

# PUENTE ATIRANTADO "ARRIACA" EN GUADALAJARA

**Ramón Sánchez de León**

Ingeniero de Caminos

ESTUDIO AIA

Ingeniero

rsanchezdeleon@estudioaia.com

**Christian Bernal Pérez**

Ingeniero de Caminos

ESTUDIO AIA

Ingeniero

cbernal@estudioaia.com

## Resumen

El Puente Atirantado Arriaca se configura como un hito en la puerta norte de la ciudad de Guadalajara. La estructura se ubica en la Ronda Norte de Guadalajara, permitiendo el cruce del río Henares y facilitando el acceso tanto a los polígonos industriales como a los municipios situados al norte de la ciudad.

El puente tiene una longitud de tablero total de 201 m, distribuidos en un vano principal de 100.5 m y dos vanos laterales de 42.00 m y 58.50 m. La anchura del tablero es de 30 metros, distribuido en dos calzadas de 12.50 m, una mediana de 3 m y espacios para ubicar las sistemas de protección. El sistema de atirantamiento consta de 28 tirantes en forma de semiabánico y distribuidos en un único plano de tirantes. El tablero esta formado por un cajón metálico, costillas laterales y una losa superior de hormigón. El pilono es totalmente metálico y tiene una altura sobre rasante de 58 m. La cimentación se constituye mediante pilotes de diámetro 1500 mm.

**Palabras Clave:** Tirante, anclajes, acero cortén, doble acción mixta, pretensado, cajón metálico, costillas, instrumentación.

## 1. Introducción

El Puente Arriaca, cuyo nombre se debe al primer asentamiento romano que hubo en el lugar, es un puente atirantado sobre el río Henares, en la ciudad de Guadalajara, en una zona de nuevo crecimiento y dentro del vial perimetral conocido como la Ronda Norte de Guadalajara. Este nuevo vial vertebró los desarrollos urbanos al este y norte, conectando la autovía A-2 con los polígonos industriales y carreteras situadas al norte de la ciudad.

En el desarrollo del proyecto se optó por el diseño de un puente urbano, que cierra por el Norte la ciudad con un elemento simbólico, atractivo y si se nos permite reflejo de una actividad industrial y urbana en crecimiento. Un puente "High-Tech" como muestra del potencial de la zona industrial y urbana de Guadalajara.

El puente Arriaca es un puente atirantado de 201 m de longitud, con un vano principal de 100,50 metros y una anchura de tablero de 30 metros, distribuido en dos calzadas de 12,50 m, una mediana de 3,00 m para ubicar el pilono y los anclajes de los cables y finalmente espacios para ubicar las defensas de protección.

## 2. Atirantamiento

El atirantamiento se conforma con un solo plano de tirantes en el eje del tablero. Disponer un único atirantamiento central condiciona enormemente el diseño del puente, debiendo recoger la sección cerrada del tablero los esfuerzos de torsión que, en este puente por su anchura, tienen especial importancia.



*Fig. 1 Vista inferior tablero y plano de tirantes.*

Se proyectan veintiocho tirantes, catorce en el vano principal y catorce en los vanos de retenida. Estos cables quedan anclados al pilono mediante anclajes pasivos, y al tablero mediante unas piezas especialmente diseñadas a modo de "cañones", donde se sitúan los anclajes activos y que permiten transferir los esfuerzos desde los tirantes al alma central del tablero. Los tirantes se componen de cordones monoprotegidos de  $150 \text{ mm}^2$  paralelos de 7 alambres de 1860 MPa de resistencia a la tracción, variando el número desde 27 hasta 43 cordones. Los tirantes han sido calculados para trabajar, en la hipótesis más desfavorable, a un 45% de la tensión de rotura, y limitando la variación de tensión máxima para fatiga a 200 MPa.

El número de cordones por tirantes oscila entre 31 y 64. La carga de tesado definitivo de los cables varía entre 2500 kN y 5900 kN.



