

## II CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

Realizaciones, Puentes



**Acueducto del Canal Imperial de Aragón en  
la Ronda de la Hispanidad de Zaragoza**

**Javier Manterola Armisén  
Miguel Ángel Astiz Suárez**

*Carlos Fernández Casado S.L.*

# ACUEDUCTO DEL CANAL IMPERIAL DE ARAGÓN EN LA RONDA DE LA HISPANIDAD DE ZARAGOZA

## INTRODUCCIÓN

El tercer cinturón de Zaragoza, también llamado Ronda de la Hispanidad, pasa bajo el Canal Imperial de Aragón a la altura del Barranco de la Muerte. El Canal Imperial atraviesa dicho barranco mediante un muro de calicanto que corta la traza de la Ronda.

Para eliminar este obstáculo se pensó en un principio en cortar el muro de calicanto y dar continuidad al Canal Imperial mediante un acueducto nuevo separado de dicho muro. Posteriormente el muro ha sido protegido, lo cual ha obligado a darle una solución diferente pero el proyecto inicial del acueducto nuevo se ha conservado y construido.

## DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

La función del acueducto consiste en primer lugar en soportar un canal con una sección de  $35,8 \text{ m}^2$ . Además, la función de acueducto se complementa con la de un puente ya que al canal se le añaden dos calzadas de 7 m y dos aceras de 3 m de anchura.

De esta manera se consigue realzar el papel del Canal Imperial al hacerlo más presente en el tráfico y asimismo conferir a la obra un carácter más urbano y relajante para el peatón por los efectos que produce la observación de una gran lámina de agua circulando mansamente por el acueducto.

La longitud total a salvar es de 88 metros que se han repartido en un vano central de 40 m y dos vanos laterales de 24 m (fig.1).

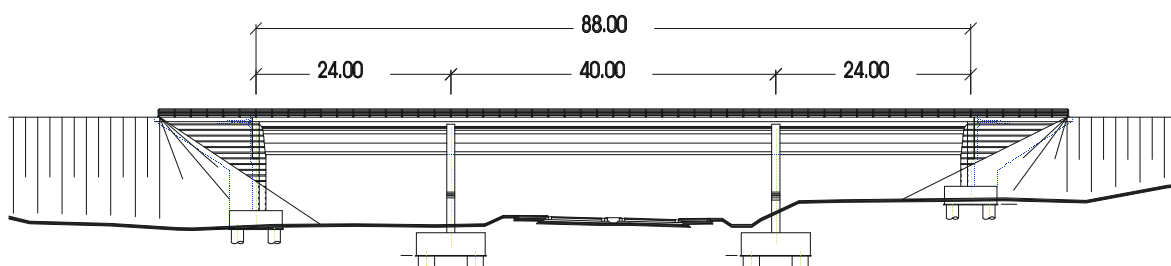


Figura 1. Alzado del acueducto

## CONCEPTO ESTRUCTURAL

El proyecto de acueductos de hormigón pretensado en nuestro país cuenta con antecedentes importantes como son, por ejemplo, el magnífico acueducto de Alloz de Torroja o nuestro acueducto empujado del Alcanadre. Pero en estos ejemplos anteriores sólo se trataba de soportar el vaso del canal mientras que para el acueducto que nos ocupa hay que soportar además las mencionadas calzadas y aceras; esta doble función supone resistir unas cargas muy importantes (43,8 t/m) y dotar a la estructura de una gran anchura para dar cabida a todos los flujos previstos.

La solución adoptada es la más natural tanto desde el punto de vista funcional como estructural. Se optó por disponer el vaso del canal en el centro y las dos calzadas a los lados en forma simétrica (fig. 2).

