

Eduardo Torroja. Legado Oculto. El Arco de hormigón armado más alto del mundo

Eduardo Torroja. Hidden Legacy. The highest reinforced concrete arch in the world

Pepa Cassinello (*)

RESUMEN

El legado de Eduardo Torroja contiene proyectos, obras, investigaciones y escritos que continúan sin ser analizados y difundidos. Permanecen olvidados en muy diferentes archivos ubicados, no solo en España, sino en diferentes países. Ocultos por el olvido. Uno de estos proyectos corresponde a la propuesta de un gigantesco arco de 160 metros de altura que no fue construido. Perteneció a la propuesta presentada bajo el lema *Homenagen* al Concurso Internacional para el diseño y construcción de un monumento homenaje al Infante Don Henrique. Fue convocado por el gobierno de Portugal en 1954. Tal y como dice Eduardo Torroja en la memoria presentada al Concurso, el arco de hormigón armado que proyectó era récord mundial.

Palabras clave: Eduardo Torroja; hormigón armado; arcos exentos; encofrado pétreo.

ABSTRACT

*The legacy of Eduardo Torroja contains projects, works, research and writings that continue without being analyzed and disseminated. They remain forgotten in very different archives located, not only in Spain, but in other countries. Hidden by oblivion. One of these projects corresponds to the proposal for a gigantic arch 160 meters high that was not built. It belongs to the proposal presented under the motto *Homenagen* to the International Competition for the design and construction of a tribute monument to the Infante Don Henrique. It was summoned by the Portuguese government in 1954. As Eduardo Torroja says in the report submitted to the Contest, it was a world record arch.*

Keywords: Eduardo Torroja; reinforced concrete; free-standing arches; stone formwork.

(*) Doctor Arquitecto. Catedrática Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid (España).
Persona de contacto/Corresponding author: p.cassinello.p@gmail.com (P. Cassinello)
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2343-3170> (P. Cassinello)

Cómo citar este artículo/Citation: Pepa Cassinello (2023). Eduardo Torroja. Legado Oculto. El Arco de hormigón armado más alto del mundo. *Informes de la Construcción*, 75(570): e494. <https://doi.org/10.3989/ic.6370>

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: 30/11/2022
Aceptado/Accepted: 15/12/2022
Publicado on-line/Published on-line: 08/06/2023

1. INTRODUCCIÓN

Oculto en el olvido existe un alarde estructural proyectado por Eduardo Torroja, en 1955. Lamentablemente no se construyó. Se trata de un arco de hormigón armado de 160 metros de altura. Hubiera sido el más alto del mundo construido con este material.

La luz teórica del arco es de 144 m. Su flecha de 160 m. Si la primera distancia es considerable, la segunda constituye “un récord mundial”. Eduardo Torroja 1955.

El arco forma parte de la propuesta que Eduardo Torroja presentó, junto con el arquitecto Gonzalo Echegaray y el escultor Jacinto Higuera Cátedra, al Concurso Internacional convocado en 1954 por el Ministerio de Obras Públicas de Portugal (1). Se trataba de proyectar un monumento homenaje al célebre Infante Don Henrique de Portugal en el promontorio de Ságres. Al concurso se presentaron 49 propuestas, en su gran mayoría, realizadas por destacados arquitectos, ingenieros y escultores procedentes de; Alemania, Austria, España, Estados Unidos, Francia, Inglaterra, Italia, y Portugal. Sin embargo, nunca se construyó ninguna de ellas.

Una vez más, Ságres se quedó sin su monumento al Infante Don Henrique y, en esta ocasión, además, el legado patrimonial del hormigón armado de la modernidad, perdió un audaz hito proyectado por uno de los más relevantes ingenieros del siglo XX. Si, una vez más. Porque este concurso fue el tercero que a lo largo de tres décadas, el gobierno de Portugal convocó con el mismo fin; realizar un monumento homenaje al Infante Don Henrique, “el Navegante”.

El primero de los concursos se celebró entre 1933-1936, el segundo entre 1936- 1938 y el último de ellos, al que se presentó Eduardo Torroja, se realizó entre 1954-1957 (2). Fué el único de los tres que además de público fue internacional, pero tuvo el mismo y tozudo destino – no ser construido-.

Parece que la razón fundamental de este persistente destino fue *el silencioso hecho* de que todos los jurados consideraron *poca cosa cualquier propuesta para su “Navegante”*. Algo curioso, porque ocurrió con independencia de las diferentes tendencias políticas de Portugal durante estas tres décadas, con independencia de la variedad de los profesionales que formaron parte del jurado, y del relevante y reconocido valor arquitectónico, técnico y escultórico de varias de las propuestas y sus autores.

