

# Proyecto del nuevo puente arco de Alcántara sobre el río Tajo en la carretera EX-117 (Cáceres)

## *Project of the New Alcantara Arch Bridge Over Tagus River on the EX-117 Road. (Cáceres)*

Ramón Sánchez de León<sup>a</sup>, Alberto Herrera Gómez<sup>b</sup> y Francisco Sánchez de León<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ESTUDIO AIA. Director Dpto. Obra Civil. [rsanchezdeleon@estudioaia.com](mailto:rsanchezdeleon@estudioaia.com)

<sup>b</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ESTUDIO AIA. Departamento de Estructuras. [aherrera@estudioaia.com](mailto:aherrera@estudioaia.com)

<sup>c</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ESTUDIO AIA. Director Dpto. Edificación. [fsanchezdeleon@estudioaia.com](mailto:fsanchezdeleon@estudioaia.com)

Recibido el 7 de junio de 2019; revisado el 17 de mayo de 2020, aceptado el 17 de diciembre de 2020

### RESUMEN

El puente romano de Alcántara fue construido en el año 103 d.C y fue declarado Monumento Nacional en 1924. Soporta actualmente un tráfico de vehículos pesados que circulan por la EX-117 que está deteriorándolo considerablemente; por ello la Junta de Extremadura decide proyectar una variante que lo libere del tráfico con un nuevo puente sobre el Tajo, permitiendo conservar este legado para generaciones venideras. La construcción de un puente paralelo al antiguo puente romano de Alcántara supone un fuerte reto para los ingenieros que sentimos el diseño de puentes como algo vocacional. En este artículo se muestran los condicionantes del diseño y la estructura finalmente proyectada.

PALABRAS CLAVE: Arco, mixto, costillas, hormigón autocompactante, acero, pizarra, romano.

©2024 Hormigón y Acero, la revista de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE). Publicado por Cinter Divulgación Técnica S.L. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

### ABSTRACT

The Roman bridge of Alcantara was built in 103 AD and was declared a National Monument in 1924. It currently supports heavy vehicle traffic that circulates on the EX-117 that is deteriorating it considerably; for this reason, the Junta de Extremadura decides to project a new bridge over the Tagus, allowing this legacy to be preserved for generations to come. The construction of a bridge parallel to the Roman bridge of Alcantara is a strong challenge for engineers who feel the design of bridges as something vocational. This article shows the design constraints and the finally projected structure.

KEYWORDS: Arch, composite, ribs, self-compacting concrete, steel, slatestone, Roman.

©2024 Hormigón y Acero, the journal of the Spanish Association of Structural Engineering (ACHE). Published by Cinter Divulgación Técnica S.L. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0) License

\* Persona de contacto / Corresponding author:

Correo-e / e-mail: [rsanchezdeleon@estudioaia.com](mailto:rsanchezdeleon@estudioaia.com) (Ramón Sánchez de León)

Cómo citar este artículo: Sánchez de León, R., Herrera, A., & Sánchez de León, F. (2024). Proyecto del nuevo puente arco de Alcántara sobre el río Tajo en la carretera EX-117 (Cáceres). *Hormigón y Acero*. 75(304):7-14 <https://doi.org/10.33586/hya.2020.2554>

## 1.

### INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de la Junta de Extremadura con la realización de un nuevo puente en la carretera comarcal EX-117 en Alcántara es el de planificar una alternativa viaria para el cruce de dicha carretera sobre el río Tajo, eliminado de este modo el tráfico rodado sobre el actual Puente Romano.

La alternativa de trazado en la cual se encaja el nuevo puente de Alcántara fue seleccionada tras un análisis exhaustivo de la zona de proyecto y tras el planteamiento de varias opciones, discutidas con diferentes organismos competentes en el puente histórico. Se llegaron a definir hasta cinco alternativas.

Todos los trazados en planta discurrían entre el puente romano y la presa de Alcántara, ya que aguas abajo del puente romano está el Parque Natural del Tajo Internacional.