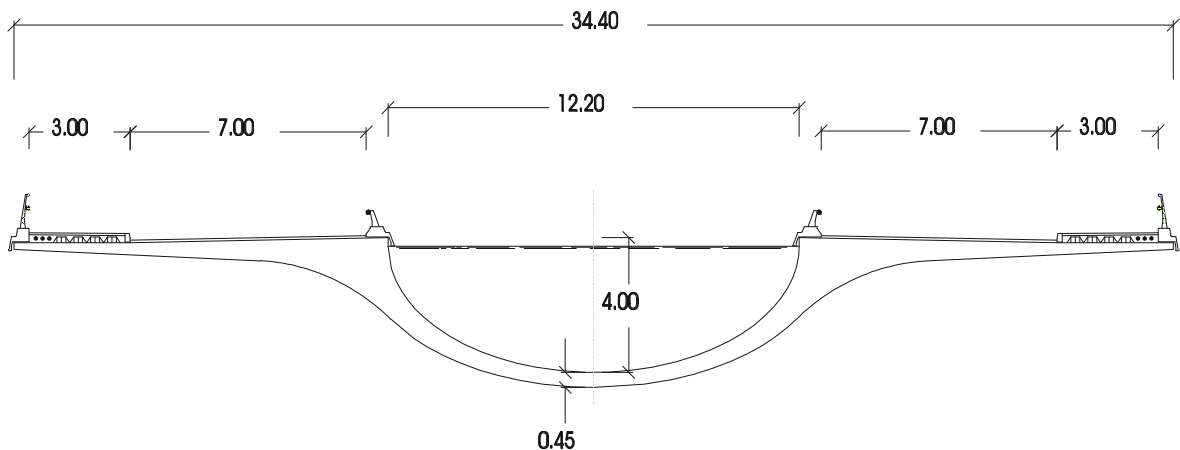


Figura 2. Sección transversal del acueducto

Esto permitió definir una sección transversal con un canto importante (4,45 m), pero necesario para resistir las cargas aplicadas, en el que el fondo del vaso actúa como ala inferior y los vuelos como alas superiores.

Transversalmente el puente-acueducto es una losa de espesor variable con una anchura total de 34,4 m, del mismo orden de magnitud que los vanos salvados; el espesor de la losa pasa de 0,20 m en el borde hasta 1,80 m en su unión con el cajero del acueducto para reducirse a 0,45 m en el eje del acueducto.

El comportamiento resistente responde a esta distribución de espesores. Los vuelos soportan las cargas de las calzadas y las transportan hasta las almas, que corresponden a las paredes laterales del vaso. En el centro del vaso las flexiones transversales han desaparecido prácticamente en parte por la rigidez de las almas pero sobre todo por el papel de los diafragmas transversales. En efecto, se coarta la deformación transversal de la sección mediante los diafragmas exteriores que se hacen coincidir con las pilas y los

estribos. Estos elementos, al impedir la distorsión de la sección, potencian el funcionamiento del mecanismo de flexión longitudinal.

Estos diafragmas eran por otra parte necesarios para sustituir a los elementos transversales de atirantamiento entre las dos calzadas que habíamos dispuesto si no hubiese que haber dejado absolutamente libre la lámina de agua para permitir la navegación con pequeñas embarcaciones de recreo o deportivas a lo largo del canal.

Ésta es la razón por la cual las pilas y los diafragmas de estribos están empotrados en el dintel. Las pilas se dividen por tanto en dos partes (fig. 3): la superior, empotrada en el dintel, se apoya sobre aparatos de neopreno en la parte inferior lo que posibilita los movimientos longitudinales del puente-acueducto. En el estribo la disposición es similar (fig. 4).

