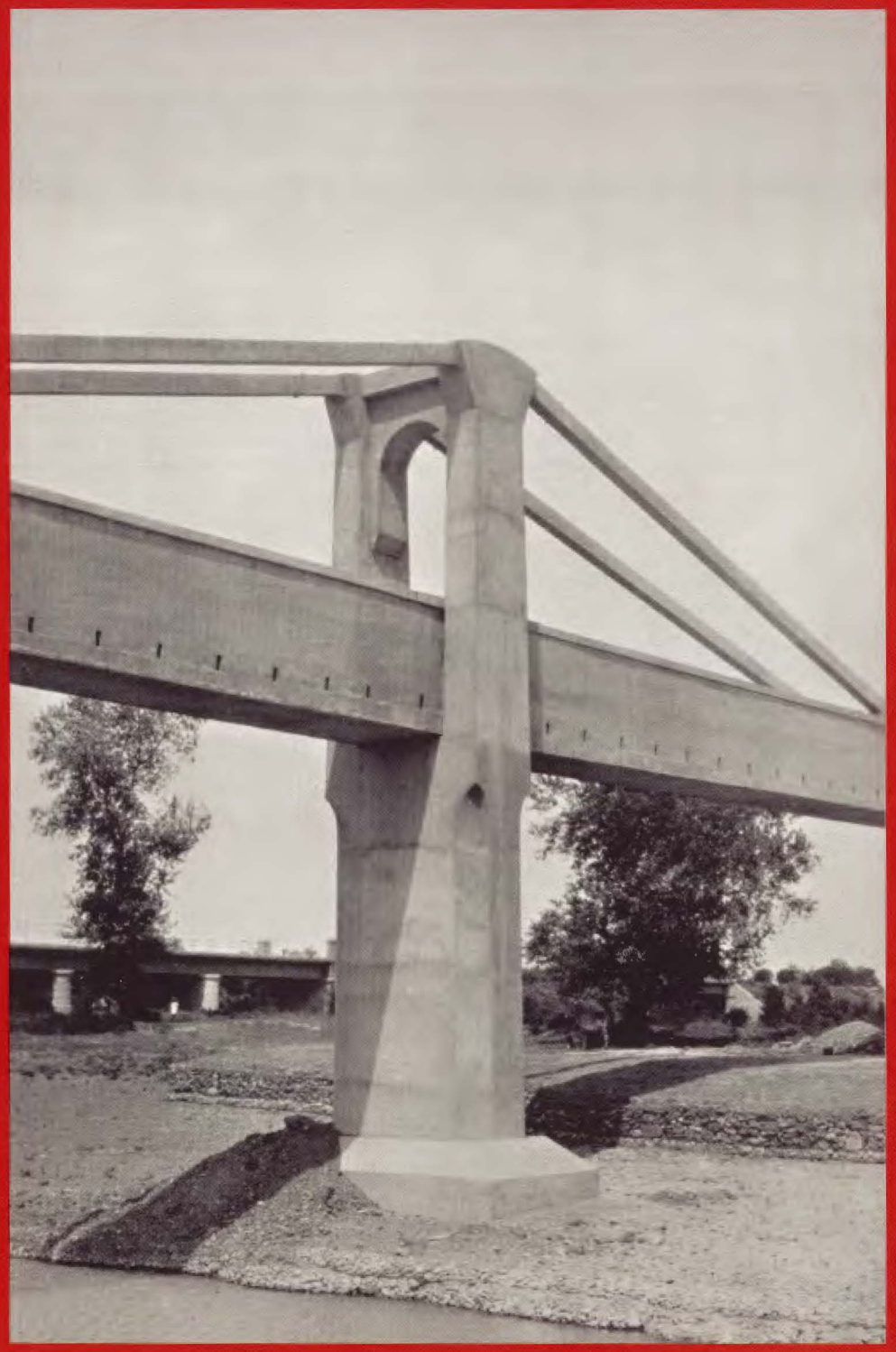
