingeniero a la Arquitectura.

Los premios recibidos y nombramientos como miembro de honor a lo largo de su trayectoria son solo un pequeño reconocimiento de su gran aportación al campo de la edificación y obra civil.

Se han descrito sus numerosas patentes, algunas de ellas ampliamente utilizadas en las más innovadoras obras de arquitectura e ingeniería. Barredo pasó su vida ideando todo tipo de sistemas, mejorando, potencialmente, la construcción. Invenciones que abarcaban sistemas arquitectónicos, técnicas industriales e incluso mecanismos para armamento o transporte.

Se ha explicado el Método Barredo, método de postesado de reconocimiento internacional. Dicho método permitió crear, diseñar, construir y dar forma a las ideas de diversos profesionales de la construcción que por diferentes motivos no tenían en sus manos la capacidad de confeccionar sus estructuras soñadas.

Fueron numerosas, importantes e innovadoras las obras en las que participó. Todas ellas han sido recopiladas y analizadas en el presente trabajo. Junto a Torroja diseñó y colaboró en múltiples obras que supusieron un antes y un después en la forma de construir que se tenía por aquel entonces.

Cabe destacar que, profesionalmente, también tuvo relación con otros ingenieros como Florencio del Pozo o Antonio Salazar, y, arquitectos como Miguel Fisac o Cayetano Cabanyes.

No todas sus obras se basaban en la resolución de un problema, como se suele decir erróneamente de la ingeniería. Lo estético y lo compositivo también tenían lugar propio en dichas obras. De hecho, muchas se regían por estos aspectos tan arquitectónicos.

Creaciones como el Mercado de Algeciras, el Centro de Estudios Hidrográficos, el increíble Depósito de Fedala o el Viaducto de Martín Gil, se han convertido en hitos arquitectónicos que han servido como referencia e inspiración para arquitectos e ingenieros de todo el mundo.

Por último, se ha expuesto la aplicación del método Barredo en la actualidad. Se demuestra así que, aun habiendo pasado más de medio siglo, fue un método innovador de postesado que, hoy en día, se sigue usando en múltiples estructuras.

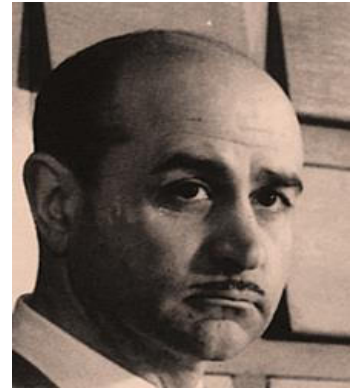


Fig. 75 Retrato de Miguel Fisac.





Fig. 76 Anclaje de postesado.

Es evidente que la aportación de Barredo más que exitosa, fue necesaria. Por ello, se remarca el hecho de que para que alguna creación siga siendo válida en la actualidad, como es el caso, ésta debe ser brillante y excepcional.

Se quiere recalcar el trabajo y puesta en común de ingenieros y arquitectos, que en unión son capaces de desarrollar magníficos proyectos. La colaboración de ambas profesiones enriquece la propuesta y asegura un resultado óptimo de la obra.



Fig. 77 III Cursillo Tetracero de cálculo de Estructuras de Hormigón con diferentes técnicos y profesionales del mundo de la construcción.

## BIBLIOGRAFÍA

## FUENTES

### LIBROS, REVISTAS Y TESIS

AA.VV. (2013). The San Nicolas Church in Gandía (Spain) or how Eduardo Torroja devised a new, innovative and sustainable structural system for a long-span roofs. *Engineering Structures*, 56 (2013) 1893-1904.

Antuña, J. (2002). Las estructuras de edificación de Eduardo Torroja Miret. Universidad politécnica de Madrid. Tesis doctoral.

Arredondo, F. (1988). El IETcc y la ATEP. *Informes de la construcción*, 40 (398), 4.

