

# El legado de Ricardo Barredo

## *Ricardo Barredo's legacy*

Ernesto Fenollosa (\*), Iván Cabrera (\*\*), Verónica Llopis (\*\*\*)

### RESUMEN

Ricardo Barredo de Valenzuela fue una figura clave en el desarrollo tecnológico de la construcción en España en la primera mitad del siglo XX. Dirigido por Eduardo Torroja, desarrolló un método de postesado de estructuras de hormigón, patentado con su nombre, que compitió a escala internacional con los más avanzados de la época (Freyssinet, CCL,...). Participó en la construcción de las obras arquitectónicas y de la ingeniería civil más reconocidas de la época, colaborando con ingenieros de tanto prestigio como Eduardo Torroja o Fernández Casado. Miguel Fisac reconoció su esencial papel en el desarrollo de las estructuras para cubiertas formadas por dovelas de hormigón postesado, conocidas como “vigas-hueso”. El presente artículo recorre su amplia trayectoria profesional, poniendo en valor su obra y manifestando el merecido reconocimiento de su legado.

**Palabras clave:** Barredo; hormigón; postesado; patentes; Torroja; Fisac.

### ABSTRACT

*Ricardo Barredo de Valenzuela was a leading figure in the technological development of construction in Spain in the first half of the 20th century. Guided by Eduardo Torroja, he developed a method of post-tensioning concrete structures, patented under his name, which competed on an international level with the most advanced of the time (Freyssinet, CCL,...). Barredo participated in the construction of the most recognized architectural and civil engineering works of the time, collaborating with such prestigious engineers as Eduardo Torroja or Fernández Casado. Miguel Fisac recognized its essential role in the development of roof structures made up of post-tensioned concrete voussoirs, known as “bone-beams”. This article reviews his extensive professional career, highlighting his work and expressing the well-deserved recognition of his legacy.*

**Keywords:** Barredo; concrete; post-tensioned; patents; Torroja; Fisac.

(\*) Profesor Titular de Universidad. Dep. Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Universitat Politècnica de València (España).

(\*\*) Profesora Ayudante Doctor. Dep. Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Universitat Politècnica de València (España).

**Persona de contacto/Corresponding author:** [efenollo@mes.upv.es](mailto:efenollo@mes.upv.es) (E. Fenollosa)

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6610-8132> (E. Fenollosa); <http://orcid.org/0000-0002-4879-7317> (I. Cabrera); <https://orcid.org/0000-0002-6909-6915> (V. Llopis)

---

**Cómo citar este artículo/Citation:** Ernesto Fenollosa, Iván Cabrera, Verónica Llopis (2023). El legado de Ricardo Barredo. *Informes de la Construcción*, 75(570): e502. <https://doi.org/10.3989/ic.6185>

**Copyright:** © 2023 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 20/06/2022  
Aceptado/Accepted: 13/02/2023  
Publicado on-line/Published on-line: 21/06/2023

## 1. INTRODUCCIÓN

La vida profesional de Ricardo Barredo de Valenzuela se inició a una edad muy temprana cuando Eduardo Torroja le ofreció colaborar con Hidrocivil, empresa de José Eugenio Ribera en la que se encontraba trabajando (1).

La relación con Torroja, que se mantuvo a lo largo de toda su vida, le situó en un lugar privilegiado tanto para el desarrollo de innumerables soluciones técnicas como en la participación en las construcciones más relevantes de la época. No obstante, la deslumbrante luz del reconocido ingeniero hizo que Barredo viviera a su sombra a lo largo de su trayectoria, manteniéndose siempre en un segundo plano.

El reconocimiento internacional le llegó por su sistema de postesado de estructuras de hormigón, patentado como Método Barredo (2) que compitió a nivel internacional con los mejores sistemas del mercado. A través de sus empresas, participó en la construcción de los puentes y edificios más reconocidos de la época, trabajando en colaboración con los grandes maestros como Eduardo Torroja, Fernández Casado y Miguel Fisac, entre otros.

El presente trabajo tiene como objetivos reconocer la trayectoria profesional de Ricardo Barredo, mostrar algunas de sus más brillantes patentes, recordar cuál fue su participación en las obras de la época y poner en valor el legado que nos ha dejado.

## 2. TRAYECTORIA PROFESIONAL

El destino profesional de Ricardo Barredo, nacido en Galicia en 1902 (3), quedó profundamente marcado por su encuentro con Eduardo Torroja a principios de los años 20. Todavía se encontraba estudiando el grado medio de ingeniería industrial en Madrid cuando Torroja lo escogió como director del personal encargado de construir cimbras y encofrados para la empresa Hidrocivil (1). Con tan sólo 23 años ejerció como encargado de obras y perito mecánico en la construcción del famoso Acueducto de Tempul, sobre el río Guadalete, en Jerez de la Frontera. Esta colaboración marcó el inicio de una profunda amistad entre ambos ingenieros que compartieron conocimientos y trabajo a lo largo de toda su vida (1).

Carente del sentido estético-resistente que siempre puso en evidencia Torroja, se sintió más identificado con los aspectos técnicos y prácticos de la construcción.

Fue miembro fundador en 1934 del Instituto de la Construcción y de la Edificación, que surgió a iniciativa de Modesto López Otero, Alfonso Peña, Gaspar Blein, Manuel Sánchez Arcas, José M<sup>a</sup> Aguirre, José A. Petrirena, y Eduardo Torroja (4). Este instituto 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 relacionados con la construcción civil y arquitectónica, en estrecho contacto con los profesionales y la industria de la construcción. En 1949, bajo la dirección de Eduardo Torroja, se reconvirtió en el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento (ITCC) (4).

Participó en la fundación del primer laboratorio privado de pruebas de materiales en 1940, ayudó al desarrollo del Laboratorio de Torroja y formó parte de la Asociación Española

del Hormigón Pretensado (AEHP)<sup>1</sup>. A propuesta de esta Asociación, el ITCC publicó en 1950, el primer número del boletín "Últimas noticias de Hormigón Pretensado". Inicialmente de tirada limitada, se convirtió en 1964 en la publicación periódica *Hormigón y Acero*<sup>2</sup> con el objeto de difundir el conocimiento técnico y científico nacional e internacional (5), y de cuyo comité de redacción Barredo formó parte. Tanto en esta revista como en *Informes de la Construcción* eran publicadas periódicamente las obras y proyectos donde Barredo había participado, así como sus diferentes patentes, especialmente su método de postesado.

En 1951 se creó la Federación Internacional del Pretensado, FIP, con aportaciones directas de Barredo. Ésta fue la encargada, entre otras funciones, de recoger las «Recomendaciones del Comité Internacional F.I.P. - C.E.B.» para establecer el procedimiento de comprobación resistente en las obras de hormigón pretensado (6).

En el ámbito de la construcción fundó dos empresas. La primera, "Procedimientos Barredo", creada en 1957, fue pionera en la construcción de estructuras de hormigón postesadas. También intervino en la construcción de multitud de obras de ingeniería civil y edificación proyectadas por ingenieros como Eduardo Torroja o Carlos Fernández Casado, entre otros. Con ella ejecutó muchas de las soluciones constructivas que él mismo diseñó. La segunda, HUECO S.A., en sociedad con el grupo empresarial Colomer y con el arquitecto Miguel Fisac, fue fundada en 1967 con el objetivo de desarrollar comercialmente estructuras para cubiertas formadas por dovelas de hormigón postesado (7).

Posiblemente, su aportación más reconocida en el área de la arquitectura, de la ingeniería y de la construcción en general fue su sistema de postesado, conocido como Sistema Barredo o Sistema Español, al que se le dedica un apartado específico.