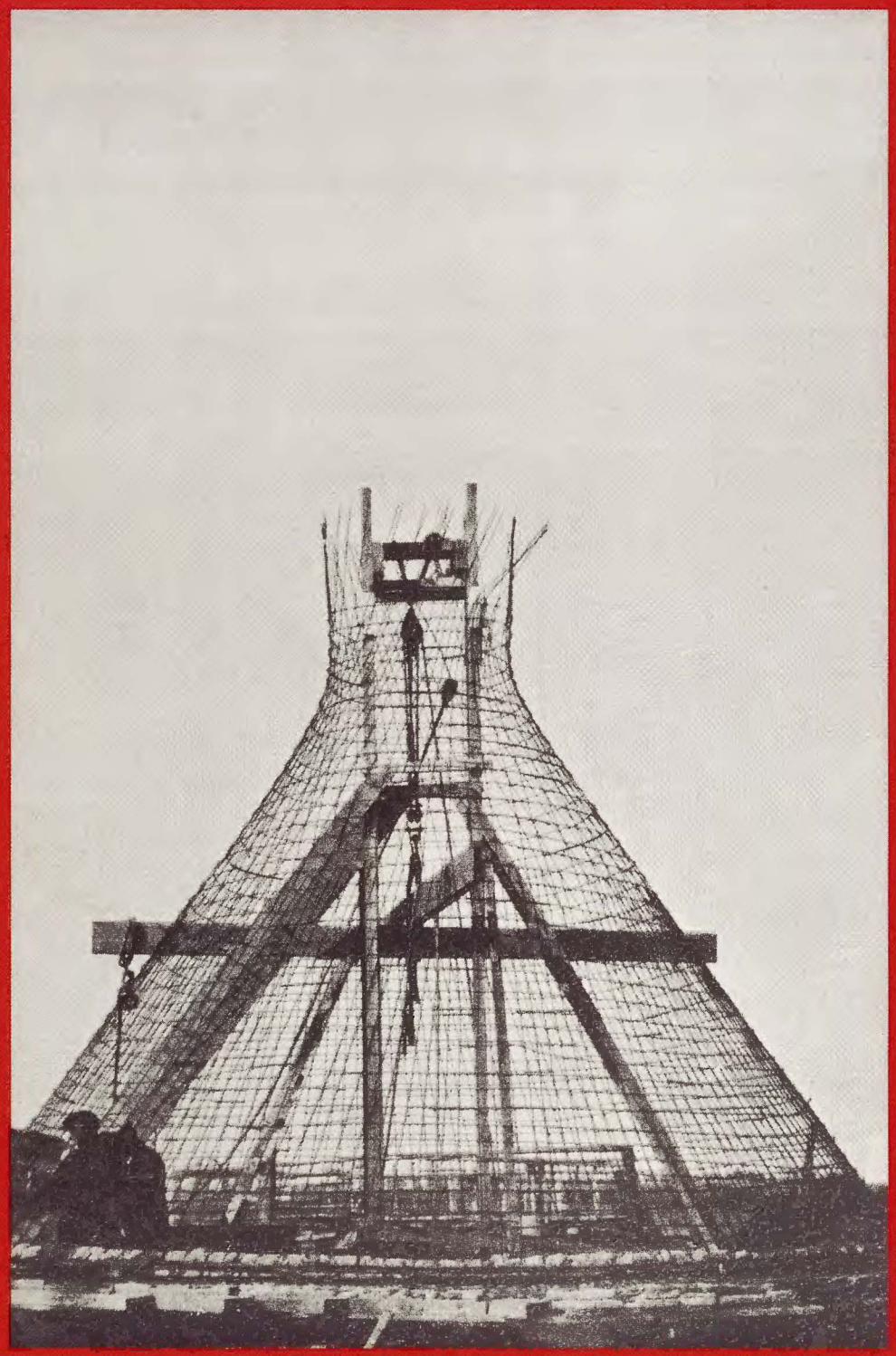
OBRAS Y PROYECTOS