Ayats, J. (2004). Estado actual del pretensado y tendencias y retos del futuro, 16. Tesis doctoral.

Baldanta, C. (2015). Análisis estructural de la cubierta del pabellón de cocinas de la Universidad laboral de Tarragona, 36.

Barredo, R. (2015). Curso sobre estructuras viarias, 64.

Casinello, P. (2008). El espíritu impreso de una idea: exposición conmemorativa '60 años de la revista *Informes de la Construcción*'. 85-114.

Castellón, F. (1942). Viaducto Martín Gil. *Revista de obras públicas*.

Comisión de Cultura del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Galicia. (2008). Trayectoria: Rafael Barredo. *Revista Do Colexio de enxeñeiros de camiños, cannaís e portos de Galicia*, (6), 22-23.

Comisión de Cultura del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Galicia. (2009). El puente de Gundián. Fermín G. Blanco. *Revista Do Colexio de enxeñeiros de camiños, cannaís e portos de Galicia*, (12), 33-35.

Echegaray, G. (1964). Iglesia en el Grao de Gandía. *Informes de la construcción*, 16 (157), 1-11. doi: 10.3989/ic.1964.v16.i157

Equipo, E. (1974). Actividades. *Informes de la construcción*, 27 (263), 4.

Fabra, J. (2012). The Algeciras market hall in the work of Eduardo Torroja. Tesina de especialidad.

Fenollosa, E. (s.f.). Método Barredo o método español de postesado.

Fundación COAM. (1935). Manuel Sánchez Arcas. Arquitecto, colección Arquíthemas (12). Madrid, España: Fundación Caja de Arquitectos.

González, F. (2006). Razón y ser de los tipos. *Informes de la construcción*, 58 (503), 2-3. doi: 10.3989/ic.2006.v58.i503

Lacroix, R. y Fuentes, A. (1978). Hormigón Pretensado. Concepción, cálculo y ejecución (p- 107). Barcelona, España: Editores asociados, sa.

López, M. (s.f.). Puentes para la historia. Artículo encontrado suelto en Biblioteca de Madrid.

Oficina técnica de Eduardo Torroja. (1943). Puente de la Barca sobre el río Lerez en la carretera de Pontevedra al Grove, Memoria, 1-11.

Páez, A. (1958). Puente pretensado sobre el Guadarrama. *Informes de la construcción*, 11 (106), 1-9. doi: 10.3989/ic.1958.v11.i106

Paya, I. y Lozano, J.A. (2017). Anlysis os Eduardo Torroja's Tempul Aqueduct an important precursor of modern cable.stayed bridges, extradosed bridges and pretessed concrete. *Engineering Structures*, 150 (2017) 955-968.

Procedimientos Barredo (1970). Hormigón pretensado: Obras realizadas con procedimientos Barredo. Madrid, España: s.n.

Serrano, B., Fenollosa, E. y Arnau, F. (2016). Evaluación de daños y actuaciones de rehabilitación en la Iglesia de San Nicolás de Eduardo Torroja (Gandía, 1962). *Informes de la construcción*, 65 (541), 1-11. doi: 10.3989/ic.2016.v68.i541, (12), 33-35.

Sánchez, J.C. y de Santo, F.J. (2008). El viaducto Martín Gil, inaugurado en 1942, récord en arco de luz.

Torres, A. y Morales, F. (2011). Sistemas constructivos: Hormigón pretesado y postesado, 6-7. Trabajo final de grado.

Torroja, E. (1899-1961). Razón y ser de los tipos estructurales. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, D.L. 2007.