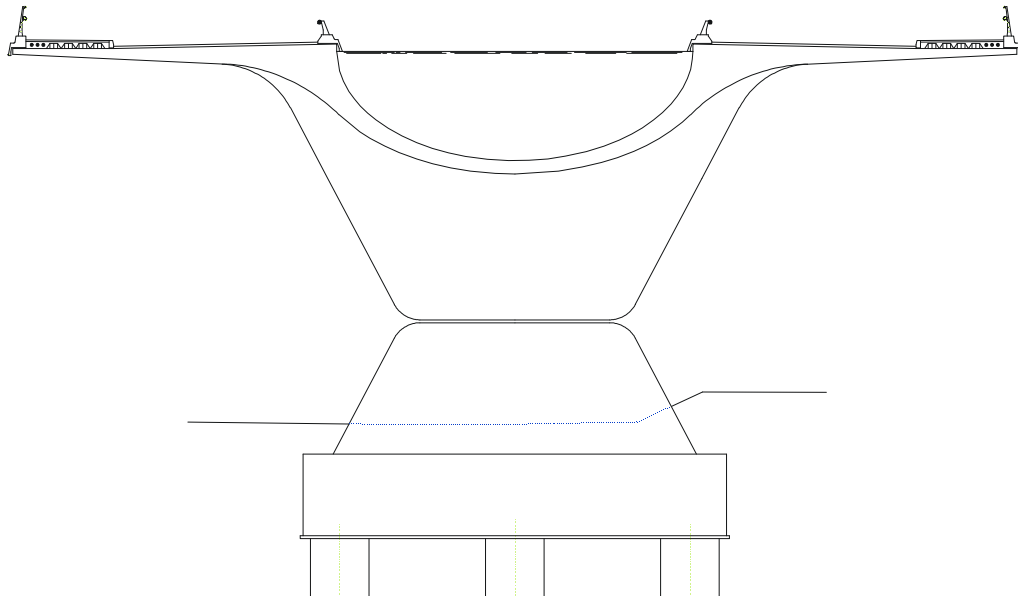


Figura 3. Alzado de pila

Figura 4. Alzado de riostra de estribo

En definitiva, se trata de una estructura laminar de espesor variable y de simple curvatura y que por ello tiene un funcionamiento que se puede entender bien recurriendo a modelos básicos de flexión. Las figuras 5 y 6 muestran las deformadas, convenientemente amplificadas, para las hipótesis de carga hidrostática y de carga máxima sobre las calzadas respectivamente.