WORKS AND PROJECTS





ACUEDUCTO DE TEMPUL / CAJONES DE CIMENTACIÓN

THE TEMPUL AQUEDUCT / FOUNDATION CAISSONS

ACUEDUCTO DE TEMPUL

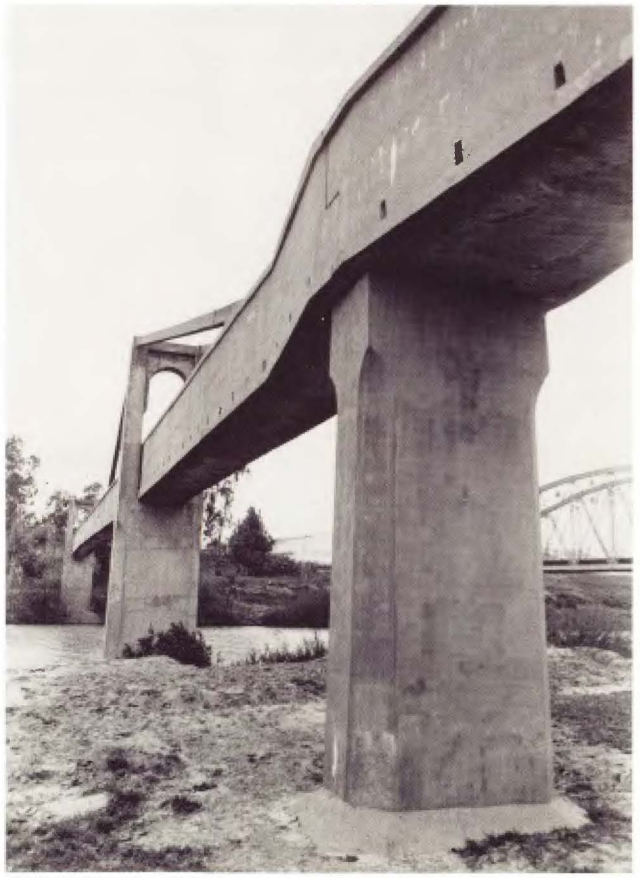
Al acabar la carrera en 1923, Eduardo Torroja fue llamado por el profesor de la Escuela José Eugenio Ribera —introductor del hormigón armado en España y destacado contratista— para que colaborara en su empresa, la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles. La admiración que el gran ingeniero sentía por su brillante alumno se plasmaría sólo unos años más tarde cuando, en 1936, promoviera un homenaje de toda la profesión al joven Torroja: «Nosotros los viejos maestros de Torroja, nos sentimos orgullosos del discípulo que ha logrado, en tan breve plazo, dar una muestra de actividad creadora de primer orden, que esperamos y deseamos continúe siempre para que la técnica española siga en el preferente lugar que viene ocupando en el mundo».

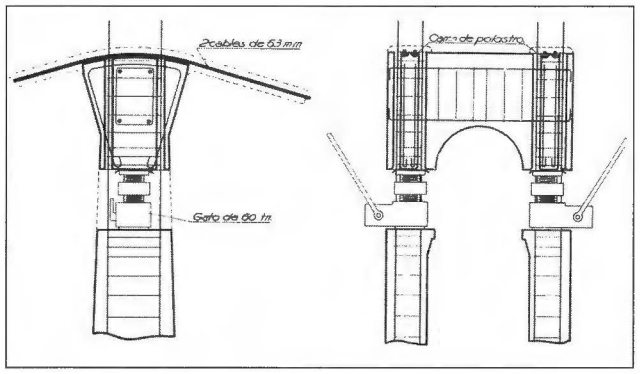
Una de las primeras obras que acometió Torroja fue el estudio de la solución que la Sociedad de Aguas presentara para el abastecimiento de Jerez de la Frontera. El cruce sobre el río Guadalete estaba resuelto mediante cinco tramos de 20 m de luz, simplemente apoyados sobre pilas cimentadas a 4m de profundidad, excepto las situadas en el cauce para las que se disponían pilotes de 10 m. Para evitar posibles problemas de socavación, y para dar una solución rápida al problema, mantuvo la disposición general y sustituyó el tramo sobre el cauce por dos ménsulas de 20 m de voladizo y un tramo central de 17 m apoyado sobre ellas, atirantados sobre las pilas mediante cables trenzados de alta resistencia, que permitían utilizar tiran-

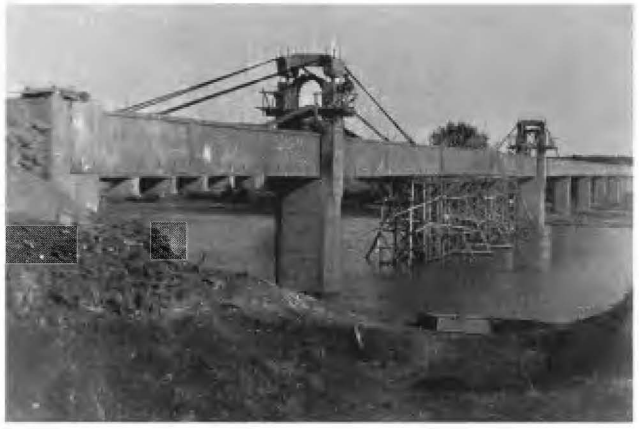
THE TEMPUL AQUEDUCT

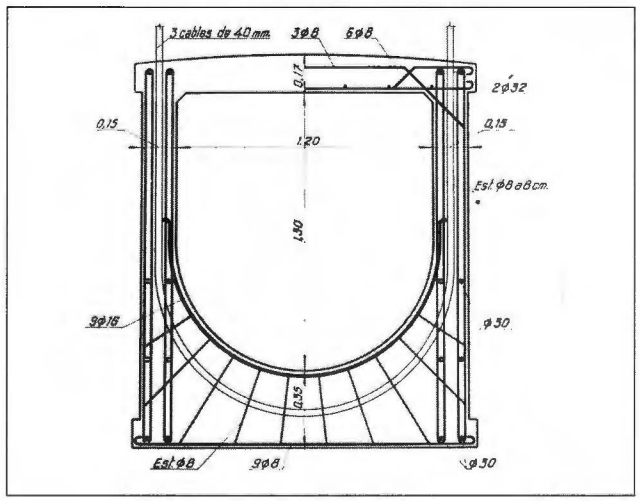
After his graduation in 1923, Eduardo Torroja was hired by José Eugenio Ribera, Engineering School professor and prominent contractor who had introduced reinforced concrete in Spain, to work in his firm, Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles. The admiration that this distinguished engineer felt for his brilliant student would be revealed only a few years later, in 1936, when he organized a profession-wide tribute to the young Torroja: "Those of us who were once Torroja's teachers are proud of a disciple who in such a short period of time has given evidence of quintessential creative energy, which we hope he'll continue to deploy and thereby contribute to keeping Spanish technology at the forefront of world esteem".