Torroja, E. (1962). El gran arco del Viaducto Francisco Martín Gil. *Informes de la construcción*, 14 (137), 1-14. doi: 10.3989/ic.1962.v14.i137

Torroja, E. (1962). La cuba hiperbólica de Fedala. *Informes de la construcción*, 14 (137), 1-6. doi: 10.3989/ic.1962.v14.i137

### ARTÍCULOS ONLINE

Casinello, M.J. (2011). Biografía de Eduardo Torroja. Fundación Eduardo Torroja, 3. Recuperado de <http://bit.ly/2Uy6l67>

García, S. (2017). Centro de Estudios Hidrográficos. Miguel Fisac. Arqfoto. Recuperado de <http://bit.ly/2Xzy5Jl>

CEDEX. (s.f.). Miguel Serna Fisac. Centro de estudios hidrográficos. Recuperado de <http://bit.ly/2lS4irh>

AENA. (s.f.). Presentación del Aeropuerto de Valencia. Recuperado de <http://bit.ly/2XyTTF9>

Barredo, R. (2015). Curso sobre estructuras viarias. Área de tecnología del grupo ELSAMEX, 76. Recuperado de <https://bit.ly/2NiYKKf>

Anónimo. (2011). La rasa ferroviaria del Carrer Aragó. Recuperado de <https://bit.ly/2YB5VP9>

Rosas, A. (1979). El desastre de Torrejón. Recuperado de <https://bit.ly/2XOtcQw>

Villalba, C. (1943). El puente del Pedrido. Recuperado de <https://bit.ly/32bL3Ab>

López, P. (2017). El puente de A Barca cumple 150 años de transformaciones. Recuperado de <https://bit.ly/2XwSuTB>

La Gaceta. (2019). La construcción del Puente Nuevo: anécdotas y curiosidades. Recuperado de <https://bit.ly/2NEtfu>

Sainz de los Terreros, M. (1961). El nuevo puente de Corella (Navarra). Recuperado de <https://bit.ly/2JfSCyk>

### ENLACES WEB

Archivo Torroja. (2002). Obras y proyectos de ingeniería. Recuperado de <https://bit.ly/1Kvulgy>

Barredo, R. (s.f.). Patentes. Recuperado de <https://bit.ly/2XmtSx4>

García, A. y García, J. (2017). Con Eduardo Torroja en la Barca de La Florida. Recuperado de <https://bit.ly/2FWwDI>

Yepes, V. (2016). El acueducto del Tempul, de Eduardo Torroja. Recuperado de <https://bit.ly/2L5YDjo>

Ayuntamiento de Bergondo. (s.f.). El puente de O Pedrido: Un coloso de hormigón que mejoró la comunicación entre A Coruña y Ferrol. Recuperado de <https://bit.ly/2LHR0nx>

Archivo Torroja. (s.f.). Puente sobre el río Tormes en Ledesma (Salamanca). Recuperado de <https://bit.ly/1Kvulgy>

Ayuntamiento de Almarail. (s.f.). Puente del ingeniero D. Eduardo Torroja. Recuperado de <https://bit.ly/2FW1wPF>

Colaboradores de Wikipedia. (2019). Puente de Gundián. Recuperado de <https://bit.ly/2YCewB1>

Tecpresa. (s.f.). Tecpresa. Recuperado de <https://bit.ly/2FYj6Cy>

### PROGRAMAS INFORMATICOS

Adobe Acrobat (Pro DC) [Software]. (2019). Recuperado de <https://adobe.ly/2krvTGb>

Adobe InDesign (CC 2019) [Software]. (2019). Recuperado de <https://adobe.ly/2krvTGb>

Adobe Photoshop (CC 2017) [Software]. (2019). Recuperado de <https://adobe.ly/2krvTGb>

AutoCAD (2014) [Software]. (2019). Recuperado de <https://autode.sk/2lLO49u>

Word (Microsoft Office 365 ProPlus) [Software]. (2019). Recuperado de <https://bit.ly/2lZDKLg>