## 2.

### BREVE RESEÑA HISTÓRICA DEL PUENTE ROMANO

El puente romano de Alcántara sobre el río Tagus fue construido en el año 103 d.C. por Cayo Julio Lacer durante la

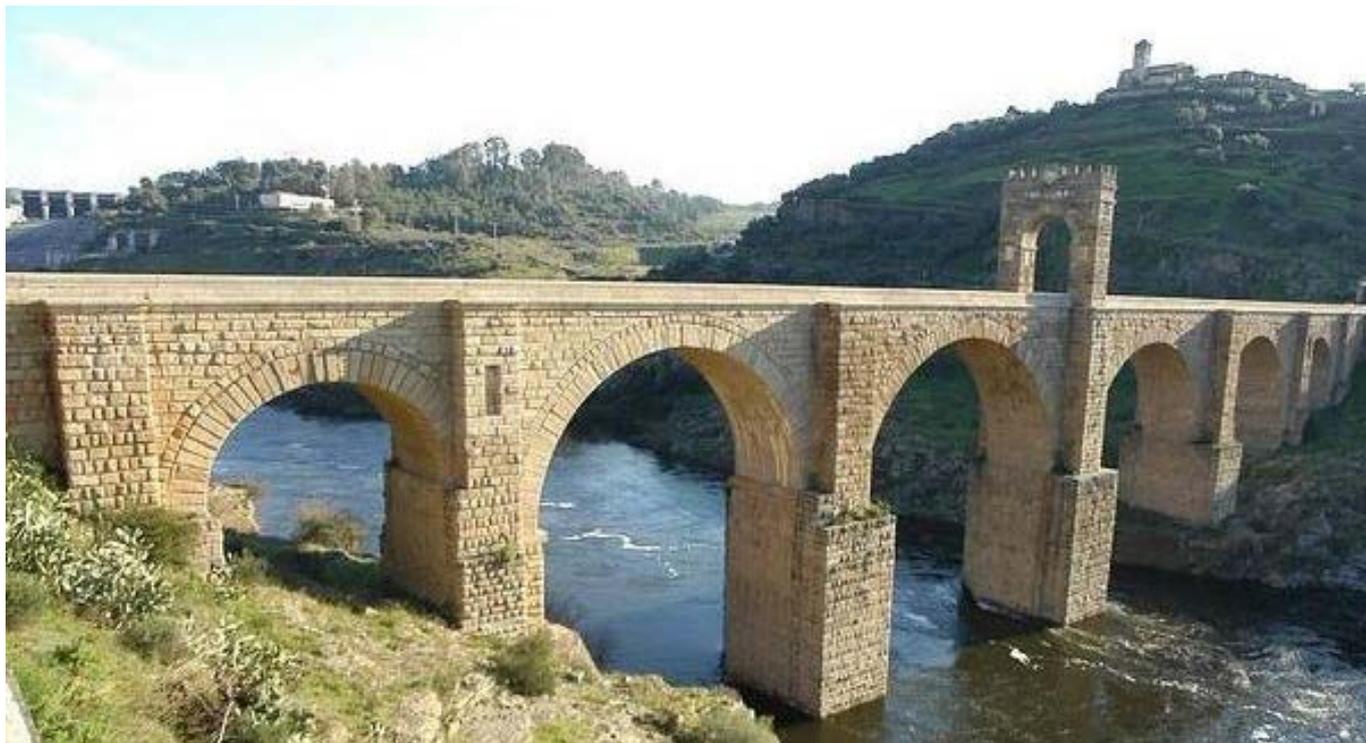


Figura 1. Puente romano de Alcántara.

etapa de Marco Ulpio Trajano, emperador hispano, al que se dedica el arco de triunfo sobre la pila central.

En el siglo XII los musulmanes lo rebautizaron con el nombre de *Al-Qantarat* "El puente". Durante la Reconquista, en el siglo XIII, el rey Alfonso IX de León tomó la villa de Alcántara en 1213. El puente quedó dañado, no se sabe si por acción cristiana o musulmana.

Entre los años 1532 y 1543, bajo el gobierno del emperador Carlos V se realizó la primera obra de restauración. Se reparó el primer arco de poniente, se limpió de añadidos defensivos medievales y se actuó sobre el arco de triunfo con la inserción del escudo imperial.

En 1707, durante la guerra de Sucesión, los portugueses intentaron volar sin éxito el segundo arco de la margen derecha, quedando importantes daños que fueron reparados bajo el mandato del rey Carlos III en 1778. En 1809, durante la invasión francesa, se atacó de nuevo este arco consiguiendo, en este caso, su destrucción, a fin de impedir el paso de las tropas napoleónicas. En 1818 se instala una estructura de madera en el lugar del arco demolido para recuperar de modo precario el paso sobre el río Tajo. Ésta es incendiada en 1836 por las tropas isabelinas para impedir el paso de los carlistas.