Aunque el objetivo de este artículo es *despertar la memoria* de la existencia de este inédito arco de Eduardo Torroja, es necesario recordar, en breves pinceladas, el ámbito en el que se desarrolló este proyecto, así como las razones que le llevaron a legarnos otro de sus muchos geniales diseños estructurales. Este arco que debe formar parte de la historiografía técnica del desarrollo del hormigón armado que Eduardo Torroja protagonizó hasta el día de su muerte.

2. CONCURSO INTERNACIONAL 1954

2.1. El Infante

La figura del Infante Don Henrique de Portugal (3), conocido como “El Navegante” (1394-1460) es una de las más destacadas de la historia de la Navegación en la época de las conquistas.

Por esta razón, Portugal deseaba realizar un monumento especial y grandioso, que recordara de manera permanente esta legendaria figura de su historia.

La ubicación elegida para este monumento fue el promontorio de Ságres, junto al Cabo de San Vicente. Un lugar de gran belleza natural que, a modo de gigantesca cuña de terreno escarpado, se introduce en el mar. Un lugar que tiene un especial y profundo significado en la historia de Portugal a lo largo de los siglos.

Fue precisamente en Ságres donde Don Henrique construyó, en 1443, la llamada *Villa do Infante*. Una gran fortaleza amurallada donde, no solo ubicó su residencia permanente, sino también su centro de investigación y estudios sobre la navegación y su Escuela. En este lugar murió en 1460.

2.2. Motivation

En esta tercera ocasión, el gobierno de Portugal tenía previsto conmemorar en 1960 el V Centenario de la muerte del infante Don Henrique. Con este fin, el ministro Eduardo de Arantes e Oliveira formó una comisión para que se encargara de organizar diversos actos conmemorativos así como convocar nuevamente el famoso, y fallado concurso (4), para la realización de un monumento en su honor.

Al amparo del Decreto Ley 39.713 del Gobierno, se redactaron tanto las actividades conmemorativas como las bases del nuevo concurso para realizar el monumento, que coincidían en gran medida con las de los concursos anteriores. Antonio de Oliveira Salazar envió al Ministerio de Obras Públicas un memorando señalando varios aspectos que debían de contemplarse en el concurso. Entre otras cosas, señalaba que el monumento debía erigirse en Ságres, tener presente la posibilidad de contar con un museo, un faro, y que debería tener al menos 100 metros de altura para ser divisado por los barcos desde el mar.

El Concurso fue convocado en 1954 para tener tiempo de que estuviera construido en 1960 para su inauguración.

2.3. Jurado y propuestas

El jurado estuvo formado por personalidades del mundo de la arquitectura, como Jean Tschumi, presidente de la Unión Internacional de los Arquitectos, así como Giovan Battista Ceas su vicepresidente. Por parte de Portugal pertenecieron al jurado; Augusto de Castro comisario de la Exposición del Mundo Portugués, José Manuel da Costa jefe del Secretariado Nacional de Informação, Henrique Gomes da Silva director de la Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais y Manuel Sá e Melo director general del sector urbanístico del Ministerio das Obras Públicas.

El jurado, desde su libre interpretación de la calidad y significado de las 49 propuestas presentadas, descartó todas las propuestas extranjeras, menos una, por considerar que no habían entendido la importancia de integrar el monumento en el promontorio de Ságres, y que además parecían tener un carácter turístico más adecuado para ser construido en una ciudad que en el promontorio de Ságres (5). La única propuesta extranjera que formó parte de la selección final fue la del arquitecto italiano Massimo Castellazzi, arquitecto italiano de gran prestigio que, en 1948-49 había ganado el con-

curso para la finalización de la inacabada estación de tren de Termini en Roma (6).

La propuesta ganadora fue *Mar Novo*, realizada por el arquitecto portugués João Andersen (2), que perteneció a la organización de Arquitectos Modernos de Portugal. Sin embargo, y pese a ser muy alabada por el jurado y la presa portuguesa, nunca se construyó. Un aspecto de esta propuesta ganadora que fue muy alabado por el jurado fue el hecho de que, en lugar de un arco, el elemento que de alguna manera envolvía la imagen del Infante era una vela y no un arco.

3. PROPUESTA HOMENAGEN

La propuesta cuyo lema era *Homenagen* (1), fue presentada en 1955 por el arquitecto Gonzalo Echegaray, el ingeniero Eduardo Torroja y el escultor Jacinto Higuera Cátedra.

Arquitecto, ingeniero y escultor, colaboran en aquellos años en diferentes trabajos profesionales. Gonzalo Echegaray había trabajado con Eduardo Torroja en el proyecto de la Nueva y actual sede del Instituto de la Construcción y del Cemento, que fue inaugurado en 1953 (7, 8). Por su parte, el célebre escultor Jacinto Higuera Cátedra (9) fue el autor de las tallas escultóricas de la Iglesia de Pont de Suert, que Eduardo Torroja realizó en aquellos mismos años (1952-1955). Posteriormente, fue también el escultor del busto de Eduardo Torroja que hoy preside el jardín del que fue su despacho en el Instituto hasta el día de su muerte el 15 de junio de 1961.