Aunque su figura es menos conocida por el gran público, la impecable trayectoria profesional no pasó inadvertida para las instituciones y organismos especializados en la ingeniería y la construcción que supieron reconocer sus aportaciones. 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., anunció la creación de las "Medallas de la A.T.E.P."<sup>3</sup> otorgando una de ellas a D. Ricardo Barredo (8). Dos años después, en 1976, Ricardo Barredo fue reconocido como Miembro de Honor de la ATEP por sus excepcionales circunstancias (9).

Sus hijos, Carlos y Rafael Barredo de Valenzuela, ingeniero industrial e ingeniero de caminos, respectivamente, además de sus dos apellidos, heredaron su interés por la ingeniería y la construcción.

1 A partir de 1969 pasó a denominarse Asociación Técnica Española del Pretensado.

2 Se pretendía que esta revista abarcara el ámbito científico, experimental y de cálculo de las estructuras dejando el campo de la construcción a la revista "Informes de la Construcción".

3 La Medalla de la ATEP se creó "para expresar el reconocimiento de la Asociación a aquellas personas que por sus trabajos, por sus inquietudes de estudio, por sus realizaciones, en fin, por su actuación, han producido un progreso indudable de la técnica del pretensado y de la ATEP" (9).

### 3. EL MÉTODO BARREDO DE POSTESADO

#### 3.1. Panorama internacional

Las primeras experiencias en el tesado de estructuras de hormigón se remontan a los primeros años del siglo XX. La primera patente sobre sistemas de postesado fue registrada en Francia en 1928 por Eugene Freyssinet (10), ingeniero de *Ponts et Chaussées*, pionero de las estructuras de hormigón pretensado (11). Como reconoció Torroja, la forma de anclaje de los cables en el hormigón endurecido era uno de los principales retos para el desarrollo de esta técnica (12).

En 1964, había reconocidos 63 sistemas de postesado, 9 de ellos estadounidenses y 54 europeos entre los cuales, solo uno era español: el Sistema Barredo o Sistema Español. En la mayor parte de sistemas el tesado de las armaduras se realiza mediante gatos hidráulicos, que aprisionan las barras habitualmente utilizando cuñas (Freyssinet, CCL,...), aunque en algún caso se realiza mediante rosca (BBRV). En cuanto al elemento tensado, 48 empleaban alambres, como el sistema Barredo, 10 empleaban cordones y los 5 restantes empleaban barras (13).

Los tendones podían tesarse uno a uno o bien al mismo tiempo todos los que quedaban alojados en una misma vaina. El tesado simultáneo permite mayor rapidez de trabajo, pero requiere un gato de mayor tamaño, más potente y más difícil de manejar. Además, la posibilidad de alargamiento distinto de alguna armadura o el deslizamiento de cualquier tendón durante el tesado podía causar la sobrecarga no prevista del resto. El tesado era simultáneo en 40 sistemas, e individual, o en grupos de 2, 3 ó 4 en los 23 sistemas restantes (13).

La Tabla 1 recoge las características de los principales sistemas de postesado del hormigón existentes a mediados del s. XX.

**Tabla 1.** Cuadro resumen de los principales sistemas de postesado (14).

Tipo de anclaje		Sistema	Características
Especiales		V.S.L. Leoba BBRV	Rosca
Rosca		Dywidag	Rosca
Cuña	Interior	CCL	Anclaje de cable Cuñas rígidas y lisas
	Exterior	Magnel Barredo	Cuña. 2 cables Cuña. 3 cables
	Interior y exterior	Barredo CGC Freyssinet	Anclaje múltiple. Cuñas flexibles y acanaladas

El sistema Barredo, también conocido como Método Español de postesado, fue desarrollado por Ricardo Barredo a instancia de Eduardo Torroja. Comenzó a utilizarse en 1955, compitiendo a nivel internacional con los más prestigiosos como BBRV, Freyssinet, CCL, Mangel, V.C.L., Leoba o Dischinger. Desde su aparición Torroja solo empleó dicho sistema, no solo por ser en parte responsable de su creación, sino como un modo de promocionar un producto patrio.

#### 3.2. Descripción del método Barredo

Los sistemas de tesado existentes tiraban de todos los alambres simultáneamente. Torroja no se encontraba cómodo con este procedimiento puesto que el rozamiento entre los alambres podría producir pinzamientos entre ellos. Para evitar este problema y mejorar el proceso de tesado, sugirió a Ricardo Barredo diseñar un gato que pudiera tirar de forma independiente de los alambres (1).

Así surgieron las premisas de diseño que debería tener el nuevo método de tesado (2):

- Cada uno de los alambres debe poder tesarse a una carga conocida, que se podrá variar.
- El anclaje no debe deformarse ni permitir el deslizamiento o degradación de los alambres hasta su rotura.
- Tanto el anclaje como el gato permitirán la rectificación de los esfuerzos originales tantas veces como se desee, aunque la estructura esté en servicio
- Poder comprobar la tensión de la armadura en cualquier momento

Atendiendo a estas premisas, Barredo diseñó un sistema basado en un anclaje para tres armaduras, lo cual garantiza un apoyo isostático, y un gato con seis émbolos (unidos dos a dos) que proporcionan la misma tensión a cada armadura.

Descrito con más detalle, el anclaje (Figura 1 izquierda) consiste en un cilindro con un hueco interior de forma troncocónica por el que pasan tres alambres. Entre ellos se aloja una cuña tronco-piramidal con igual inclinación que la del cono. Una vez fijada la cuña y al soltar los cables del gato, esta geometría propicia que los alambres arrastren a la cuña en su intento de recuperar el estado inicial, que ambos se solidaricen y que los tres alambres reciban la misma presión de la cuña. Un efecto similar se produce cuando, fijados los cables con la cuña en un extremo, se tira de los alambres desde el otro extremo.

Gracias al diseño y el uso de tres alambres, el anclaje queda estáticamente determinado, y, por consiguiente, son iguales los esfuerzos de retención para todos los alambres. Aunque los alambres se anclan de 3 en 3, pueden alojarse varios grupos en un mismo conducto (2).

El otro elemento de especial importancia es el gato hidráulico. El utilizado en el Método Barredo está formado por 6 cilindros interconectados dos a dos tirando solidariamente de un alambre (Figura 1 derecha). Logrado el esfuerzo (los cilindros van conectados a una bomba provista de un manómetro), se coloca la cuña, se afloja el gato y se liberan los alambres (2).

El sistema permite rectificar la tensión de los alambres volviendo a sujetarlos al gato que, al tirar de ellos los libera de la cuña. Esta característica tiene varias aplicaciones como la posibilidad de corregir las tensiones de un tendón cuando disminuyen por el tesado de otros; permite corregir las pérdidas de tensión por retracción del hormigón o compensar las pérdidas por deformaciones diferidas del hormigón bajo carga después de haber entrado la obra en servicio. Este mismo procedimiento permite aplicar un alargamiento de los

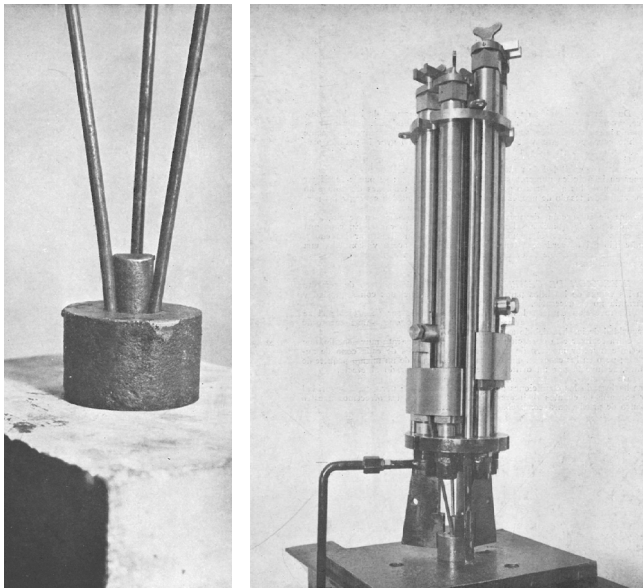


Figura 1. Anclajes (izquierda) y gato hidráulico (derecha).

alambres mayor que la carrera del gato, realizando un primer anclaje, soltando la presión del cilindro y repitiendo el procedimiento de retesado.