One of the first projects that Torroja undertook was to study a modification in the design of an aqueduct for the Jerez de la Frontera water supply requested by the owner, the Sociedad de Aguas. In the initial design the Guadalete River was spanned by five 20-m sections simply supported on piers sunk to a depth of 4 m, except in the riverbed itself where they were to be sunk to 10 m. To provide a speedy solution to the owners' objection about possible subsidence of the latter, the only change Torroja made in the general layout was to remove the riverbed piers, cantilevering the two respective 20-m sections and using them, in turn, to support a 17-m central section. These overhangs were anchored to the remaining piers with high-strength twisted cable, which









tes de una sola pieza en toda la longitud y, además, de fácil transporte y manejo en obra. La dificultad radicaba en resolver el problema del alargamiento de los cables al ponerlos en tensión. Desde esta esta primera ocasión Torroja dio muestras de lo que sería una constante en todo su trabajo posterior: mostró un ingenio extraordinario para dar solución a los problemas que presentaban sus propuestas estructurales. Así, colocó en la parte superior de las pilas un dispositivo de elevación que permitía tensar previamente los cables y conseguía una ventaja doble: por un lado, anulaba el alargamiento al ponerlos en carga, y por otro, introducía en la estructura esfuerzos de signo contrario a los que produciría la sobrecarga de servicio.

En palabras de su maestro Ribera, «la obra de Torroja es tan variada como intensa, extraordinariamente pródiga en soluciones nuevas de características excepcionales por su originalidad y proporciones, dentro de un programa de economía que precisamente ha sido, en la mayor parte de los casos, la causa que ha forzado el llegar hasta ellas».

CAJONES DE CIMENTACIÓN

En los primeros tiempos de trabajo de Torroja en Hidrocivil afrontó el proyecto de varios cajones de cimentación para tres puentes: uno en Buenos Aires, que se construirían en varadero; otro en Sevilla, el puente de San Telmo, construidos en la margen del río, posteriormente se botaban con marea alta y se inyectaba aire en la cámara para disminuir el calado; y, finalmente, los del puente de Sancti Petri, en Cádiz, que se construyeron directamente sobre batea flotante que se dejaba ir a pique y así quedaba el cajón flotando.

En el puente de San Telmo, proyectado por Ribera, la cimentación de las cuatro pilas centrales se hacía mediante la técnica de aire comprimido: el cajón de hormigón armado se colocaba en la vertical de su posición, se hundía hasta el fondo y se hincaba el cajón excavando desde el interior de la

not only afforded the advantage of using a single length for an entire tie, but was also easy to ship and readily handled on the work site. The sole difficulty was the elongation of the cables when they were loaded. But already at this early stage in his career, Torroja showed signs of what would become his professional trademark: the ingenuity with which he solved the problems posed by his structural proposals. Here, he placed a device on top of the piers to raise and therefore tense the cables before loading. This arrangement was dually beneficial: on the one hand it prevented elongation of the cables at loading and on the other it built forces into the structure that would offset the expected live loads.

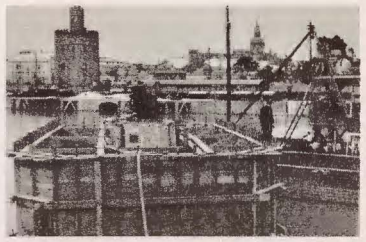
To put it in his master Ribera's words: "Torroja's work is equally varied and intense, not to say extraordinarily prolific in solutions exceptional for their originality and proportions: all against a backdrop of economy which, in most cases, has driven such achievement".

FOUNDATION CAISSONS

Early in his career at Hidrocivil Torroja was asked to design foundation caissons for three bridges: in Buenos Aires where they were built on the dry dock; in Seville (San Telmo Bridge) where they were built on the river bank and subsequently sunk at high tide, gradually releasing the air in the chamber to control the depth; and finally for the Sancti Petri Bridge at Cadix, where they were built on floatable tubs and then towed to position, after which the tubs were detached to allow the caisson to sink to the bottom.