3.1. Breve descripción de la propuesta

Darle forma a un sentimiento no es tarea fácil. Y mucho menos, si esa forma ha de transmitir todos los múltiples y poliédricos aspectos de la personalidad, y trascendentes logros en el desarrollo de la navegación del “Navegante” de Portugal. El objetivo del concurso era darle forma al sentir de un país por uno de los más míticos personajes de su historia. Se trataba de evocar emociones de admiración y respeto en todos aquellos que lo contemplaran.

Al igual que en la mayor parte de las propuestas, la memoria de *Homenagen* se inicia ensalzando la figura de Don Henrique. Pero en este caso, se señala, de manera clara y concisa, que el Infante fue uno de los primeros investigadores de las ciencias aplicadas.

Al homenaje que hoy su patria quiere rendirle, deben sumarse todos los pueblos. Es el homenaje de la civilización occidental a uno de sus más preciados representantes. Es el reconocimiento de la técnica a uno de los primeros investigadores de las ciencias aplicadas. Memoria Homenagen 1955.

Por esta razón, y por la austera vida, fe cristiana y entrega del Infante, manifiestan en la memoria, que el monumento se proyecta con una composición basada en *la sobriedad y serenidad de líneas en las que predomina el alarde de la técnica*.

En efecto, la propuesta se caracteriza por la rotunda y desnuda Modernidad de todos sus elementos. Consistía en un monumento formado por tres elementos fundamentales; *una llama permanentemente encendida*, en el centro de un es-

tanque ejecutado sobre planta en forma de cruz, que ordenaba la posición de una esbelta *escultura del Infante*, en pie, que miraba al mar desde el acantilado. Y, sobre él, el alarde estructural del *arco de hormigón armado de 160 metros de altura* (Figura 1).

Por supuesto, la propuesta contaba también con un museo y algunas viviendas en cumplimiento de las bases del concurso.



Figura 1. Maqueta propuesta Homenage 1955.
Archivo José Antonio Torroja.

La intención de Eduardo Torroja era evocar la emoción sentida por el legado del Infante a través de la construcción de un inédito alarde estructural, una proeza técnica, en recuerdo las muchas realizadas por el Infante en el campo de la navegación. Por ello, este gigantesco arco, más allá de conseguir que el monumento fuera visible desde mar, tal y como se pedía en las bases del concurso, era un *alarde estructural* sin precedentes.

Sin embargo, Abreu, desde el desconocimiento del significado de alarde estructural que representaba este arco, juzgando tan solo la apariencia formal del arco mostrada en la maqueta de la propuesta dijo que le recordaba el arco del E 42 de Roma y al proyectado por Eero Saarinen para el Jefferson National Expansion Memorial de Saint Luis (2). En efecto, como en los citados casos se trataba de un gran arco que protagonizaba el monumento, pero desde el punto de vista estructural poco o nada tienen que ver con el proyectado por Eduardo Torroja en hormigón armado, que como él dijo, era un alarde estructural dedicado al Infante que sería un “récord mundial”.

Por otra parte, el proyectado para Roma E42 era un arco de medio punto, así es que ni la forma resistente era la misma. En el caso del Gateway de Saarinen, aunque cuenta con forma de catenaria y además con mayor altura (192 m) que el proyectado por Eduardo Torroja, no se construyó en hormigón armado sino mediante módulos triangulares de acero prefabricados. Este hecho implica un proceso constructivo radicalmente diferente al arco proyectado por Torroja. Sin duda se trata de alardes estructurales muy diferentes.