Cuando el tendón es recto, es suficiente con el anclaje en el extremo contrario porque al tirar del otro extremo los alambres arrastran a la cuña, fijándose al cono. Si el trazado es curvo, se puede utilizar un gato en cada extremo para reducir los problemas del rozamiento entre los alambres y el hormigón.

El sistema evita uno de los problemas derivado del tesado por grupos: el posible deslizamiento de las cuñas que sujetan los alambres al gato puede dejar a alguno de ellos a una tensión menor. En este método simplemente se produciría un recorrido mayor del émbolo correspondiente, pero aplicando la misma tensión.

Como afirmó Barredo (15) *“Por sus características técnicas de anclaje isostático con retención total de la armadura, el equilibrio de los esfuerzos aplicados a las armaduras, la realización simultánea de la tracción de las barras de un anclaje, y la facilidad de la operación de retesado, este sistema se sitúa como uno de los más completos y perfectos del mundo.”*

Sin embargo, ningún sistema está exento de inconvenientes. En este caso, la limitación a tres alambres por anclaje reducía la fuerza aplicable en cada tendón, obligando en muchas ocasiones a incrementar el número de ellos. Este inconveniente se resolvió, al menos en parte, con el uso de cables trenzados, aunque también estaban limitados a tres por anclaje.

Progresivamente, Barredo fue introduciendo mejoras en el Método como las modificaciones de los gatos hidráulicos para facilitar la sujeción de los alambres o cables al gato con los que se reducía el tiempo del proceso de postesado. También desarrolló nuevos gatos y bombas que, además de proporcionar mayor potencia, incorporaban un émbolo de presión para la colocación automática las cuñas de anclaje.

Pero la evolución sustancial del Método Barredo fue el desarrollo de un nuevo Sistema de anclaje de múltiples cables a tracción, denominado **Sistema Multi-B**, patentado por

Barredo en 1970 (16). Su objetivo consistió en poder anclar un conjunto de barras traccionadas con un riesgo mínimo de deslizamiento de las barras o rotura del anclaje.

Así se desarrolló un anclaje para 9 o 12 alambres compuesto por una corona exterior de superficie exterior paralela al eje del dispositivo y superficie interior lisa con una ligera inclinación, y otra corona interior que encaja con la anterior, con acanaladuras longitudinales para alojar los cables (Figura 2). Esta corona interior tiene, además, una ranura en cada acanaladura para permitir su deformación controlada al anclar las armaduras, lo que la dota de cierta flexibilidad para conseguir la misma tensión en todas las armaduras. La tensión en los alambres o cables se aplica con un único gato hidráulico, lo que no permite garantizar el equilibrio de las tensiones en todas las armaduras. No obstante, el anclaje de múltiples alambres de forma simultánea agiliza el proceso y reduce el tiempo de trabajo.

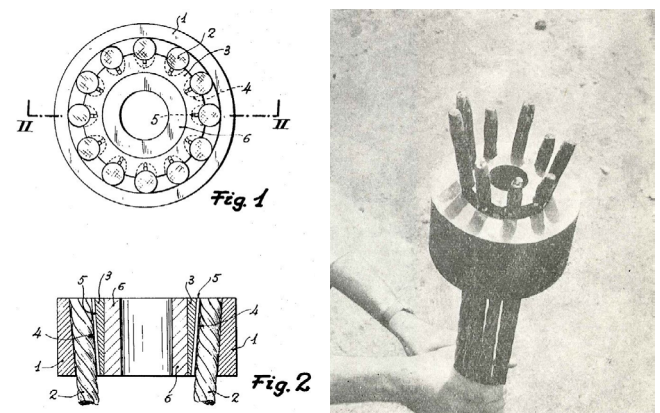


Figura 2. Dibujo del sistema de anclaje incluido en la patente (izquierda) (16). Anclaje para 9  $\varnothing$  0,6" (derecha) (15).

El propio Barredo reconocía (15) que el desarrollo de este sistema de anclajes, y el gato hidráulico asociado al mismo, suponía una renuncia en la consecución del equilibrio de las tensiones de todos los alambres o cables que se anclaban en el mismo dispositivo.

#### 4. OTRAS PATENTES

Su rigurosa forma de trabajo y su gran imaginación guiada por la visión técnica de Eduardo Torroja le permitió la creación de innovadores sistemas, muchos de los cuales fueron patentados. La construcción fue su principal campo de invención, pero abarcó también sistemas de calefacción, de iluminación, armamento o transporte. Entre otros cabe citar sus sistemas de mejora de los anclajes de paneles prefabricados, la construcción de forjados mediante placas prefabricadas o el sistema de fijación de cables y barras a tracción.

Las patentes de Barredo fueron muy aclamadas en el mercado nacional llegando a ser utilizadas incluso en el extranjero. A continuación, se describen algunas de ellas.

##### 4.1. Aparato de tesado de armaduras en piezas de hormigón.

Se trata de un dispositivo, patentado en 1958, que permite tesar tres grupos de tres alambres en elementos de hormigón armado (17). Consta de una placa para la fijación, la pieza



para la aplicación de la tensión inicial, otra pieza para aplicación de la tensión final, una célula para la medición de las deformaciones y las piezas de anclaje de los alambres. Fijado el dispositivo, se aplica una tensión inicial de forma individual a los tres alambres del grupo mediante una pieza con rueda dentada y se fijan mediante una cuña provisional. A continuación, se completa el montaje del dispositivo con los pernos roscados que sirven para aplicar la tensión y la célula de medición. El tesado de los tres alambres de cada grupo se realiza simultáneamente, controlándose el alargamiento mediante el micrómetro y anclándose el grupo mediante una cuña. El dispositivo permitía retesar los alambres todas las veces deseadas.

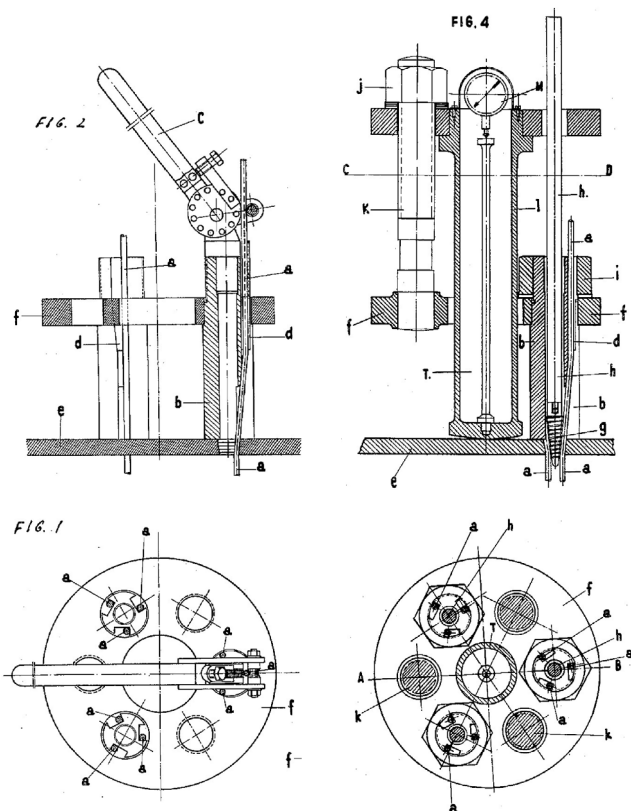


Figura 3. Esquema del aparato de tesado incluido en la patente. Fase 1 (izquierda). Fase 2 (derecha).