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- [1] (4.37.) Comisión de Cultura del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Galicia. (2008). Trayectoria: Rafael Barredo. Revista Do colexio de enxeñeiros de camiños, canals e portos de Galicia, (6), 22-23.
- [2] Cassinello, M.J. (2011). Biografía de Eduardo Torroja. Fundación Eduardo Torroja, 3. Recuperado de <http://bit.ly/2Uy6l67>
- [3] Lacroix, R. y Fuentes, A. (1978). Hormigón Pretensado. Concepción, cálculo y ejecución, 107. Barcelona, España: Editores asociados, sa.
- [4] Arredondo, F. (1988). El IETcc y la ATEP. Informes de la construcción, 40 (398), 4.
- [5] Equipo, E. (1974). Actividades. Informes de la construcción, 27 (263), 4.
- [6] Barredo, R. (2015). Curso sobre estructuras viarias. Área de tecnología del grupo ELSAMEX, 76. Recuperado de <https://bit.ly/2NiYKKf>
- [7] Archivo Torroja. (2002). Obras y proyectos de ingeniería. Recuperado de <https://bit.ly/1Kvulgy>
- [8] (4.9.) González, F. (2006). Razón y ser de los tipos. Informes de la construcción, 58 (503), 2-3. doi: 10.3989/ic.2006.v58.i503
- [9] Cassinello, P. (2008). El espíritu impreso de una idea: exposición conmemorativa '60 años de la revista Informes de la Construcción', 85-114.
- [10] Barredo, R. (s.f.). Patentes. Recuperado de <https://bit.ly/2XmtSx4>
- [11] Torres, A. y Morales, F. (2011). Sistemas constructivos: Hormigón pretensado y postesado, 6-7. Trabajo final de grado.
- [12] Procedimientos Barredo. (1970). Hormigón pretensado: Obras realizadas con procedimientos Barredo. Madrid, s.n.
- [13] Fenollosa, E. (s.f.). Método Barredo o método español de postesado.
- [14] Ayats, J. (2004). Estado actual del pretensado y tendencias y retos del futuro, 16. Tesis doctoral.
- [15] Fernández, J. y Navarro J.R. (1999). Eduardo Torroja: Ingeniero. Madrid: Pronaos, 1999.
- [16] Fundación COAM. (1935). Manuel Sánchez Arcas. Arquitecto, colección Arquíthemas, (12). Madrid, España: Fundación Caja de Arquitectos.
- [17] Torroja, E. (1899-1961). Razón y ser de los tipos estructurales. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, D.L. 2007.
- [18] Fabra, J. (2012). The Algeciras market hall in the work of Eduardo Torroja. Tesina de especialidad.
- [19] Antuña, J. (2002). Las estructuras de edificación de Eduardo Torroja Miret. Universidad politécnica de Madrid. Tesis doctoral.
- [20] Barelles, I. (2018). Aproximación arquitectónica y análisis estructural del Mercado de Algeciras proyectado por Eduardo Torroja, 46.
- [21] Fisac, M. (1964). Centro de Estudios Hidrográficos, en Madrid. Informes de la construcción, 16 (157), 2-10. doi: 10.3989/ic.1964.v16.i157
- [22] CEDEX. (s.f.). Miguel Serna Fisac. Centro de estudios hidrográficos. Recuperado de <http://bit.ly/2IS4irh>
- [23] García, S. (2017). Centro de Estudios Hidrográficos. Miguel Fisac. Arqfoto. Recuperado de <http://bit.ly/2Xzy5Jl>
- [24] García, G. (2013). Marquesina de la terminal T-1 del Aeropuerto de Valencia. Recuperado de <https://bit.ly/2kpU5ll>
- [25] AENA. (s.f.). Presentación del Aeropuerto de Valencia. Recuperado de <http://bit.ly/2XyTTF9>
- [26] Yepes, V. (2016). El acueducto del Tempul, de Eduardo Torroja. Recuperado de <https://bit.ly/2L5YDjo>
- [27] Torroja, E. (1962). La cuba hiperbólica de Fedala. Informes de la construcción, 14 (137), 1-6. doi: 10.3989/ic.1962.v14.i137
- [28] Echegaray, G. (1964). Iglesia en el Grao de Gandía. Informes de la construcción, 16 (157), 1-11. doi: 10.3989/ic.1964.v16.i157
- [29] AA.VV. (2013). The San Nicolas Church in Gandia (Spain) or how Eduardo Torroja devised a new, innovative and sustainable structural system for a long-span roofs. Engineering Structures, 56 (2013) 1893-1904.