*Fig. 2 Piezas especiales de anclaje de tirantes "cañones".*

### 3. Tablero

El tablero se ha resuelto con una sección mixta de hormigón y acero en el vano principal y de doble acción mixta en los vanos de retenida, hormigonando la losa inferior con HAR-60. La sección del tablero es una artesa metálica de acero S-355 de resistencia mejorada a la corrosión, de canto 2.50 m, de 9.00 m de base inferior, base superior abierta de 11.00 m con dos platabandas de 0.50 m formando las alas superiores, dos almas inclinadas extremas de 2.67 m y una alma central de 2.50 m. El tablero va suspendido cada 6.00 metros del alma central mediante unas piezas especiales de anclaje como elemento de transición entre tablero y tirante, "cañones". En estas zonas se dispone en el cajón de unos diafragmas transversales que transmiten la carga desde el centro del tablero hasta las almas laterales.



*Fig. 3 Vista de alzado iluminado.*

Para materializar la plataforma de 30.00 m se anexionan lateralmente al cajón unas costillas laterales metálicas de 9.30 m de longitud en ambos lados. Estas costillas juegan un papel destacado en la imagen del tablero y aportan una

magnífica sensación de ligereza a la estructura. Sobre el cajón y las costillas se dispone una losa de hormigón armado HA-45 de 25 cms de espesor sobre prelasas prefabricadas.



*Fig. 4 Cajón metálico y costillas laterales del tablero.*

#### **4. Pilono**

El pilono, como elemento metálico vertical en el centro del tablero, se diseña como la solución más racionalista e ingenierilmente correcta, marcando el "hito" que pretende crear este elemento en la ciudad, "hito" claramente de borde de la trama urbana.

El pilono se construye como un fuste único de acero S-355 de resistencia mejorada a la corrosión con una sección de 3,00 x 2,55 m. El elemento se resuelve formalmente con una "H" en sentido longitudinal del puente maclada con una doble "T" en sentido transversal. La altura total del pilono es de 58 m medidos desde la cara superior del tablero. La altura desde el terreno natural es de 72 metros.

Los tirantes se conectan al pilono en la sección en H, en el eje central, separados cada 2,50 m. Cada tirante del vano principal tiene su simétrico en el vano de retenida, así la transmisión de fuerzas horizontales en el pilono queda compensada prácticamente a ambos lados para cargas permanentes.



*Fig. 5 Pilono central durante el tesado de tirantes.*

## 5. Pilas y estribos

Las pilas principales bajo el pilono son de hormigón armado de color blanco HA-30, rectangulares de canto variable, variando su sección desde 4.00x3.20 m en arranque de encepado a 2.00x3.20 m en cabeza, estando las dimensiones mínimas en cabeza condicionadas por el apoyo tipo POT que se proyecta. La separación transversal entre pilas es de 6.00 m.

Los estribos son convencionales de hormigón armado resueltos con hormigón blanco HA-25 y muros en vuelta para el derrame de tierras, con cimentación directa mediante. La zona central del muro frontal está regresada para permitir el anclaje del tablero a la cimentación y recoger mediante anclajes con cables de pretensado el vuelco por torsión del tablero.

## 6. Cimentación

Las pilas principales soportan cargas muy importantes transmitidas por el pilono, del orden de 11.0000 kN., por lo que es absolutamente imprescindible la cimentación por pilotes. Se han proyectado 16 pilotes de hormigón, de 1500 mm de diámetro, dispuestos en 4 filas de 4 pilotes. Su profundidad es de 28 m, llevando el tope estructural a 4.5 MPa. Se proyectan con camisa de chapa recuperable por existir balsas de arenas inestables intercaladas entre el sustrato mioceno. Se construye un encepado de 14.00 x 15.50 m y canto de 4.00 m, rígido, de hormigón armado HA-25.

La cimentación de los estribos es directa mediante zapatas, siendo las cargas sensiblemente inferiores a las que se obtienen en el pilono.

## 7. Proceso constructivo

La construcción del puente comienza con la ejecución de las cimentaciones; todos los pilotes se controlaron mediante el método "cross-hole" de ultrasonidos en toda su longitud, realizando posteriormente inyecciones en punta.

El tablero y pilono metálico fueron ejecutados en taller metálico, mientras se avanzaba en la construcción de pilas y estribos. Los tramos metálicos se transportaron a obra desde el taller. El cajón metálico, por la anchura de la sección transversal, se dividió en tres partes para el transporte: la central que incluye el alma central y las dos laterales, de las que forman parte las almas inclinadas exteriores.