On the San Telmo Bridge, designed by Ribera, compressed air was injected into the foundations for the four central piers: the reinforced concrete caissons were vertically stabilized against a slide and gently dropped to the bottom; to sink them to the bedrock, the soil underneath was removed by

ACUEDUCTO DE TEMPUL
1925



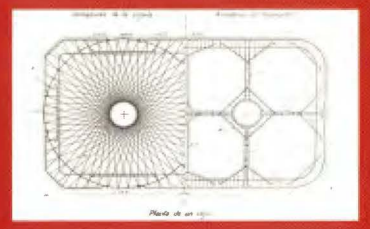
«El puente está formado por once luces rectas de 20 m y una tipo "Cantilever" de 57 m. La particularidad de la obra está en la luz principal formada por dos ménsulas de 20 m de voladizo y un tramo central de 17 m apoyado en ellas. Cada cantilever está constituido por dos tramos de 20 m, unidos por tirantes de cable hormigonado que apoyan sobre la pila a una altura de 5,80 m. Los tirantes habrían de medir unos 50 m de longitud. Pero en 1926 no se disponía de técnicas de pretensado para tales longitudes, ni se había avanzado lo suficiente en las técnicas de soldadura como para confiar en ellas una estructura de tal envergadura.»

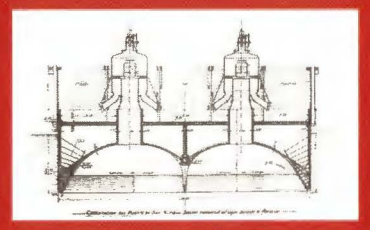
«La dificultad principal de construcción está, pues, en tensar el cable para que al entrar en trabajo no ceda excesivamente. Esto se resolvió por el siguiente procedimiento: la cabeza de la pila se hormigonó separada del resto de tal modo que pudiera desplazarse verticalmente, para lo cual las armaduras verticales quedaban libres en tubos preparados al efecto y los cables apoyaban sobre camas de palastro empotradas sobre la cabeza de la pila.»

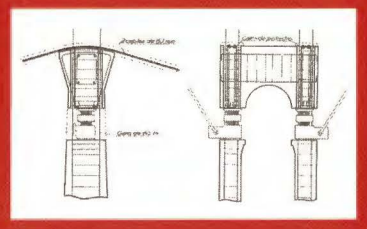
«Pasado el mes de fraguado de los tramos se levantaron las cabezas de las pilas con gatos hidráulicos, tensando con ello los cables hasta hacer despegar los tramos de la cimbra, y se enclavó la obra.

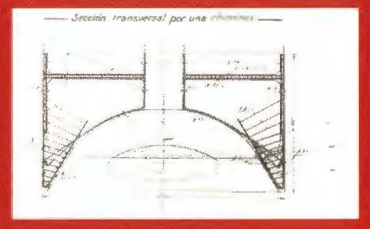
Después de esto se hormigonaron por partes los huecos que quedaban entre las pilas y sus cabezas, retirándose los gatos.

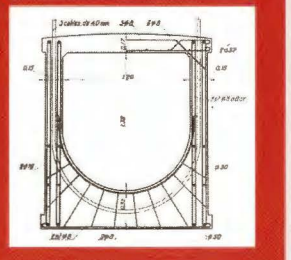
Inmediatamente se procedió al hormigonado de los cables, colgando el molde de éstos para que la pieza no sufriera esfuerzo inicial alguno de flexión.»











CAJONES DE CIMENTACIÓN

«Los cajones están proyectados para llevarse por flotación al lugar de la hinca.

El de San Telmo se construyó en la margen del río, botándose en marea alta e inyectando aire en la cámara para disminuir su calado, y el de Sancti Petri directamente sobre la bolsa flotante, que se dejó ir a pique, quedando el cajón en flotación.

La estabilidad está asegurada aún en caso de exceso de aire en la cámara, pudiendo escapar éste por bajo del cuchillo en posición escorada, sin peligro de zozobrar.»

SAN TELMO, 1920

«Empezamos por estudiar un cajón de hormigón armado de las dimensiones horizontales del cimiento y de 5,50 m de altura suficientemente rígido y al mismo tiempo ligero, para que pudiera navegar con un calado exiguo. Para ello, dividimos la cámara de trabajo en dos, cubiertas con cúpulas, de cuyas claves arrancan las chimeneas de comunicación con la atmósfera, y reforzamos las cuatro paredes verticales exteriores con una viga de cintura en la parte alta. Estas paredes son de 14 cm de espesor y las cúpulas de 7 cm.»