#### 4.2. Cimbra telescópica autolanzable.

Fue patentada en septiembre de 1964 con los objetivos de facilitar las operaciones de colocación de las vigas de hormigón en su sitio y permitir el propio desplazamiento de la cimbra de un tramo a otro del puente. Tiene capacidad para salvar vanos de hasta 40 m de longitud y desplazar vigas de 80 T de peso.

El elemento horizontal está formado por tres celosías de sección triangular. Los dos laterales, con la base del triángulo en la parte inferior, se apoyan en sus extremos sobre unas bancadas de cabeza que son las que llevan colocadas las patas. La celosía central, de sección triangular con la base en la parte superior, queda alojada entre las dos laterales y simplemente apoyada sobre ellos, realizándose el trabajo conjunto en forma de ballesta. Las patas de la lanzadera llevan en su parte inferior unas ruedas que pueden orientarse en sentido

longitudinal o transversal para permitir el movimiento en las dos direcciones.

La lanzadera va equipada con dos vagonetas que marchan sobre unos carriles colocados en la parte superior de las celosías laterales. Estas llevan unos marcos exteriores que suben y bajan en los que se cuelga la viga que hay que transportar. Son oscilantes y articulados para evitar tirones y esfuerzos anormales (18).

El proceso para el avance de la cimbra grafiado en la Figura 4 comienza con el anclaje de la cimbra a la estructura ya construida. La celosía central desliza telescópicamente mediante unos rodillos que lleva la plataforma, utilizando como contrapeso las celosías laterales que quedan fijas (la vagoneta posterior sirve de sujeción de la pieza que avanza en voladizo). Una vez la celosía central ha salvado el vano y queda apoyada en la siguiente pila, avanzan las dos celosías laterales apoyadas sobre la vagoneta delantera y rodando en su extremo posterior sobre el tablero del tramo anterior. De esta forma la lanzadera queda en su nueva posición, habiéndose trasladado por sus propios medios y sin necesidad de contrapesos adicionales.

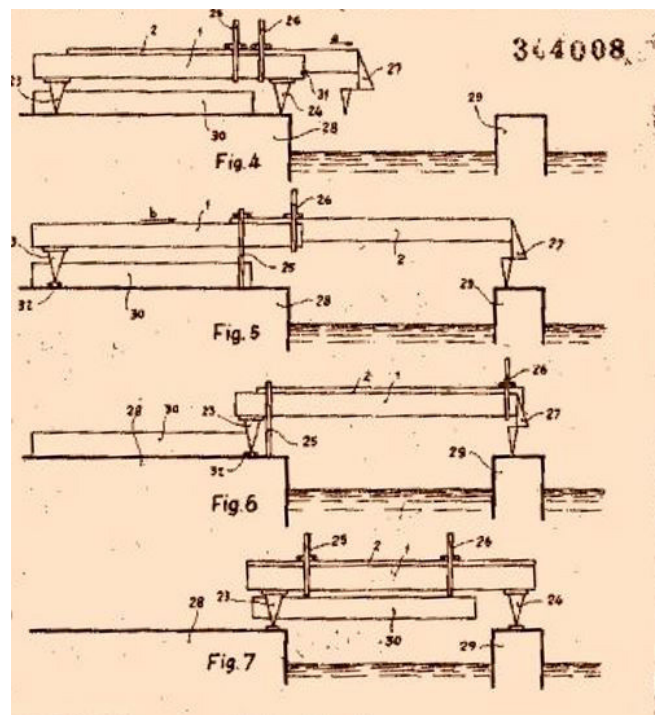


Figura 4. Esquema de funcionamiento de la lanzadera. (Imagen extraída de la patente de la Cimbra Telescópica Autolanzable)

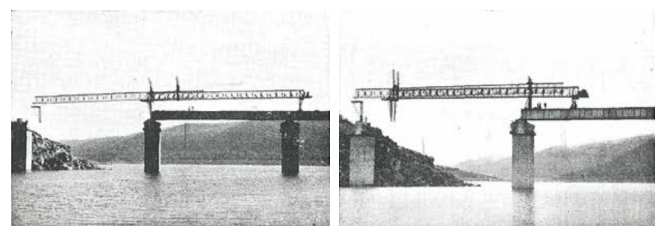


Figura 5. Desplazamiento de la lanzadera. Viaducto del Fresnedoso (19).

En la Figura 5 se pueden ver dos etapas del avance de la lanzadera en el Viaducto del Fresnedoso, proyectado por el ingeniero D. José Antonio Torroja y construido entre 1960 y 1964

(18). El viaducto se compone de tres vanos centrales de 37,40 m de luz y otros dos en los extremos de 28,35 m. Las vigas fueron prefabricadas por dovelas y postensadas mediante el sistema Barredo.

El desplazamiento y colocación de la viga de hormigón se realiza en varias etapas. La viga se desplaza sobre el tablero del puente apoyada en dos vagonetas sobre carriles hasta que la punta delantera entra en la cimbra. En ese momento se cuelga de la vagoneta delantera de la lanzadera y sigue avanzando. Cuando la cola de la viga entra en la lanzadera, se cuelga de la vagoneta trasera deslizando todo el conjunto sobre la lanzadera hasta que alcanza su posición. Para bajar la viga de hormigón a su posición final se utilizan los gatos hidráulicos que disponen las vagonetas. El sistema permite realizar un ripado transversal de la lanzadera, con la viga colgada, para depositarla en su sitio.

En la Figura 6 se observa el desplazamiento de una viga de hormigón en el puente de Ahigal, proyectado por el ingeniero D. Antonio Martínez Santonja (18). En concreto la pieza que se está desplazando corresponde a la que se sitúa sobre la pila dejando dos tramos en voladizo en cuyos extremos apoyarán las vigas isostáticas.



Figura 6. Traslado de una viga prefabricada de hormigón. Puentes de Ahigal (19).

La cimbra fue utilizada en la construcción de numerosos puentes de la época entre los que cabe citar el Viaducto de San Antolín en Ribadesella (20) y el puente de García Morato sobre el río Pisuerga en Valladolid.

### 5. COLABORACIÓN CON EDUARDO TORROJA

La relación de Ricardo Barredo con Eduardo Torroja fue larga y fructífera, en muchas ocasiones como colaborador en los aspectos técnicos y en otras como constructor. Entre las numerosas obras proyectadas por Torroja y construidas por la empresa de Barredo cabe nombrar:

El **Acueducto de Tempul** en Jerez de la Frontera, construido en 1926, fue la primera obra diseñada por Eduardo Torroja en la que Ricardo Barredo intervino como perito mecánico de la obra y participó con Torroja en la comprobación estructural del conjunto.

Eduardo Torroja modificó el diseño original del acueducto para evitar la cimentación de dos pilas en el lecho del río (21).