[30] Serrano, B., Fenollosa, E. y Arnau, F. (2016). Evaluación de daños y actuaciones de rehabilitación en la Iglesia de San Nicolás de Eduardo Torroja (Gandía, 1962). Informes de la construcción, 65 (541), 1-11. doi: 10.3989/ic.2016.v68.i541

[31] Castellón, F. (1942). Viaducto Martín Gil. Revista de obras públicas.

[32] Sánchez, J.C. y de Santo, F.J. (2008). El viaducto Martín Gil, inaugurado en 1942, récord en arco de luz.

[33] López, M. (s.f.). Puentes para la historia. Artículo encontrado suelto en Biblioteca de Madrid.

[34] Torroja, E. (1962). El gran arco del Viaducto Francisco Martín Gil. Informes de la construcción, 14 (137), 1-14. doi: 10.3989/ic.1962.v14.i137

[35] Páez, A. (1958). Puente pretensado sobre el Guadarrama. Informes de la construcción, 11 (106), 1-9. doi: 10.3989/ic.1958.v11.i106

[36] Tecpresa. (s.f.). Tecpresa. Recuperado de <https://bit.ly/2FYj6Cy>

## REFERENCIAS FOTOGRÁFICAS

- Fig. 1** Escudo de la Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales de FAIE. (s.f.). Escudo de la Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales de España. [Escudo]. Recuperado de <https://bit.ly/2xxve8l>
- Fig. 2** Esquema de anclaje diseñado por el ingeniero E. Freyssinet. Freyssinet, E. (1910). Esquema de tensionamiento y anclaje del ingeniero Freyssinet. [Esquema]. Recuperado de "A review of the development of Prestressed Concrete"
- Fig. 3** Universidad de ingeniería industrial de Madrid. García, L. (2011). Universidad de Ingeniería Industrial de Madrid. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/308E5dt>
- Fig. 4** Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. Dodecaedro. Valdenebro, Abel. (s.f.). Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. Dodecaedro. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2RSjLKO>
- Fig. 5** Portada del nº145 de la revista Hormigón y acero. Revista Hormigón y acero. (1982). Portada de la revista nº145, vol. 33. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2RWzVT1>
- Fig. 6** Retrato de Eduardo Torroja. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. (1981). Retrato de Eduardo Torroja. [Retrato]. Recuperado de <https://bit.ly/2XI1MO1>
- Fig. 7** Piezas de ajedrez simulando el crecimiento profesional. Boonchuenchom, N. (s.f.). Piezas de ajedrez simulando el crecimiento profesional. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2knDCVH>
- Fig. 8** Sistema de tensado. Barredo, R. (1958). Sistema de tensado. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2XmtSx4>
- Fig. 9** Anuncio de la empresa de Ricardo Barredo en la revista de Informes de la Construcción. Revista Informes de la Construcción nº83. (1956). Anuncio de la empresa de Ricardo Barredo en la revista de Informes de la Construcción. [Ilustración]. Recuperado del libro "El espíritu impreso de una idea: exposición conmemorativa de los 60 años de la revista Informes de la Construcción" de Pepa Casinello, p. 86
- Fig. 10** Retrato de Fernando Cassinello. Revista Informes de la Construcción (1960). Retrato de Fernando Cassinello. [Retrato]. Recuperado de DOI: 10.3989/ic.16.083
- Fig. 11** Anuncios de la empresa de Ricardo Barredo en la revista de Informes de la Construcción. Revista Informes de la Construcción nº83. (1956). Anuncios de la empresa de Ricardo Barredo en la revista de Informes de la Construcción. [Ilustración]. Recuperado del libro "El espíritu impreso de una idea: exposición conmemorativa de los 60 años de la revista Informes de la Construcción" de Pepa Casinello, p. 89
- Fig. 12** Anuncio de la empresa Entrecanales y Tavora S.A. ABC. (1956). Anuncio de la empresa Entrecanales y Tavora. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/32iMTz>
- Fig. 13** Variador de caudal para bombas. Barredo, R. (1968). Variador de caudal para bombas. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2XmtSx4>
- Fig. 14** Aparato para tesado de armaduras. Barredo, R. (1955). Aparato para tesado de armaduras. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2XmtSx4>
- Fig. 15** Dispositivo antideslizante para las armaduras. Barredo, R. (1954). Dispositivo antideslizante de armaduras. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2XmtSx4>
- Fig. 16** Nuevo sistema para el tesado de las armaduras. Barredo, R. (s.f.). Nuevo sistema para el tesado de las armaduras. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2XmtSx4>
- Fig. 17** Alambres para tesado. Construnario. (s.f.). Alambres y cordones para pretesado. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2RQCHsW>