La longitud de estos tramos para el transporte fue de 15 m, lo que equivale a un peso aproximado de 40 tn por tramo. Estos tramos se izaron y se colocaron apoyados sobre pilas-pilote provisionales de 650 mm de diámetro. Posteriormente se les dio continuidad transversal y longitudinal por soldadura, disponiendo así íntegramente del cajón metálico y anexionándole las costillas metálicas laterales.



*Fig. 6 Construcción del tablero metálico sobre pilas-pilote provisionales.*



Una vez terminado íntegramente el cajón metálico se colocaron las prelasas prefabricadas centrales sobre el cajón y se hormigonó sobre esas prelasas una anchura de 11.00 m, correspondiente al tramo entre almas exteriores. Posteriormente se colocó el pilono que fue traído desde taller en siete piezas para el transporte, en obra se soldaron esas piezas generando dos tramos de 170 tn cada uno que se montaron en el tablero con grúa.

Colocado el pilono se procedió al enfilado de cables y un tesado con gato monocordón para eliminar la catenaria. Realizadas las operaciones anteriores se procedió a un primer tesado de la estructura, aliviando así las pilas-pilote de carga. Este tesado fue aproximadamente un 50% del tesado definitivo.

Posteriormente se colocaron las prelasas sobre los voladizos y se hormigonaron las losas laterales, se impermeabilizó el tablero y se extendió el aglomerado, tras lo cual se realizó el segundo tesado llegando al 100% de la carga de tesado y suspendiendo íntegramente el puente en el aire, quedando libre de las pilas-pilote.

Se demolieron las pilas-pilote y se procedió a un pesaje de todos los tirantes ( comprobación de carga y contraste con la instrumentación ) y se le dio un retesado en algunos tirantes, terminando así el proceso de tesado.



*Fig. 7 Vista del tablero desde pilono con el tramo central de losa hormigonada.*

Terminada la estructura se realizó la prueba de carga para lo cual se colocaron en el puente 40 camiones de 35 tn cada uno, un total de 1400 tn, en las posiciones más desfavorables, incluso en la pésima de torsión : 20 bañeras en la calzada izquierda y sin carga en la calzada derecha , la flecha máxima alcanzada por el puente fue de 95 mm, valor que se aproximaba sensiblemente al valor calculado con el modelo de cálculo.



Fig. 8 Realización de la prueba de carga.

El puente ha estado sometido a un riguroso control de la ejecución, que se resume brevemente:

- Todos los pilotes fueron ensayados por el método de "cross-hole" por ultrasonidos, tres de ellos fueron reparados por la técnica de agua a presión e inyección posterior con lechada.
- En la estructura metálica se realizó un exhaustivo control de las soldaduras, en obra y taller, con 2000 ml de longitud de soldadura de inspección por ultrasonidos, 580 ml inspeccionados por partículas magnéticas y 467 placas de radiografía.
- Todos los hormigones de cimentaciones, pilas y tablero han sido controlados mediante probetas con un nivel de control intenso.

El puente fue instrumentado con bandas extensométricas, células de carga, clinómetros y termómetros, dispuestos en posiciones claves de la estructura ( tirantes, pilono y tablero ) que nos permitían conocer en tiempo real las tensiones, deformaciones y temperatura existentes en el puente durante las fases de tesado. Los 28 tirantes del puente fueron instrumentados mediante células de carga, lo que permitió el cálculo en tiempo real de la carga que era necesario introducir en cada fase de tesado.



Fig. 9 Datos de la instrumentación de tirantes.

## 8. Ficha de la obra

Nombre de la obra: PUENTE ARRIACA (GUADALAJARA)

Promotor: JUNTA DE COMUNIDADES DE CASTILLA LA MANCHA. CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS..

Proyecto: Ramón Sánchez de León (ICCP, ESTUDIO AIA)

Francisco Sánchez de León (Arquitecto, ESTUDIO AIA)

Dirección de Obra: Antonio García Vega (ICCP, JUNTA CASTILLA LA MANCHA)

Enrique Powys Gómez (ITOP, JUNTA CASTILLA LA MANCHA).

Asistencia Técnica de Obra: Ramón Sánchez de León (ICCP, ESTUDIO AIA)

Christian Bernal Pérez (ICCP, ESTUDIO AIA)

Álvaro Martínez Soto (ICCP, ESTUDIO AIA).

Empresa constructora: FERROVIAL AGROMÁN S.A

Subcontratistas principales: ASCAMÓN (taller metálico) y TECPRESA (tirantes).