Las pilas centrales fueron sustituidas por dos apoyos elásticos realizados mediante dos tirantes, salvando una luz de 60 m, con un tramo central de 20 m biapoyado sobre los laterales. Para evitar las grandes deformaciones que se producen en la puesta en carga de los cables, Torroja diseñó un sistema de tesado mediante la elevación de la cabeza de las pilas (Figura 7, izquierda). Posteriormente, tanto el espacio entre las pilas y las cabezas como los tirantes fueron hormigonados. Esta innovadora solución lo convierte en una de las primeras estructuras de hormigón postesado. En 2017 fue publicado un amplio estudio de este acueducto realizado por Lozano-Galant y Paya-Zaforteza (22)

Como constructor, Ricardo Barredo S.A. intervino en la construcción de otros dos de los grandes puentes diseñados por Eduardo Torroja: El puente del Pedrido, sobre la ría de Betanzos y el viaducto Martín Gil, sobre el río Esla. Ambos comenzaron antes del estallido de la guerra civil española y su diseño inicial fue modificado al retomarse las obras.

Finalizada la guerra, Torroja completó el vano central del **puente del Pedrido** (1939-1943) mediante un arco atirantado (tipo bow-string). El arco parabólico de hormigón armado salva un vano de 75 m de luz y una flecha de 12,5 m, con un apoyo articulado y el otro deslizante (23). El tablero se resuelve mediante una losa de hormigón sobre vigas de 7 m de luz que cuelgan del arco a través de tirantes metálicos.

El vano central, de 210 m. de luz, del **viaducto Martín Gil**, también se salva mediante un arco, pero en este caso el tablero descansa sobre él, apoyado sobre soportes de hormigón armado. Uno de los aspectos que caracteriza este puente es el uso de la cimbra, “*formada por dos cuchillos arriostrados transversalmente*” (24) que se aprovechó como armadura del hormigón. En este caso Ricardo Barredo se encargó de todos los trabajos de hormigonado del arco, que se realizó por roscas longitudinales comenzando por los cordones del trasdós de la armadura, continuando por las roscas del intradós, las almas de la sección hueca y finalizando con las roscas que cerraban el extradós (25). Terminado el hormigonado y mediante 36 gatos hidráulicos se abrió la clave (9 cm) para compensar los acortamientos por retracción y deformación elástica del hormigón.

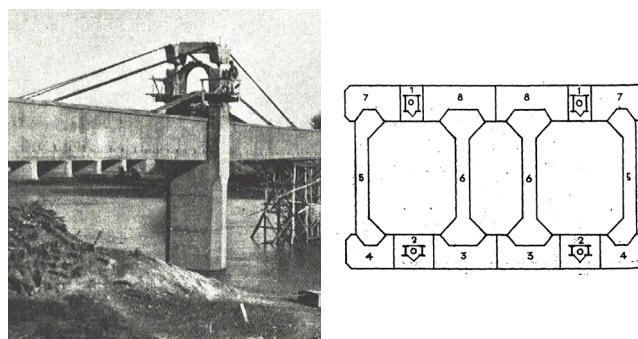


Figura 7. Acueducto de Tempul: Elevación de la cabeza de las pilas (izquierda) (26). Viaducto Martín Gil: Orden de hormigonado de las roscas (25).

También como constructor participó Ricardo Barredo en la realización de la conocida cubierta del **Mercado de Algeciras** (1935) a partir del proyecto de Manuel Sánchez Arcas



y Eduardo Torroja Miret. Se trata de un casquete esférico de 47,80 m de luz (récord en su momento), 44,10 m de radio y 9 cm de espesor (27). La componente horizontal del empuje radial es contrarrestada por un anillo octogonal anclado a la cabeza de los soportes (Figura 8 izquierda) formado por 16 barras de 30 mm de diámetro (28). La tensión introducida en el tirante, aplicada mediante tensores de rosca, mantiene la cúpula completamente comprimida y evita la flexión de los soportes. La puesta en carga del tirante hizo que la cúpula se despegara del encofrado, facilitando las operaciones de descimbrado (29).

El método Barredo de postesado de estructuras de hormigón fue utilizado por Eduardo Torroja en varias de sus obras más reconocidas. Entre ellas destacan las dos que se describen brevemente a continuación.

El **Depósito de agua de Fedala** (Marruecos), construido en 1957, es una estructura laminar con forma de hiperboloide de revolución de 18,40 m y 36,60 m de diámetro en la base y en la coronación, respectivamente. El espesor de la pared es de 28 cm en la base y 10 cm en la coronación. La forma elegida permitió “*un doble pretensado según sus dos familias de generatrices rectas*” (30) con el que se consiguió un estado de compresión en dos direcciones que evitaba la fisuración del hormigón al estar sometido a la presión del agua. Fiel a sus principios, Torroja siguió utilizando el Método Barredo para el pretensado incluso en obras realizadas fuera del territorio nacional. En este caso el tesado y anclaje de los alambres se realizó en el anillo superior (Figura 8 derecha).

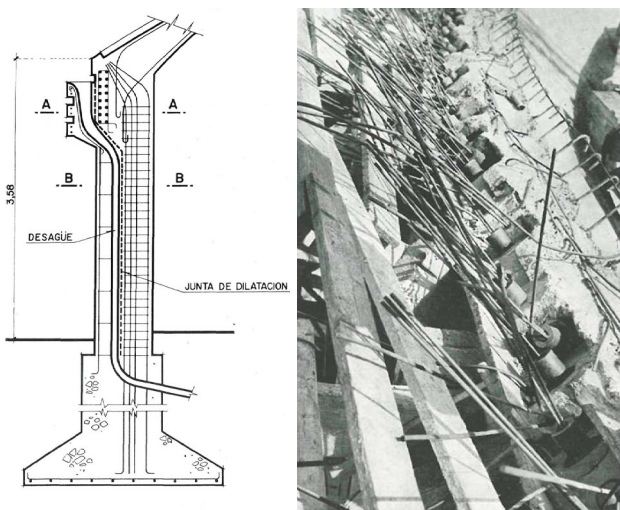


Figura 8. Mercado de Algeciras: Tirante en las cabezas de los soportes (izquierda) (27). Depósito de Fedala: anclajes en el anillo superior (derecha) (30).

En septiembre de 1959, Eduardo Torroja organizó en el Instituto de la Construcción y del Cemento el “International Colloquium on Non-traditional Processes for Thin Shell Construction”<sup>4</sup>. Eduardo Torroja, conocedor de la importancia del evento por la participación de los grandes protagonistas de este tipo de estructuras a nivel internacional, como Paduart, Zerna, Arup o Isler entre otros, diseñó y construyó dos **lámi-**

**nas prefabricadas experimentales** para ser exhibidas y rotas ante los congresistas (31).



Figura 9. Láminas prefabricadas experimentales (31).

Geoméricamente, la primera de ellas era el resultado de una sinusoide que se desplazaba sobre una catenaria, generando una lámina de doble curvatura de 10,25 x 1,85 m en planta y únicamente 3,2 cm de espesor (28) (Figura 9 izquierda). La cubierta inclinada, apoyada sobre muros, se formaba por la unión de dos módulos unidos por un tirante inferior. La otra era una estructura de planta hexagonal formada por 6 láminas en forma de cúpula, de 4 cm de espesor y planta triangular (28) (Figura 9 derecha). Diseñada como cubierta de un depósito enterrado, debía ser capaz de soportar la carga de unos 45 cm de tierra.

En ambos casos, Ricardo Barredo participó en la construcción y en la ejecución, además del tesado de los tirantes de la primera y en el postesado del hormigón en la segunda.