**Fig. 18** Acoplamiento de tramos prefabricados en conducciones. Barredo, R. (1962). Acoplamiento de tramos prefabricados en conducciones. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2XmtSx4>

**Fig. 19** Cimbra telescópica. Barredo, R. (1964). Cimbra telescópica. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2XmtSx4>

**Fig. 20** Aparato transportador de vigas de gran tamaño. Barredo, R. (1968). Aparato transportador de vigas de gran tamaño. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2XmtSx4>

**Fig. 21** Cuña de fijación. Barredo, R. (1971). Cuña de fijación. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2XmtSx4>

**Fig. 22** Cuña de fijación. Barredo, R. (1971). Cuña de fijación (tipo II). [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2XmtSx4>

**Fig. 23** Anclaje de fijación. Barredo, R. (1971). Anclaje de fijación. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2XmtSx4>

**Fig. 24** Elemento de hormigón pretensado. Anónimo. (2014). Elemento de hormigón pretensado. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2sGb8rd>

**Fig. 25** Elemento de hormigón postesado. Nípos. (s.f.). Elemento de hormigón postesado. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2GvqNkM>

**Fig. 26** Fuerza de postesado total en función de la distorsión de piso. Anibal, G. (2016). Fuerza de postesado en función de la distorsión de piso. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2lvodmg>

**Fig. 27** Esquemas de cables en hormigón pretesado y postesado. Torres, A. y Morales, F. (2011). Esquemas de cables en hormigón pretesado y postesado. [Esquema]. Recuperado de la tesis "Sistemas constructivos: Hormigón pretesado y postesado" de Anahí Torres y Fernanda Morales, p.8.

**Fig. 28** Portada de la revista nº78, vol. 17. Revista Hormigón y acero. (1966). Portada de la revista nº78, vol. 17.

**Fig. 29** Anclaje de barra Dywidag. Dywidag-Systems International. (2016). Anclaje de barra Dywidag. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2EN6y1b>

**Fig. 30** Anclaje Freyssinet. Anónimo. (s.f.). Anclaje Freyssinet. [Fotografía]. Recuperado de la tesis "Estado actual del pretensado y tendencias y retos del futuro" de Joan Ayats Calsat, p.11.

**Fig. 31** Anclaje de método Barredo de postesado. González, F. (2007). Anclaje de método Barredo de postesado. [Fotografía]. Recuperado del artículo "El método Barredo o método español de postesado" de Ernesto Fenolosa, p.1.

**Fig. 32** Tesado de los cables por el Método Barredo. González, F. (2007). Anclaje de método Barredo de postesado. [Fotografía]. Recuperado del artículo "El método Barredo o método español de postesado" de Ernesto Fenolosa, p.2.