4. EL ARCO DE EDUARDO TORROJA

4.1. Forma resistente y tamaño

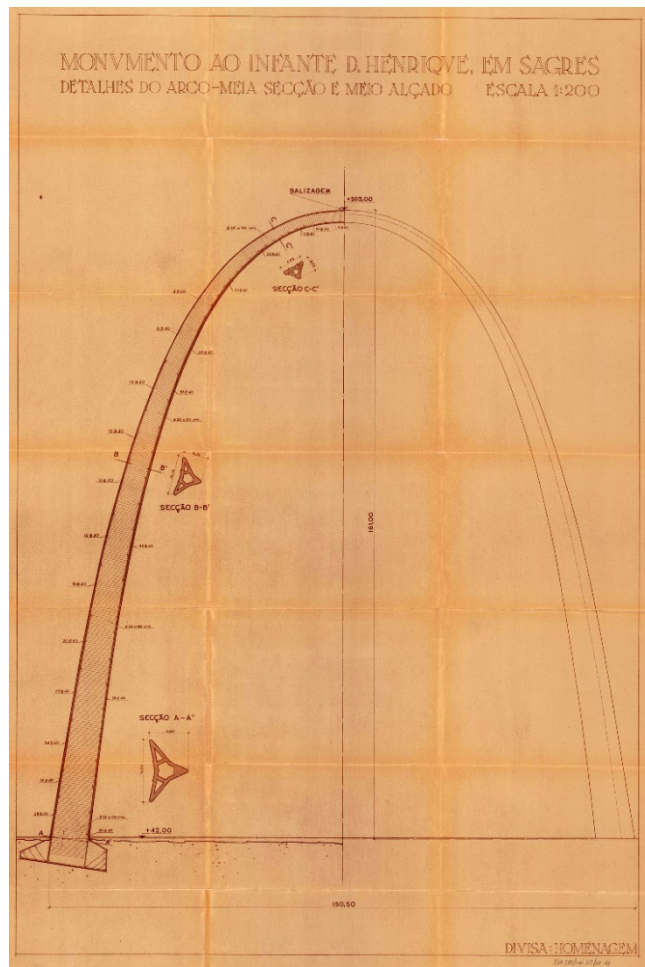


Figura 2. Sección del arco.

Archivo Eduardo Torroja depositado en el Cedex- Cheopu.

La directriz de la forma resistente del arco exento de hormigón armado es una catenaria que no coincide con el antifunicular del peso propio. Eduardo Torroja consideró mejor adecuar su forma agudizando la clave con el fin de conseguir un mayor atractivo formal (1) (Figura 2).

La solución, técnicamente más adecuada describe un arco excesivamente achatado en la clave. Eduardo Torroja 1955 (2).

El arco tiene una altura de 160 m y una luz teórica de 144 m. Su tamaño no solo era enorme en 1955 cuando terminó de proyectarlo, sino también ahora, más de medio siglo después. Porque no se trata del arco de un puente, que cuenta con la unión a un tablero cuyo peso lo convierte en un arco enjutado, sino de un arco exento que ha de ser estable y resistente por sí solo a las cargas dinámicas del viento y el sismo.

El arco nace en el estanque, situándose sus arranques en los extremos del estanque con un ancho de 16 metros y un canto de 10 metros (Figura 1). La sección del arco es sensiblemente triangular, situándose en el intradós uno de sus vértices, y resultando tres superficies cóncavas planas en su extradós. Este trazado y disposición geométrica contribuyen a generar

una sensible *esbeltez visual*, potenciada durante el día por el recorrido de la luz y las sombras.

No se trata realmente de un triángulo simple, sino de la macla espacial de tres triángulos, siendo los del extradós isósceles y equilátero el de intradós (Figura 3).

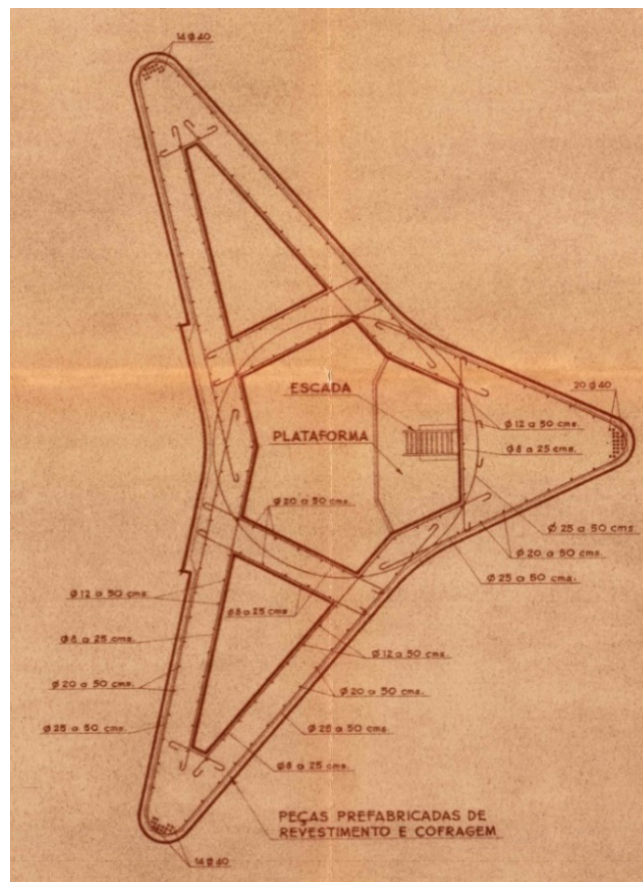


Figura 3. Sección transversal. Arranque del arco.

Archivo Eduardo Torroja depositado en el Cedex- Cheopu.

En el interior de esta macla se establecen grandes muros a modo de zunchos de rigidez frente a la torsión del arco, que atan el conjunto de formas triangulares, dejando un hueco donde se ubica una plataforma y una escalera que da acceso al balizamiento de la clave (Figura 3).