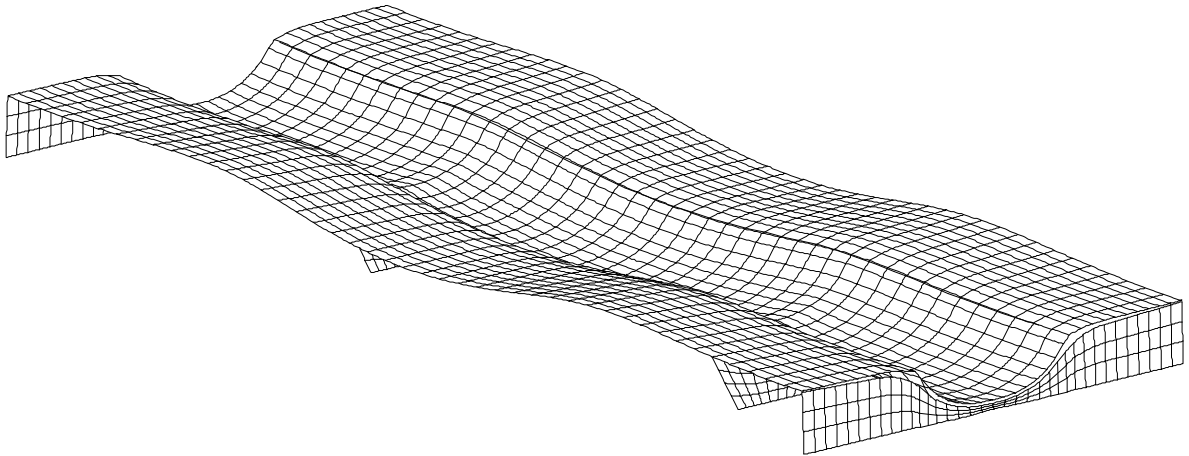


Figura 5. Deformada amplificada para carga hidrostática

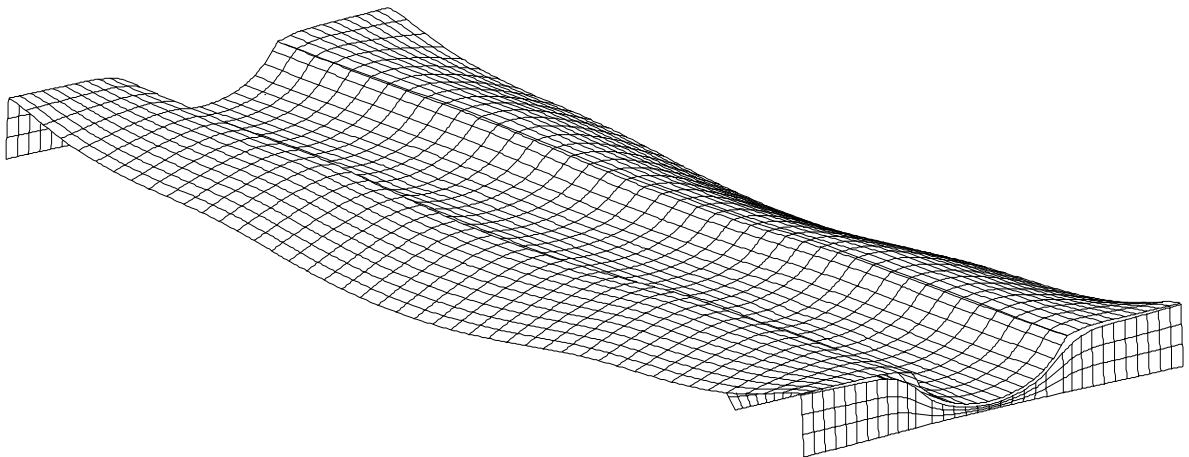


Figura 6. Deformada amplificada para sobrecarga de uso.

## **ANÁLISIS Y PROYECTO DE DETALLE**

La singularidad de la estructura ha aconsejado realizar el análisis completo mediante modelos de elementos finitos. Sólo se ha utilizado un modelo tradicional de barras para el análisis longitudinal con fines comparativos y como comprobación.

Dada la importancia de la carga de agua, que es doblemente simétrica, la mayor parte de los análisis se han llevado a cabo sobre un modelo de una cuarta parte del puente-acueducto (fig. 7). También se han estudiado sobre este modelo algunas hipótesis antimétricas y se ha utilizado el modelo completo para estudiar algunas hipótesis singulares.

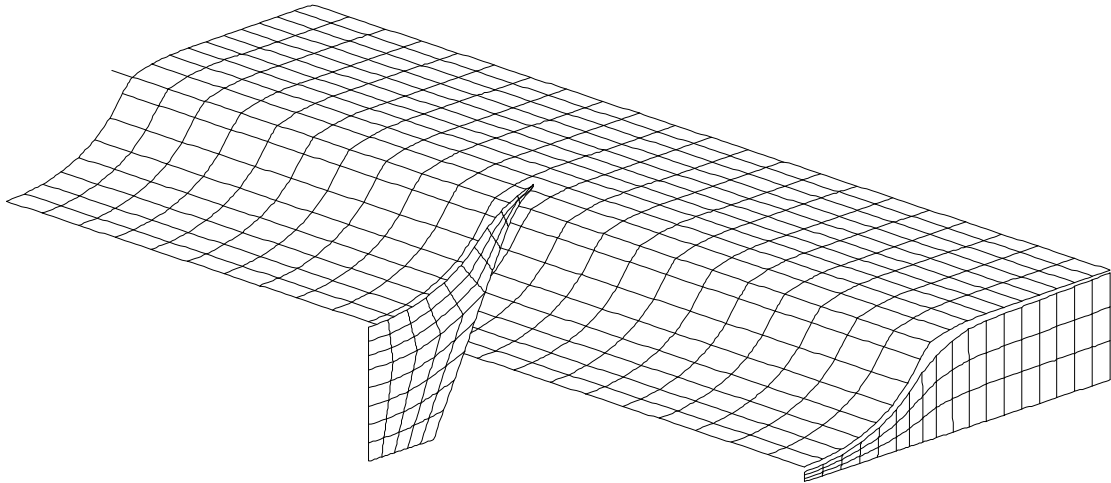


Figura 7. Malla de elementos finitos para un cuarto del acueducto (vista inferior)

La mayor parte de los elementos utilizados han sido de tipo lámina con 8 nodos y 6 grados de libertad por nodo. También se han usado elementos triangulares de 6 nodos en algunas esquinas del modelo, elementos barra en los vértices superiores del cajero para complementar la sección resistente y conexiones rígidas entre tablero y pilas y entre tablero y estribos.