La **Iglesia de San Nicolás** en Gandía fue proyectada por el arquitecto Gonzalo Echegaray con la colaboración de los ingenieros Eduardo Torroja y Jaime Nadal (29). Finalizada la construcción en el año 1962, supuso la obra póstuma de Torroja, fallecido en 1961. La estructura está formada por 2 láminas plegadas asimétricas de 15 cm de espesor, apoyadas en los testeros de la iglesia, salvando casi 30 m de luz. La independencia de las mismas permite generar 3 rasgaduras horizontales que, además de iluminar el templo, ponen de manifiesto el comportamiento de la estructura. Las láminas fueron postesadas, utilizando el método Barredo, para contrarrestar la torsión generada por la asimetría de las láminas y reducir el efecto de la flexión, consiguiendo que todo el hormigón quedara comprimido. Su trazado en las vigas pared siguió una curva parabólica distribuyéndose el anclaje a lo largo de la testa de la lámina para evitar concentración de tensiones.

## 6. VIGAS DE SECCIÓN EN Y INVERTIDA.

Se trata de vigas formadas mediante dovelas prefabricadas con sección en forma de Y invertida (Figura 10) y postesadas que se utilizaron en la construcción de cubiertas entre 10 y 30 m de luz. El canto variable, ideal para la formación de las pendientes de la cubierta y óptimo como respuesta a los esfuerzos de flexión generados en las vigas biapoyadas, se consigue variando la altura del alma, mientras que se mantienen constantes las alas inferiores y la cabeza superior de compresión (32). La resistencia del hormigón con el que habían sido diseñadas (200 kg/cm<sup>2</sup>) posibilitaba la fabricación de las piezas en la obra y su peso (máximo de 500 kg) permitía

4 Durante la asamblea, a propuesta de Eduardo Torroja se fundó la IASS “Internacional Association for Shell Structures”

un fácil desplazamiento y colocación. La rigidez transversal proporcionada por la sección las facultó para trabajar como elementos independientes (facilitando la construcción y permitiendo el diseño de lucernarios entre ellas).

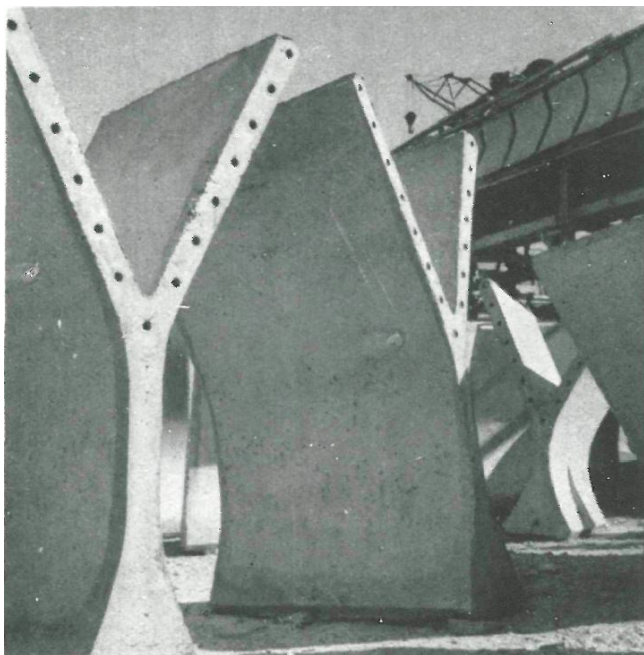


Figura 10. Dovelas de las vigas en forma de Y invertida (32).

Fueron utilizadas por primera vez en 1955 en la construcción de la cubierta de la Central Hidroeléctrica de Saltos del Cortijo (Logroño). Se trata de un edificio proyectado por Carlos Barredo compuesto por dos naves de 12 y 16 m de luz.

Su sencillez y gran eficacia, junto con su moderado coste, popularizaron el sistema, siendo utilizado en numerosas ocasiones hasta mediados de la década de los 60, cuando quedaron en desuso. Entre las más conocidas cabe citar el Mercado de Ruzafa de Valencia (1959) cuya nave central tiene 28 m de luz, la fábrica Berkshire en Madrid con naves de 28 y 21 m de luz, la nave para Fecsa en Barcelona, la fábrica Cerdán en Barcelona con una nave principal de 30 m de luz o la cubierta del salón de actos de la escuela de peritos industriales de Madrid (28).

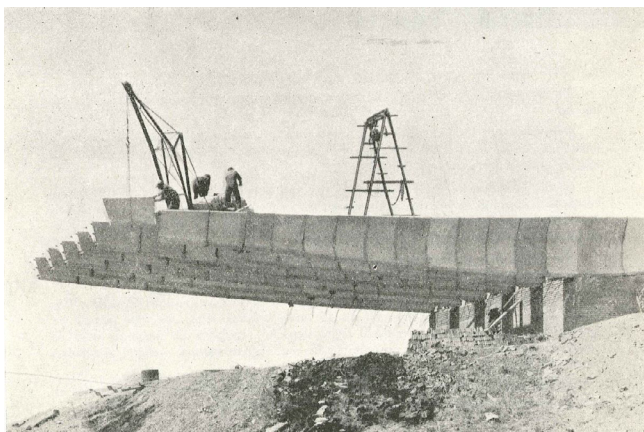


Figura 11. Construcción de la terraza de la casa Barredo. (33).

Estas vigas no sólo sirvieron para la formación de cubiertas. Carlos Barredo las utilizó para la construcción de la pasarela de acceso a la torre de toma en la presa del embalse de El Vado, en Guadalajara. La pasarela consta de dos vanos de 30 m de luz cada uno (28)

De una imaginativa forma, esta misma tipología de vigas fue aprovechada, invirtiendo la sección, para la construcción de la terraza volada (15 m de vuelo) del chalet del ingeniero (Figura 11). La vivienda fue proyectada por el reconocido arquitecto Fernando Casinello y realizada por la empresa Barredo entre 1965-66 (33).

## 7. HUECO S.A. (34)

El encargo en 1960 del Centro de Estudios Hidrográficos de Madrid al arquitecto Miguel Fisac (35) propició una interesante investigación y experimentación con el hormigón. Para la cubierta de los laboratorios se propuso diseñar una solución única que contemplara los aspectos arquitectónicos (estética y plasticidad para mostrar la capacidad formal del hormigón), que incluyera las funciones constructivas (aislamiento, evacuación de aguas y permitir la iluminación natural) y cumpliera los requisitos estructurales (secciones resistentes con el mínimo material).

Finalmente, la cubierta del pabellón de laboratorios, nave diáfana de 88x22 m (Figura 12), se resolvió mediante vigas huecas de 22 m de luz formadas por dovelas de hormigón postesadas (36), cuya sección evoca el perfil del ala de una gaviota. Estas vigas, bautizadas por el arquitecto como “vigas-hueso” por su semejanza con algunas estructuras óseas, constituyen una de sus mayores aportaciones arquitectónicas.

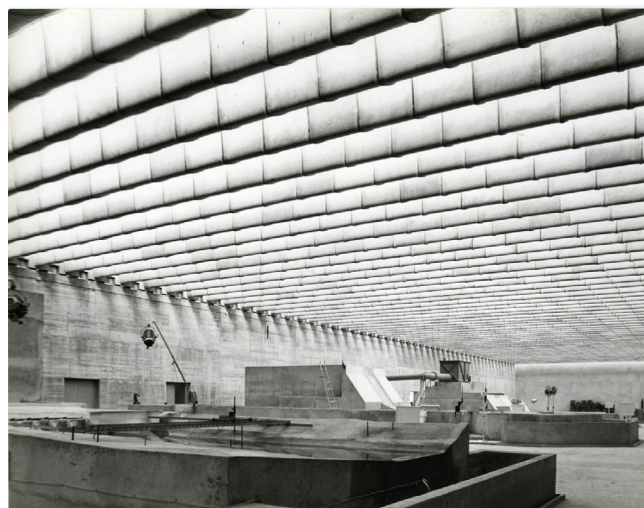


Figura 12. Cubierta de los laboratorios del Centro de Estudios Hidrográficos (fuente <http://fundacionfisac.com/centro-de-estudios-hidrograficos/>).