El arco es de sección variable. Los cantos tienen 10 m en los arranques y va disminuyendo hasta los 3,07 m en la clave. Los anchos son los correspondientes a 1,6 veces el canto. Los muros de atado interiores tienen también espesor variable que va desde 80 cm en los arranques a 50 cm en la clave (2).

4.2. Encofrado - piel del arco

Eduardo Torroja quería dotar al arco de una piel continua, monumental, uniforme y duradera. Por ello decidió utilizar un encofrado perdido de piedra artificial de aspecto y textura similares a las piedras naturales de la zona. Posiblemente hubiera sido imitación de la superficie del *granito gris claro azulado*, piedra natural que se eligió también para la escultura del Infante. La piedra natural más resistente y dura de la zona, con un color que resaltaría en el horizonte del promontorio de Sagres noche y día.

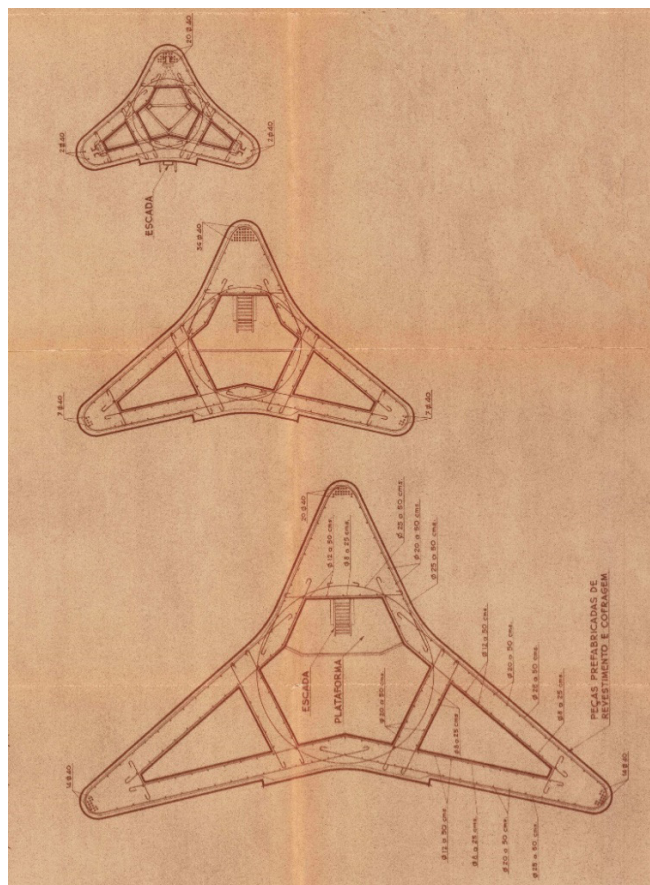


Figura 4. Secciones transversales, chaflanes del Arco.
Archivo Eduardo Torroja depositado en el Cedex- Cheopu.

Por otra parte, la durabilidad del monumento se vería incrementada por la existencia de este revestimiento pétreo, ya que serviría de protección al hormigón armado frente a los posibles daños generados por el ambiente salino de la zona. Un encofrado que, de alguna manera, toma el mismo protagonismo, constructivo y escenográfico que tuvieron en la arquitectura y la obra civil del Imperio Romano (10), en las que gran parte de sus fábricas resistentes, aunque tienen piel pétrea, encierran hormigón en su interior. En su caso hormigón en masa romano.

La elección de este tipo de encofrado perdido pétreo obligó a proyectar una curvatura constante en los chaflanes de la sección del arco. Por ello, las secciones del arco no son semejantes, sino que mantienen fijos los radios (Figura 4).

4.3. Definición estructural y proceso de construcción

Si darle forma a un sentimiento es un difícil reto, construir esa forma para convertirla en una realidad puede ser un reto imposible. A lo largo de la historia de la evolución de la construcción civil y arquitectónica, muy pocos han sido capaces de construir alardes estructurales de nuevas formas y tamaños jamás antes soñados ni contruidos. Eduardo Torroja ha sido uno de estos pocos.

Baste recordar el gran arco del Esla proyectado y construido (1934-1943) por Eduardo Torroja en el Viaducto de Martín Gil tras la Guerra Civil española. Un arco que fue

récord mundial, de luz de vano con sus 209 metros. En este caso Eduardo Torroja diseñó una autocimbra metálica que quedó embutida dentro de la sección del arco de hormigón como armadura permanente. Sistema basado en el utilizado por el ingeniero Melan en 1892. Una cimbra que hizo posible la construcción del arco. Pero este no fue el único récord de tamaño que Eduardo Torroja realizó en sus obras. También lo fueron sus tres estructuras laminares más famosas, que fueron construidas al inicio de la década de los años treinta: Mercado de Algeciras, Hipódromo de la Zarzuela y Frontón Recoletos (11).