El acueducto está fuertemente pretensado tanto en dirección longitudinal como transversal. Aunque en un principio se pensó en disponer cables longitudinales de trazado curvo, más eficaces para poder adaptarse mejor a las solicitaciones, se abandonó pronto esta idea a favor de un trazado recto mucho más sencillo de colocar. En cuanto al pretensado transversal, su trazado (fig. 8), viene obligado por las solicitaciones de flexión transversal en vuelos y de presión hidrostática en el vaso del canal; el reparto del pretensado transversal es prácticamente uniforme a lo largo de todo el puente-acueducto.

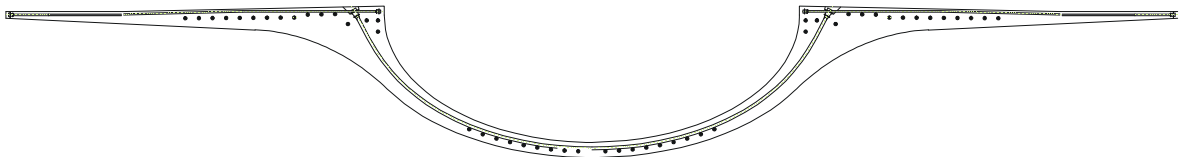


Figura 8. Pretensado longitudinal y transversal.

## CONSTRUCCIÓN

Aunque en el proyecto original se planteó una construcción tradicional en tres fases para aprovechar el encofrado curvo, el contratista prefirió montar el encofrado completo del acueducto aunque luego respetara el hormigonado por fases planteado inicialmente,

dividiendo incluso cada fase en dos partes al hormigonar en primer lugar el fondo del cajero, que no necesita encofrado superior, y, una vez endurecido este hormigón, se hormigonan las paredes del cajero y las losas. Esto es necesario para asegurar la estabilidad del hormigón del fondo del cajero ante la presión hidrostática ejercida por el hormigón fresco de las paredes, igual que en un cajón de puente.

El vibrado del hormigón de las paredes laterales del cajero se realizó a través de orificios practicados en el encofrado que se iban tapando convenientemente a medida que subía el nivel del hormigón fresco por dichas paredes.

## **PRUEBA DE CARGA**

La prueba de carga es en este caso especialmente importante ya que debe llevarse a cabo con la carga total de agua por lo que, aunque se ha reducido convenientemente la sobrecarga de uso durante la prueba, la carga total aplicada ha resultado ser el 85% de la carga máxima de proyecto.

En estas condiciones se comprobó no solamente la impermeabilidad del vaso sino también el excelente acuerdo entre los desplazamientos medidos y los calculados.

## **CONCLUSIONES**

El acueducto (fotos 1 y 2) es una demostración palpable de las ventajas de combinar el flujo hidráulico y el tráfico en una única estructura tanto por las posibilidades formales de esta combinación como por la mejora del entorno urbano que esto supone. Este proyecto sólo ha sido posible a través de la comprensión de los mecanismos resistentes de la solución empleada así como por el uso de las herramientas de cálculo adecuadas.

## **FICHA TÉCNICA**

Propietario: Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón (Mariano Ferrando)

Director del proyecto: Ángel Morancho

Autores del Proyecto: Javier Manterola, Miguel A. Astiz (Carlos Fernández Casado S.L.) y Fernando Escorihuela (Sers S.A.)

Construcción: U.T.E. FCC y ACS (Alberto Ronchel, Javier Quero, Sergio Gracia)

Asistencia técnica en obra: Carlos Fernández Casado S.L. y Sers S.A. (Octavio Aríñez)

Fotos 1 y 2. Vistas del acueducto durante la construcción y durante la prueba de carga.