**Fig. 33** Sistema Barredo. Ruiz, C. (2019). Sistema Barredo. [Esquema]. Elaboración propia.

**Fig. 34** Gato hidráulico. González, F. (2007). Gato hidráulico. [Fotografía]. Recuperado del artículo "El método Barredo o método español de postesado" de Ernesto Fenolosa, p.2.

**Fig. 35** Sistema Multi-B. Ruiz, C. (2019). Sistema Multi-B. [Esquema]. Elaboración propia.

**Fig. 36** Vista interior del Mercado. Anónimo. (1933). Vista interior del mercado. [Fotografía]. Recuperado de la colección Arquíthemas nº12 de Manuel Sánchez Arcas, p. 215.

**Fig. 37** Cubierta exterior.

Anónimo. (1933). Cubierta exterior. [Fotografía]. Recuperado de la documentación del Fondo Eduardo Torroja.

**Fig. 38** Cubierta.

Anónimo. (1933). Cubierta. [Fotografía]. Recuperado de la documentación del Fondo Eduardo Torroja.

**Fig. 39** Mapa de colores Dz. HIP01.

Bareilles, I. (2018). Mapa de colores Dz. HIP01. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2lv6Py2>

**Fig. 40** Interior de estudios Hidrográficos.

Del Río, A. (2006). Interior del Centro de Estudios Hidrográficos. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2xvDDtF>

**Fig. 41** Vigas vistas desde el exterior.

Anónimo. (s.f.). Vigas vistas desde el exterior. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2RYNO2Z>

**Fig. 42** Superposición de las diferentes vigas-hueso en comparativa a la misma escala.

González, F. (2010). Superposición de las diferentes vigas-hueso en comparativa a la misma escala. [Esquema]. Recuperado de <https://bit.ly/2xvDDtF>

**Fig. 43** Dovelas postesadas.

Barredo, R. (s.f.). Dovelas postesadas. Recuperado de <https://bit.ly/2RYNO2Z>

**Fig. 44** Pieza pretensada.

Peiró, V. (s.f.). Pieza pretensada. Recuperado de <https://bit.ly/2RYNO2Z>

**Fig. 45** Marquesina del aeropuerto.

Soeters, P. (2017). Marquesina del aeropuerto de Valencia. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2Jc5dme>

**Fig. 46** Marquesina del aeropuerto.

Wilson, R. (2017). Marquesina del aeropuerto de Valencia. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2FR3Lnm>

**Fig. 47** Vista general antes del descimbrado.

Anónimo. (1925). Vista general antes del descimbrado. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2FWwDI>

**Fig. 48** Vista general de un tramo.

Anónimo. (2017). Vista general de un tramo. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2FWwDI>

**Fig. 49** Dispositivos de elevación de las cabezas de los pilares.

Torroja, E. (1925). Dispositivos de las cabezas de los pilares. [Esquema]. Recuperado de <https://bit.ly/2YAyzt>

**Fig. 50** Detalle.

Anónimo. (2017). Detalle. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2FWwDI>

**Fig. 51** Esquema de esfuerzos al elevar los gatos.

Yepes, V. (2016). Esquema de esfuerzos al elevar los gatos. [Esquema]. Recuperado de <https://bit.ly/2YAyzt>

**Fig. 52** Cuba hiperbólica.

Anónimo (1955). Cuba Hiperbólica. [Fotografía]. Recuperada de <https://bit.ly/2XswVyM>

**Fig. 53** Vista exterior del depósito.

Anónimo (1956). Vista exterior del depósito. [Fotografía]. Recuperada de <https://bit.ly/2XswVyM>

**Fig. 54** Fachada oeste de la Iglesia de San Nicolás.

Arnau, F. (2013). Fachada oeste de la Iglesia de San Nicolás. [Fotografía]. Recuperado del Trabajo Final de Máster "La Iglesia de San Nicolás en el Grau de Gandía: Estudio Histórico y estructural" de Fernando Arnau, p. 30.