Sin duda, *construir* es un hecho que requiere buscar una dual solución. Por una parte, es necesario definir, de manera completa y al detalle, como ha de ser el esqueleto estructural que deberá tener esta nueva forma para poder convertirse en una realidad. Pero, por otra parte, es necesario también agudizar el ingenio para definir su *proceso de construcción*, que en muchas ocasiones encierra una gran dificultad que puede ser insalvable. El proceso de construcción es fundamental, como tantas veces ha dicho Javier Manterola.

A veces pensaba en un puente como un organismo biológico que se va configurando y acaba consiguiendo su forma definitiva al final del proceso. Y no, un puente no es un organismo que crece y se desarrolla; es verdad que crece y se desarrolla hasta alcanzar su forma y resistencia definitivas, pero es porque lo hemos configurado nosotros, así que en su forma final está presente el hecho que pasar del no ser al ser. El proceso constructivo está en la esencia de los puentes, indisoluble de qué va a resistir y cómo va a hacerlo. Javier Manterola 2013 (12)

En el caso del proyecto del arco para el monumento del Infante resultaron necesarias, según explica Torroja, cinco tipos diferentes de armaduras, en base a los resultados de las acciones entre las que se tuvieron en cuenta las cargas dinámicas derivadas de las hipótesis de viento (longitudinal y transversal) y el sismo de la zona. Y una sexta armadura necesaria para su proceso de construcción similar a la que utilizó en el gran arco del Esla.

La armadura principal recorre el arco longitudinalmente, siendo el resultado de una mayor incidencia de las hipótesis de viento que las de sismo. Una segunda armadura sirve para absorber los esfuerzos cortantes producidos por el viento transversal, la tercera está formada por cercos transversales a la directriz del arco que evitan el posible pandeo. Otra armadura transversal que impide la flexión de las alas (triángulos forman la sección del arco). También existe otra armadura, la quinta, que siendo paralela a la principal completa una malla que impide las posibles fisuras en las grandes superficies que se han de hormigonar (2).

La sexta armadura está formada por una triangulación de perfiles metálicos que forman la autocimbra (Figura 5), que funciona como triarticulada. Armadura pensada para poder garantizar la estabilidad del arco durante su construcción. De esta manera, Eduardo Torroja define las armaduras necesarias pensando, no solo en la estabilidad y resistencia del arco terminado, sino en las necesarias fases de su proceso de construcción.

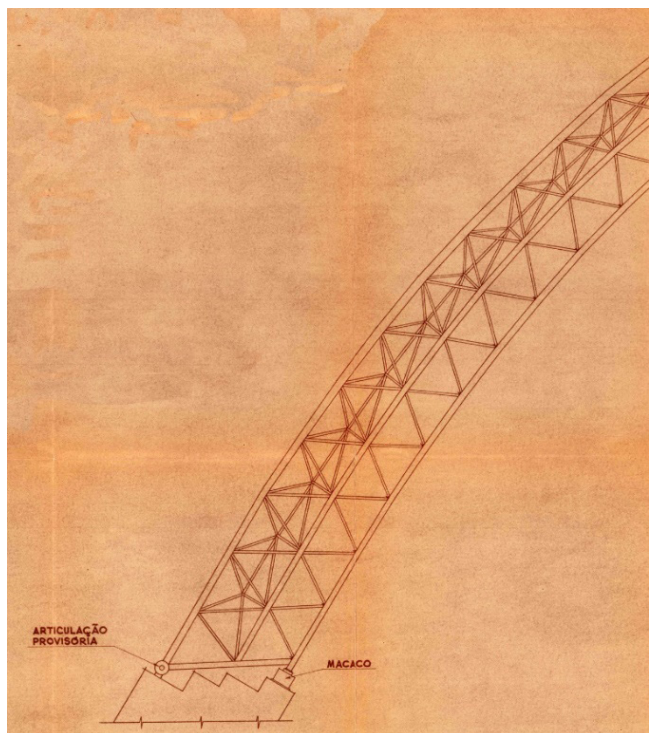


Figura 5. Armadura de la autocimbra.
Archivo Eduardo Torroja depositado en el Cedex- Cheopu.

Por esta razón, una vez definida la forma geométrica del arco, su tamaño, secciones y armaduras, Eduardo Torroja calculó la altura máxima hasta la que se podía proceder a su hormigonado manteniendo la seguridad establecida. Resultó que a partir de una altura de 58 metros la armadura del trasdós pasaba a encontrarse en condiciones límite.

La manera en la que Eduardo Torroja prevé restablecer el equilibrio del arco durante su construcción es anclar un conjunto de cables en el terreno del acantilado. A medida que el arco avanza en su altura, se van añadiendo cables hasta una altura de 28 metros desde su clave (Figura 6). Con ayuda de estos cables las armaduras ceden su carga y queda liberada la sección de los arranques de su excesiva carga, por lo que se puede continuar hormigonando. Se repite esta maniobra para seguir hormigonando hasta la calve del arco.