Aunque la experiencia surgió como una búsqueda personal del arquitecto, la forma final y el proceso de construcción no puede entenderse sin la intervención de Priego y Montesinos, autores del cálculo estructural, de Ricardo Barredo en la ejecución y de Javier Lahuerta y Vicente Peiró en las soluciones pretensadas. (37). El Instituto Técnico de la Construcción y el Cemento fue el nexo común de todos ellos.



Aprovechando la experiencia del diseño y construcción de las vigas de la cubierta del Centro de Estudios Hidrográficos y a iniciativa del Grupo Colomer, empresa que se encontraba en un periodo de expansión, se constituyó en 1967 la empresa HUECO S.A. Además del citado Grupo, estaba participada por el arquitecto Miguel Fisac y el ingeniero Ricardo Barredo con el objetivo de desarrollar una serie de piezas prefabricadas en hormigón postesado<sup>5</sup> destinadas principalmente a cubrición de edificios industriales<sup>6</sup> (7). Se trata de piezas de gran plasticidad y rigidez por la forma de su sección, de gran ligereza respecto de la sección rectangular y notable ahorro de material (hasta un 70%) y que al mismo tiempo proporcionan aislamiento térmico y acústico.

Con la tipología de dovelas postesadas se desarrollaron 3 tipos de vigas huecas (7):

- Pieza Sigma (denominada así por Casinello). Se trata de una versión mejorada de las piezas diseñadas para el Centro de Estudios Hidrográficos. Se utilizaron en cubiertas de 17 m de luz máxima que requerían entrada de luz cenital como es el caso de las fábricas Ernesto Baumann (1968) y Colomer (1969), ambas ubicadas en Vic, y la fábrica Máximo Mor (1968) en Montmeló (Figura 13 derecha), así como la casa Casacubierta (1968) en Santa Eugenia de Berga.
- Pieza Trapecio. De sección simétrica y cara superior plana lo que les permite ser utilizadas tanto en cubiertas (hasta 25 m de luz libre) como en forjados (hasta 20 m de luz). Con este tipo de piezas se realizó la cubierta de 25 m de luz de las Bodegas Garvey en Jerez de la Frontera (Figura 13 izquierda) realizadas en 1971.
- Pieza Pato. De sección asimétrica, diseñadas para la construcción de marquesinas de hasta 8 m de vuelo. Se utilizaron en las fábricas Baumann y Colomer y también en la marquesina de acceso al Centro de Estudios Hidrográficos.

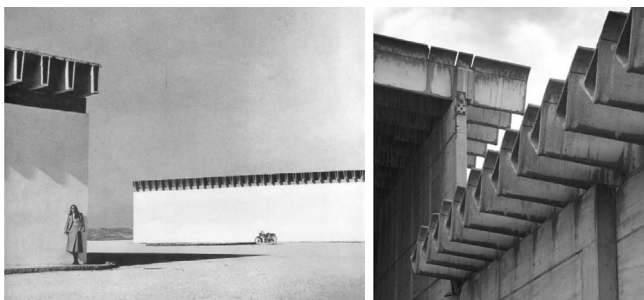


Figura 13. Bodegas Garvey (izquierda) y Fábrica Máximo Mor (derecha) (7).

Pese a las bondades del diseño, este tipo de estructuras no está exento de problemas, como los enumerados por Ricardo Aroca (38): impermeabilidad de las juntas entre las piezas de hormigón y los lucernarios, movimientos diferenciales entre las vigas por tratarse de elementos independientes, corrosión

5 El postesado de todas las vigas desarrolladas por HUECO S.A. se realizó utilizando el método BARREDO.

6 Además de estas vigas postesadas, Miguel Fisac, en colaboración con Vicente Peiró, diseñó entre 1961 y 1967 vigas huecas pretensadas. En total se diseñaron y utilizaron 15 tipos distintos de "vigas-hueso".

de las armaduras propiciado por los escasos recubrimientos o la entrada de agua de lluvia por los huecos de las vigas provocada por el viento.

Si bien los defectos técnicos, causantes de las patologías que fueron apareciendo con el tiempo, fue uno de los motivos del final comercial de HUECO S.A., no fue el único. Las desavenencias entre Colomer y Casacubierta, director jefe de la oficina técnica de proyectos, hicieron el resto, dando por finalizada esta experiencia en 1971 (37).

## 8. HEREDEROS DE PROCEDIMIENTOS BARREDO

Tecpresa, empresa integrada en Ferrovial, tiene su origen en la empresa constructora "Procedimientos Barredo". En abril de 2002 esta se transformó en Tecpresa tras pasando la experiencia y prestigio para mantener su actividad en el ámbito de la ingeniería civil y la edificación (39). Además de su especialización en estructuras de hormigón postesado, con el objeto de diversificar su actividad, abordan funciones complementarias de la construcción como la ejecución de tirantes, reparación de estructuras e ingeniería acústica, entre otras.

Es habitual su colaboración con otras empresas integradas en Ferrovial como son Cintra, Budimex, Grupisa o Cadagua.

## 9. CONCLUSIONES

Cuando se cumplen 120 años del nacimiento de Ricardo Barredo de Valenzuela (Galicia, 1902) el presente trabajo supone una puesta en valor de su brillante trayectoria profesional. Aunque su figura es apenas conocida, las múltiples aportaciones a la ingeniería y su participación en las Asociaciones para el desarrollo del hormigón armado y postesado le valieron el reconocimiento de las instituciones en forma de diversos premios.

Su relación con Eduardo Torroja le posicionó en un lugar privilegiado del panorama nacional que le permitió desarrollar nuevos procedimientos constructivos a la vez que participar en muchas de las grandes obras de la época. A instancias suyas desarrolló un sistema de postesado, denominado Método Barredo, que permitía tesar los alambres de forma independiente. Aunque patentó otras muchas innovaciones, fue esta la aportación a la ingeniería por la que Barredo recibió el mayor reconocimiento.

El diseño de una cimbra autolanzable pone en evidencia su interés por la reutilización de los equipos y materiales de obra. Asimismo, el desarrollo de vigas pretensadas para cubiertas supone un avance de la industrialización de la construcción y la búsqueda de la eficiencia de los materiales, lo que reduce tanto su consumo como las necesidades energéticas.

Interesado en los aspectos técnicos y prácticos más que en la visibilidad y comunicación de su trabajo, dejó muy pocos textos escritos, aparte de la descripción de sus patentes. No obstante, tanto sus innovaciones como las obras en que fueron utilizadas se publicaron en las revistas técnicas más importantes de la época como *Informes de la Construcción* y *Hormigón y Acero*.

Fundó dos empresas dedicadas al ámbito de la construcción. Aunque ya había trabajado antes como constructor en puentes tan conocidos como el viaducto Martín Gil, con *Procedi-*

*mientos Barredo* intervino en la construcción de numerosas obras de ingeniería civil y edificación. Su Método de postesado fue utilizado en obras como el depósito de Fedala o la Iglesia de San Nicolás. Todavía hoy, *Tecpresa*, empresa especializada en estructuras de hormigón postesado, reconoce orgullosa ser su heredera.