**Fig. 55** Vista exterior de la fachada.

Echegaray, G. (1964). Vista exterior de la fachada. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2JporDV>

**Fig. 56** Interior de la Iglesia.

Echegaray, G. (1964). Interior de la Iglesia. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2JporDV>

**Fig. 57** Sección transversal de las láminas.

AA.VV. (2018). Sección transversal de las láminas. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2kg4nLL>

**Fig. 58** Estado de los pórticos-costillas.

Lafuente, I. (2002). Estado de los pórticos-costillas. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2RZGDYI>

**Fig. 59** Viaducto.

Anónimo. (1943). Viaducto. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2S0TAKJ>

**Fig. 60** Construcción de la cercha metálica.

Anónimo. (1940). Construcción de la cercha metálica. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2S0TAKJ>

**Fig. 61** Retrato de dos trabajadores con un triángulo.

Anónimo. (1940). Retrato de dos trabajadores con un triángulo. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2S0TAKJ>

**Fig. 62** Esquema del arco.

Anónimo. (1937). Esquema del arco. [Esquema]. Recuperado de <https://bit.ly/2S0TAKJ>

**Fig. 63** Arranque del viaducto.

Anónimo. (1940). Arranque del viaducto. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2S0TAKJ>

**Fig. 64** Retrato de un trabajador con un anclaje tipo.

Anónimo. (1940). Retrato de un trabajador con un anclaje tipo. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2S0TAKJ>

**Fig. 65** Vista del puente.

Páez, A. (1958). Vista del puente. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2XWE13e>

**Fig. 66** Vista inferior del puente.

Páez, A. (1958). Vista inferior del puente. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2XWE13e>

**Fig. 67** Piezas estructurales.

Páez, A. (1957). Piezas estructurales. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2XWE13e>

**Fig. 68** Construcción del puente.

Páez, A. (1957). Construcción del puente. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2XWE13e>

**Fig. 69** Esquema de las comprobaciones de los esfuerzos que producen la posición excéntrica del tanque.

Páez, A. (1957). Esquema de las comprobaciones de los esfuerzos que producen la posición excéntrica del tanque. [Esquema]. Recuperado de <https://bit.ly/2XWE13e>

**Fig. 70** Construcción del puente.

Páez, A. (1958). Construcción del puente. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2XWE13e>

**Fig. 71** Producto certificado por AENOR.

Tecpresa. (s.f.). Producto certificado por AENOR. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2FYj6Cy>

**Fig. 72** Maquinaria de tensado.

Blanch, P. (s.f.). Maquinaria de tensado. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2kBoJPA>

**Fig. 73** Gato hidráulico.

Hercab. (s.f.). Gato hidráulico. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2kqlydC>

**Fig. 74** Portada de la revista ATEP, mayo 1970.

ATEP. (1970). Portada de la revista ATEP, mayo 1970. [Ilustración]. Recuperado de <https://bit.ly/2kb1mw4>

**Fig. 75** Retrato de Miguel Fisac.

Anónimo. (1950). Retrato de Miguel Fisac. [Retrato]. Recuperado de <https://bit.ly/2m7Z2aq>

**Fig. 76** Placa de anclaje de postesado en puente.

Störfix. (2005). Placa de anclaje de postesado en un puente. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/2kzToNb>

**Fig. 77** III Cursillo Tetracero de cálculo de Estructuras de Hormigón con diferentes técnicos y profesionales del mundo de la construcción.

Anónimo. (1974). III Cursillo Tetracero de cálculo de Estructuras de Hormigón con diferentes técnicos y profesionales del mundo de la construcción. [Fotografía]. Recuperado de <https://bit.ly/30ntjQJ>

**Tabla 1.** Recopilación de obras donde en sus cubiertas intervino Ricardo Barredo. Elaboración propia.

**Tabla 2.** Recopilación de obras especiales donde intervino Ricardo Barredo. Elaboración propia.

**Tabla 3.** Recopilación de puentes donde intervino Ricardo Barredo. Elaboración propia