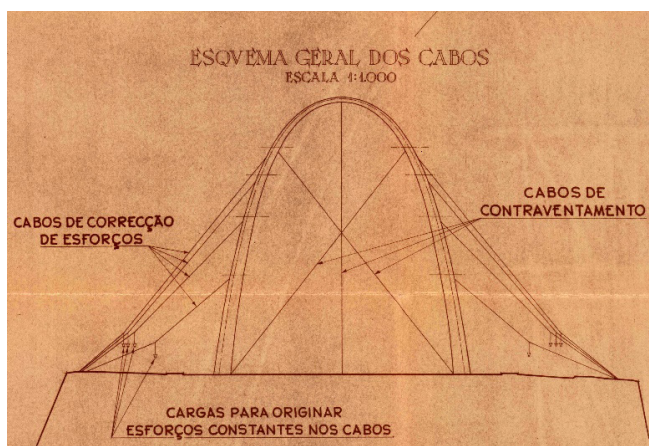


Figura 6. Proceso de construcción del arco. Cables anclaje.
Archivo Eduardo Torroja depositado en el Cedex- Cheopu.

Eduardo Torroja debía, lógicamente, tener mucha ilusión con poder construir este gigantesco arco. Por esta razón en 1956, un año más tarde, pensó una solución semejante para el Monumento al Petróleo en Venezuela, aunque al parecer no la terminó de desarrollar (13).

4.4. Conclusiones

Los comentarios suscitados en el Concurso de Portugal alegando que el arco de la propuesta *Homenagen*, proyectado por Eduardo Torroja, era como el de Eero Saarinen, o muy parecido, solo podían venir de personas ajenas al conocimiento del diseño estructural y sus técnicas de construcción.

No en vano, Eduardo Torroja siempre aludió en sus escritos a la importancia que tiene que quienes transmitan a las nuevas generaciones la *historia de la tecnología* deben ser profesionales especialistas en el tema. Porque solo desde el conocimiento de la técnica se puede reconocer y transmitir las aportaciones que en este campo se han realizado a lo largo de la historia. Esta es la única manera de que no se mutile la historia de su legado.

En cuanto a las similitudes del arco proyectado por Eduardo Torroja y el Gateway Arch proyectado por Eero Saarinen y los ingenieros Fred Severud y Hannskarl Bandel, tan solo se parecen en que ambos son arcos exentos de gran tamaño y de forma geométrica cercana a una catenaria. Ambos responden a proyectos realizados en respuesta a un concurso de un homenaje conmemorativo. El Gateway fue proyectado en 1947 para el concurso internacional convocado en la ciudad de Saint-Louis, como monumento conmemorativo a la compra de Luisiana y el inicio de la expedición de Lewis y Clark hacia el Oeste.



Figura 7. Esquema secciones arco Torroja y Saarinen.
Archivo Pepa Cassinello.

Pero son muy diferentes en cuanto al material utilizado, a su diseño estructural y proceso de construcción. Mientras que el de Torroja estaba proyectado en *hormigón armado* el de Saarinen cuenta con una *estructura metálica*.

Al tratarse de materiales diferentes los problemas que tuvieron que resolver son diferentes. El arco de hormigón armado sufre los efectos de la retracción y deformaciones lentas mientras que un arco de acero no, pero en este caso son muy importantes las tensiones térmicas sobre todo cuando actúa la radiación solar directa sobre el metal (14).

En cuanto a su forma resistente y tamaño, ambos tienen forma, sensiblemente parecida a una catenaria. El Gateway

Arch cuenta con una altura de 190 m y una luz entre apoyos de 190 m, mientras el de Eduardo Torroja fue proyectado con una altura 160 metros y una luz teórica entre apoyos de 144 metros. Resulta así que el arco proyectado por Eduardo Torroja es más apuntado existiendo una diferencia de unos 35 metros entre su ancho y su mayor altura, mientras que el proyectado por Saarinen cuenta con la misma altura y ancho, por lo que, a priori su forma geométrica es más estable en sí misma al tener una mayor distancia entre sus apoyos e igual a su altura.

También las secciones resistentes de estos arcos son diferentes, tanto en su forma geométrica resistente, como en el material. La sección resistente del Gateway Arch es un triángulo equilátero hueco de acero inoxidable formado paneles sándwich de consiste en una capa de acero inoxidable cubriendo dos muros de acero de construcción con hormigón armado en medio de estos desde el nivel del suelo hasta los 91 metros



Figura 8. Proceso de construcción Gateway.
Archivo Fernando Cassinello

de altura, y acero de construcción hasta su clave (15). El arco arranca con triángulos equiláteros de 16 metros de lado que van disminuyendo con la altura del arco hasta alcanzar los 5,2 metros.