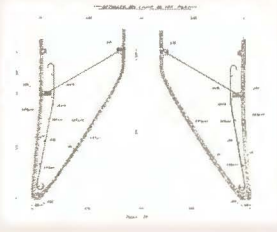
«Para el fondeo se había preparado un castillete de amarre con pilotes de madera, y en la pared del cajón se colocaron unas correderas que, al ajustar contra otras del castillete lo fijaban en la vertical de su posición definitiva; la misma corriente de la marea sujetaba el cajón contra estas correderas, y sólo con dar salida al aire primero, y entrada al agua después, mediante tapones preparados al efecto, el cajón fondeó con toda la suavidad y exactitud que podía desearse.»

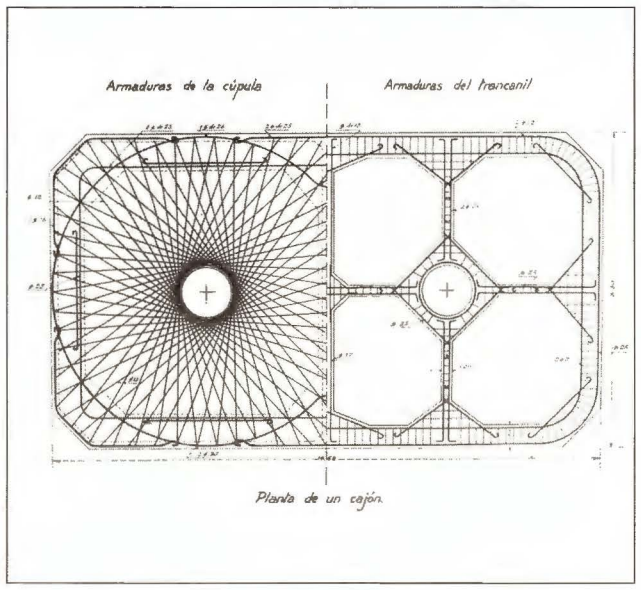
SANCTI PETRI, 1926

«Está formado por dos hiperboloides concéntricos de eje vertical para rellenar de hormigón el espacio que queda entre ambos después del fondeo.

Flota inicialmente con 2,50 m de calado solamente. Las paredes están formadas por tabique de panderete con armadura por una cara y enfoscado por ambas. La disposición estructural indicada presenta notables ventajas. Así, la suave inclinación de la pared exterior disminuye la fricción provocada cuando se sumerge el cajón. La forma de la pared interna evita que el cajón se hunda con demasiada rapidez en suelos cenagosos.

Las paredes delgadas de sección transversal circular son las más adecuadas para soportar la presión hidráulica. El riesgo de pandeo se evita con un anillo interior de rigidización en la pared exterior y otro en la cara exterior de la pared interior, a mayor altura. Ambos unidos por tirantes con tensores en forma de radio de bicicleta. La disposición de estos tirantes en una superficie cónica aumenta su eficacia porque la presión hidráulica, que produce una deformación relativa entre las dos paredes, tesa los tirantes y arriostra el conjunto. El diámetro interior del cajón es de 7,60 m, la profundidad de hinca de 10 m, y la máxima carga de agua sobre la pared libre, de 4 m.»