Con *HUECOSA*, participada por el Grupo Colomer y el arquitecto Miguel Fisac, desarrolló una serie de vigas para cubiertas formadas por dovelas de hormigón postesadas. El resultado de aquel proceso creativo es conocido como “vigas-hueso”. Pese a la corta vida de la empresa (1967-1971) su producción ha sido reconocida en múltiples ocasiones.

El presente trabajo ha mostrado que, junto a un genio de la ingeniería como fue Eduardo Torroja, convivieron otros brillantes profesionales cuya simbiosis fue imprescindible para conseguir los avances alcanzados. Esta situación se ha repetido en otros ámbitos científicos, artísticos o médicos por lo que resulta tremendamente interesante investigar no sólo a la cabeza más visible sino a todo su entorno. En el caso que nos ocupa, gracias a las aportaciones de Ricardo Barredo, la inge-

nería española de mediados del s. XX vivió un momento dorado, con un método de postesado que compitió con los mejores de la época y con realizaciones que marcaban récords a nivel internacional.



Figura 14. Ricardo Barredo de Valenzuela.

## REFERENCIAS

- (1) Barredo, R. (2008). Trayectoria: Rafael Barredo. *Revista do colexio de enxeñeiros de camiños, canais e portos de Galicia*, 6, 22-23.
- (2) Barredo Valenzuela R. (1955). Pretensado sistema Barredo. *Informes de la Construcción*, 7(70).
- (3) Mesa redonda (2020). *Un salto más allá de lo imposible*. Con Rafael Barredo de Valenzuela. Colexio de Enxeñeiros de Camiños, Canais e Portos. Galicia. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=BC-Xv1ob6AI>.
- (4) Cassinello, P. (2008). Eduardo Torroja y la industrialización de la “machine à habiter” 1949-1961. *Informes de la Construcción*, 512(60), 5-18. <https://doi.org/10.3989/ic.08.031>.
- (5) Ortega Basagoiti, L.M., López Palanco, R. (2008). “Hormigón y Acero”: una crónica de la ingeniería estructural española en los últimos 60 años. *Informes de la Construcción*, 510(60), 67-79. <https://doi.org/10.3989/ic.2008.v60.i510.731>.
- (6) Lacroix, R., Fuentes, A. (1978). Hormigón Pretensado. Concepción, cálculo y ejecución, 107. Barcelona, España: Editores asociados, S.A.
- (7) González, F. (2007, 7 de junio). Historia de una viga: HUECOSA o el caso catalán. *V Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Burgos.
- (8) Equipo, E. (1974). Actividades. *Informes de la Construcción*, 27(263), 4.
- (9) Arredondo, F. (1988). El IETcc y la ATEP. *Informes de la Construcción*, 40(398), 4. <https://doi.org/10.3989/ic.1988.v40.i398.1566>.
- (10) Anaya, J., Azpilicueta, E., Cassinello, P. (2006). Historical patents and the evolution of twentieth century architectural construction with reinforced and pre-stressed concrete. En M. Dunkeld, J. Campbell, H. Louw, M. Tilton, B. Addis, & R. Thorne (Eds.), *Proceedings of the Second International congress on construction history*. Cambridge: Queens' College, Cambridge University, 2, 1719-1739.
- (11) Fernández Alba, A., Freyssinet, E., Guyon, F., Rui-Wamba, J. (2003). *Eugène Freyssinet. Un ingeniero revolucionario. Un ingénieur révolutionnaire*. Barcelona: Fundación Esteyco.
- (12) Torroja, E. (1954). Razón y ser de los tipos estructurales, Madrid, ITCC.
- (13) Ayats, J. (2004). Estado actual del pretensado y tendencias y retos de futuro. Tesina. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/5547>
- (14) Torroja, J.A. (1966). Informe general sobre el tema I: Dispositivos y sistemas de pretensado. *Revista de la Asociación Técnica Española del Pretensado Hormigón y Acero*, 80-81, 15-20.
- (15) Barredo, C. (1970). Mejoras introducidas últimamente en los procedimientos Barredo. *Hormigón y Acero*, 94-95, 341-353.
- (16) Barredo, R. (1971). *System of fixing cables and rods subjected to stress*. US3605202. United States Patent Office. 1971
- (17) Barredo, R. (1958). Tensioning System. *United States Patent Office*. Patente nº 2.820.606.
- (18) Barredo Valenzuela, C. (1966). Viga de lanzamiento. *Hormigón y Acero* nº 80-81, 73-79.
- (19) Barredo, R. (1966). Postesado con cables trenzados y nuevo tipo de viga de lanzamiento. *Hormigón y Acero*, 78, 106-113.
- (20) Barredo, C. (1969). Lanzamiento de vigas de puentes y colocación de vigas de forjados y cubiertas. *Hormigón y Acero*, 94-95, 229-244.
- (21) Torroja, E. (1962). Acueducto de Tempul. *Informes de la Construcción*, 14(137), 535-1.
- (22) Lozano-Galant, J.A. Paya-Zaforteza, I. (2017). Analysis of Eduardo Torroja's Tempul Aqueduct an important precursor of modern cable-stayed bridges, extradosed bridges and prestressed concrete. *Engineering Structures*. 150, 955-968. <http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.07.057>.

- (23) Torroja, E. (1962). Puente del Pedrido. Tramo central. *Informes de la Construcción*, 14(137).
- (24) Torroja, E. (1962). El gran arco del viaducto Francisco Martín Gil. *Informes de la Construcción*, 14(137), 563-4.
- (25) Castellón, F., Villalba, C., Salazar, A. Torroja, E. (1942). Viaducto Martín Gil. *Revista de Obras Públicas*, 2731, 531-541.
- (26) Barredo, R. (1960). Realizaciones en estructuras con armaduras postesas. *Hormigón y Acero*, 54.
- (27) Torroja, E. (1962). Mercado de Algeciras. *Informes de la Construcción*, 14(137), 136-3.
- (28) Asociación Técnica Española del Pretensado (1970). *Hormigón Pretensado. Realizaciones españolas*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.
- (29) Fernández Ordoñez, J.A., Navarro Vera, J.R. (1999). *Eduardo Torroja. Ingeniero. Engineer*. Madrid: Pronaos.
- (30) Torroja, E. (1958). La Cuba hiperbólica de Fedala. *Informes de la Construcción*, 10(98).
- (31) Casinello, P. (2016). Asociación Internacional de Estructuras Laminadas. En P. Casinello (Ed.), *Catálogo del Museo Eduardo Torroja*. (pp. 86-89). Madrid: DAYTON S.A.
- (32) Barredo (1957). Vigas prefabricadas ligeras para cubiertas de grandes luces. *Informes de la Construcción*, 9(87).
- (33) Barredo, C (1970). Últimas obras tensadas con el sistema Barredo. *Hormigón y Acero*, nº 94-95, 325-340.
- (34) González, F. (2006). Razón y ser de los tipos. *Informes de la construcción*, 58 (503), 41-48. <https://doi.org/10.3989/ic.2006.v58.i503>
- (35) Fisac, M. (1964). Centro de Estudios Hidrográficos. *Informes de la Construcción*, 16(157).
- (36) Fisac, M. (1970). Vigas huecas pretensadas. *Hormigón y Acero*, 94-95, 296-303.
- (37) González, F. (2010). *Los Huesos de Fisac. La Búsqueda de la Pieza Ideal* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid.
- (38) Aroca, R. (2006). En memoria de Miguel Fisac. *Informes de la Construcción*, 58(503), 33-39.
- (39) Tecpresa (2022). Recuperado de <https://www.ferrovial.com/es-es/tecpresa/quienes-somos/>.