Mientras que el de Eduardo Torroja, como ya hemos visto, es la macla espacial de tres triángulos de hormigón armado con encofrado perdido de piedra natural. Las secciones previstas Los cantos tienen 10 m en los arranques y va disminuyendo hasta los 3,07 m en la clave.

Consecuencia directa de las muy diferentes características específicas de su esqueleto estructural, es el hecho de que se resuelvan con procesos de construcción muy diferentes.

En el caso Gateway se trataba de montar los gigantescos triángulos prefabricados en su posición definitiva mediante altas grúas y ejecutar su unión a casi 200 metros de altura (15). Sin duda fue una gran hazaña tecnológica posible gracias al increíble desarrollo de la maquinaria y métodos de control de precisión (Figura 8).

Tal y como ya se ha expuesto, el arco de hormigón armado de Torroja necesitaba del ingenio de su autor para definir su *proceso de construcción* ya que se tenía un tamaño jamás construido en hormigón armado.

El Gateway Arch forma parte del admirado legado de la primera mitad siglo XX. Sin duda el arco proyectado por Eduardo Torroja era un alarde estructural que hubiera representado un récord mundial de arco de hormigón armado (1).

Lamentablemente Eero Saarinen, uno de los más destacados e innovadores arquitectos del siglo XX (16), no vio terminado su arco de aluminio y acero. Falleció el 1 de septiembre de 1961 y el arco no se inauguró hasta 1966.

Y como última reflexión tras este pequeño análisis comparativo de ambos arcos. ¿Se parecen?, ¿copió Eduardo Torroja a Eero Saarinen? tal y como al parecer se comentó durante el análisis de las propuestas presentadas al concurso internacional convocado por el gobierno de Portugal en 1954.

A la vista de lo muy diferentes que son estos dos gigantes arcos, no parece necesario contestar a estas preguntas. Lo que sí es importante es defender, como decía Eduardo Torroja que quienes juzguen y/o transmitan a las nuevas generaciones la historia de lo que la tecnología construye sean los mismos que la construyen, o al menos la conocen y entienden.

REFERENCIAS / REFERENCES

- (1) Torroja, E. (1955). Memoria Proyecto presentado al concurso internacional convocado por el gobierno de Portugal para el diseño y construcción de un Monumento al Infante Don Henrique. Cedex. Cheopu Archivo Eduardo Torroja.
- (2) Gori, A. (2016). Historia de una obra nunca realizada. *Historia Contemporánea*: 52, 271-307. ISSN: 1130-e ISSN: 2340-0277. <https://doi.org/10.1387/HC.15744>.
- (3) Mayor, R.H. (2018). Vida do Infante Don Henrique de Portugal. Appellidado o Navegador. ISBN-10: 0332351467.
- (4) Vieira de Almeida, P. (1998). Os concursos de Sagres. Tesis Doctoral Arquitectura, Universidad de Valladolid.
- (5) Brites, J. (2005). Entre o poder da arte e a arte do poder. Modernismo versus neoclasicismo monumentalista na arquitectura décadas 1920-1940. *Revista portuguesa de História*.
- (6) Iori, T. (2014). *Strutture Romane*. Colezzioni del MAXXI Architettura.
- (7) Cassinello, P. (2016). Museo Eduardo Torroja Museum. p.p 83-97/ ISBN: 978-84-941820-6-8. Fundación Eduardo Torroja

- (8) Azorin, V., Cassinello, P., Monjo, J. (2012). Archivo Eduardo Torroja. *La sede del itcc (1949-1953)*. Inéditos anteproyectos previos a su construcción. *Informes de la Construcción*. 64(525). <https://doi.org/10.3989/ic.11.023>.
- (9) Higuera Catedra, J. (1998). Esculturas. Junta de Andalucía. Fundación Caja Granada.
- (10) Stierlin, H. (2002). El Imperio Romano. TASCHEN BENEDIKT. ISBN: 978382281797.
- (11) Torroja, E. (1958). The Structures of Eduardo Torroja. F.W. DODGE CORPORATION. New York, card nº 58-5170.
- (12) Manterola, J. (2013) *La construcción de puentes según Javier Manterola*. Laboratorio de Ingeniería Sostenible. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Universidad de la Coruña.
- (13) Torroja E. (1956). Monumento al petróleo de Venezuela. Proyecto incompleto archivo depositado en el Cedex-Cheopu.
- (14) Torroja, E. (1957). Razón y Ser de los tipos estructurales. p. 107. Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- (15) Campbell, T. (2014). The Gateway Arch. Yale University Press. ISBN: 9780300205688.
- (16) Merkel, J. (2014). Eero Saarinen. Phaidon. ISBN: 978-0714865928.