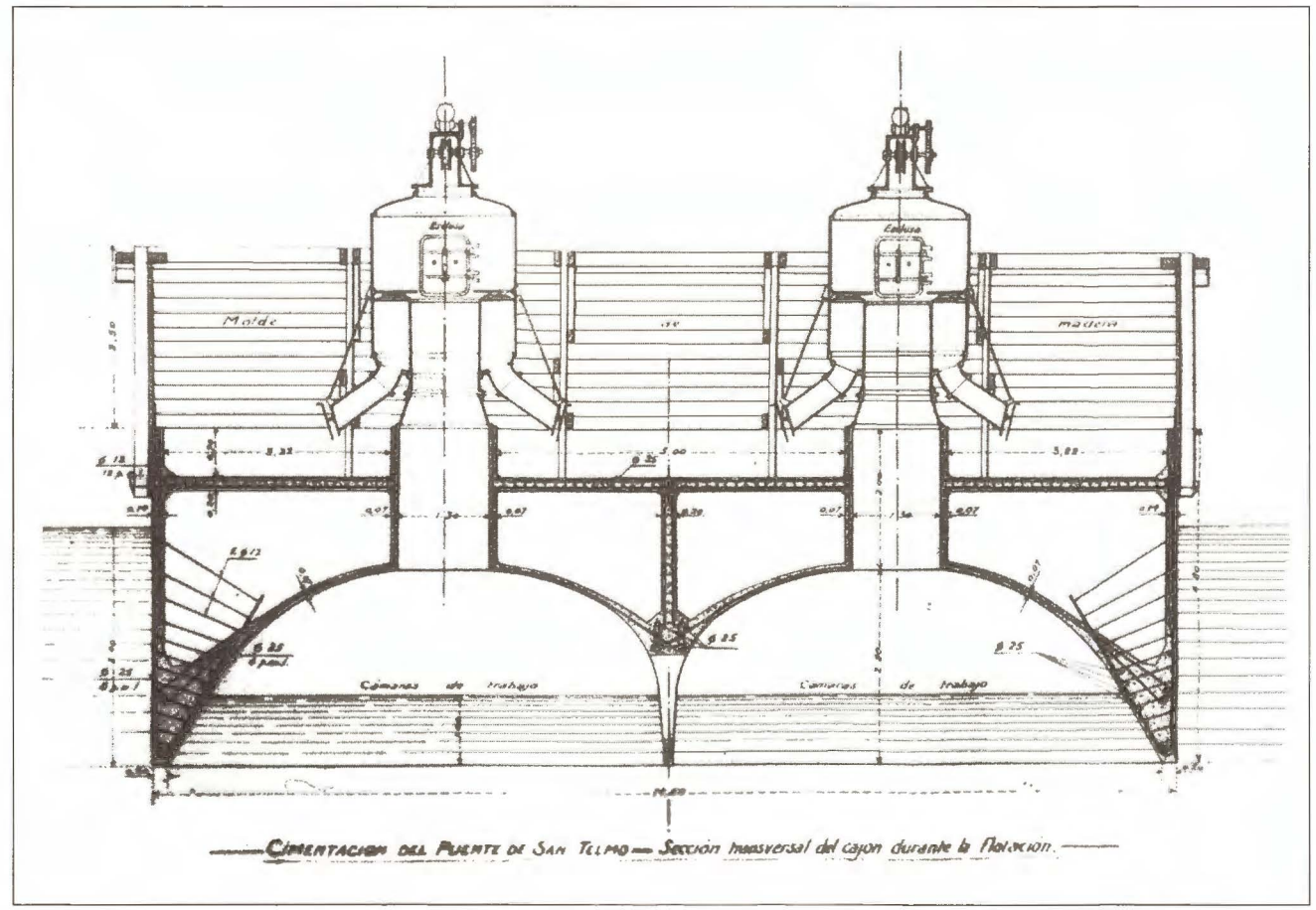


cámara de trabajo, que se mantenía estanca por medio del aire que se inyectaba. Las dimensiones del cajón proyectado habían de compatibilizar la altura necesaria para garantizar la adecuada rigidez con la ligereza suficiente para permitir la navegación con un calado exiguo. Dividiendo en dos las cámaras de trabajo, concentrando la masas del cajón en los cuchillos y cubriéndolas con cúpulas de revolución —que, además de ser muy ligeras, son adecuadas para resistir el empuje del agua durante la flotación— conseguía unos recintos espaciosos y cómodos para el trabajo. Torroja estudió con detenimiento el sistema de navegación y fondeo del cajón, asegurando en todo momento la seguridad de la operación.

En el puente de Sancti Petri, formado por tres tramos metálicos que se apoyan sobre estribos y dos pilas intermedias, proyectó una superficie compuesta por dos hiperboloides concéntricos de eje vertical. El espacio que queda entre ambos se relle-

workers digging from inside the working chambers, which were kept watertight by injecting air. When dimensioning these caissons Torroja had to strike a balance between the height required to guarantee the necessary stiffness and a weight light enough to tow at a shallow depth. By dividing the working area into two chambers, concentrating the weight of the caissons on the cutting edges and covering the chambers with domes —very lightweight but sturdy enough to resist the thrust of the water during floatation— he created spacious and comfortable premises for workers. Torroja studied the caisson towing and sinking procedure very carefully to ensure safety at every stage of the operation.

For the 3-span Sancti Petri Bridge, whose steel deck rests on the abutments and two intermediate piers, he designed a double wall structure in the form of two concentric hyperboloids around a vertical axis. The space in between the two walls



naba con hormigón una vez fondeado el cajón. La estructura laminar —construida a base de tabiques de rasilla ligeramente armada y enfoscada por ambas caras con un mortero de cemento— resultante tiene un espesor mínimo —7 cm— y, consecuentemente, un peso muy ligero y adecuado para las maniobras de transporte y fondeo.

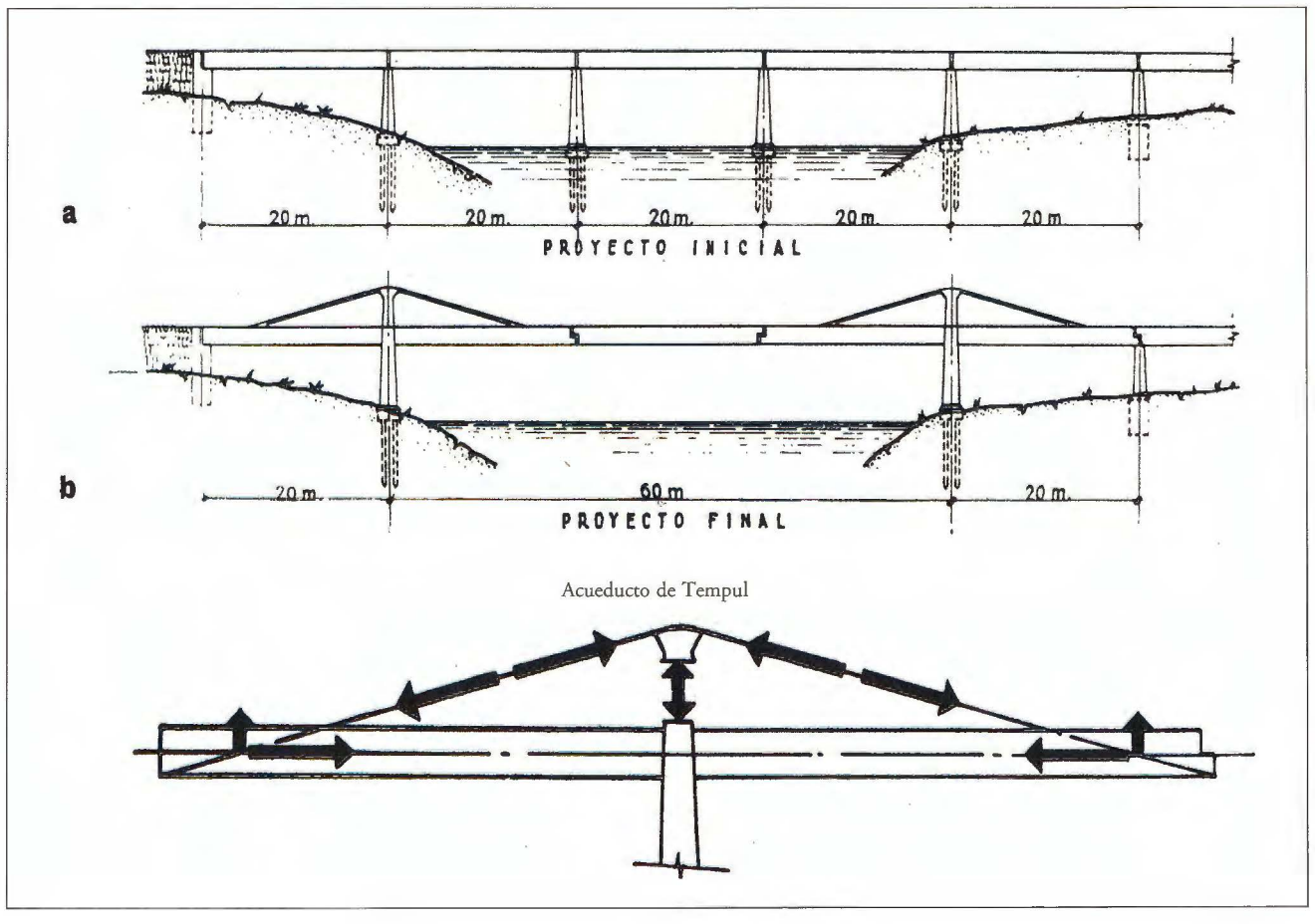
La forma hiperbólica continua de la cámara resulta muy apropiada para garantizar la seguridad de los operarios ante un hundimiento brusco en el fango, frente a las tradicionales de techo horizontal.

En este proyecto Torroja utilizó no sólo sus amadas formas laminares, sino que lo hizo explorando las posibilidades de un material modesto, el ladrillo, que utilizaría en otras ocasiones como soporte estructural de potente expresividad formal en la capilla de Pont de Suert o en el depósito de Fedala.

was filled with concrete to sink the caissons. Only 7 cm thick, the shell —the walls were made of thin hollow brick partitions faced on both sides with slightly reinforced cement mortar— was befittingly light to facilitate the towing and sinking operations.

Torroja sustained that in the event of abrupt settling of the caisson, the continuous hyperboloid-shaped chamber would guarantee worker safety much more effectively than traditional structures with horizontal ceilings.

In this project he not only resorted to his beloved shells, but explored the potential of a modest material, brick, that he would later use as a powerfully expressive structural support for similar structures in Port de Suert Chapel and the water tower at Fedala.



Acueducto de Tempul