En 1860 fue definitivamente restaurado bajo el mandato de Isabel II, dirigido por el ingeniero Alejandro Millán. Fue rehecho el arco que había sido volado, se consolidó toda la fábrica de sillería, se reconstruyó el arco de triunfo central, se pavimentó la calzada y se erigieron los nuevos estribos laterales.

En 1969, consecuencia de la construcción del Embalse de Alcántara, se desvió el caudal del río a través de túneles excavados en la roca, quedando el lecho fluvial completamente seco. Se observó que una de las pilas estaba descalzándose, procediéndose a su restauración y recalce.

### 3.

#### ESTADO ACTUAL DEL PUENTE ROMANO

Casi dos mil años después de su construcción, el puente romano sigue prestando servicio. En los últimos 60 años está siendo utilizado por vehículos con más de 45 toneladas que transmiten vibraciones y cargas dinámicas a la estructura, lo que supone un serio problema para la persistencia del monumento histórico.

Existen una serie de patologías en el puente que justifican plenamente la necesidad de liberarlo de tráfico, para conservar este legado para generaciones venideras.

El granito de las dovelas se ha ido descomponiendo a lo largo de sus años de existencia consecuencia de la humedad que se filtra por la calzada a causa del mal drenaje y la posterior heladicidad del material.

El Arco de Triunfo central presenta una importante apertura en su clave, producida por las vibraciones del tráfico y deformaciones de la estructura. Estas vibraciones están acentuadas por el enlosado del puente que genera un pavimento muy irregular.

Existen notables grietas en los arcos, que denotan una degradación de la estructura por el exceso de peso del tráfico existente.

### 4.

#### CONDICIONANTES DE LA SOLUCIÓN

Además de la existencia del puente romano, existen otra serie de condicionantes que han influido considerablemente a la hora de realizar el proyecto y que son los siguientes:



Figura 2. Vista del puente romano, presa de Alcántara y nuevo puente proyectado.

#### **4.1. Parque natural del Tajo Internacional.**

Al oeste del actual puente romano se sitúa el Parque Natural del Tajo Internacional. El curso fluvial del río Tajo, que sirve de frontera natural entre España y Portugal, divide una zona de idénticas características entre ambos países.

El Tajo es a la vez el elemento común y nexo de unión de todo el territorio que se extiende linealmente a lo largo de más de 60 km. Esta singularidad hace que sea descartable cualquier opción de trazado aguas abajo del actual puente de Alcántara, pues entraríamos dentro del Parque Natural, por lo que restringe el nuevo trazado a la banda entre la presa y el puente.

#### **4.2. Presa de Alcántara.**

La presa de Alcántara está a 1000 metros aguas arriba del puente romano, siendo una presa de gravedad de hormigón que genera una importante pantalla visual. Evitando fatigar al visitante con tanto hormigón se buscan soluciones de estructuras más sutiles.

Desde el punto de vista del trazado de la nueva solución, es necesario considerar que cuando se producen desembalses de la presa se genera una nebulización que disminuye considerablemente la visibilidad y por tanto requiere alejar lo suficientemente el trazado. Asimismo esta presa tiene una importante repercusión en la laminación de avenidas y en el estudio hidráulico necesario para el diseño del puente.

#### **4.3. Integración con el puente romano.**

Es prioritario conseguir una solución estructural cuyas formas estén en perfecta armonía con el puente histórico sin

pretender robarle un ápice de su protagonismo, integrado asimismo en el entorno natural y encajado en el valle del Tajo.

Esta armonía del entorno es quizá lo más difícil de conseguir. En este sentido las soluciones en arco bien proporcionadas nos parecen sin duda las más adecuadas; buscando además en ellas las proporciones clásicas.

#### **4.4. Materiales.**

El manejo adecuado de los materiales a emplear en el puente es básico para conseguir su integración en el entorno, en este sentido el uso de hormigón lo vemos redundante y abusivo por la existencia de la presa de hormigón. Sin embargo, el uso de acero autopatinable está en diálogo perfecto con la pizarra existente, ya que ésta tiene una coloración rojiza precisamente debida a la oxidación natural de los sulfuros de hierro.

#### **4.5. Geotecnia.**

Desde el punto de vista geológico, la cerrada de Alcántara es un macizo rocoso de una formación cámbrica uniforme, constituida por filadidos y esquistos pizarreños subverticales, orientados WNW-ESE.

Geotécnicamente dispone de una alta capacidad portante, que permite plantear estructuras que transmitan cargas importantes a la cimentación como son los arcos clásicos de tablero superior, sin experimentar deformaciones significativas.

#### **4.6. Mínima afección durante la construcción.**

Se pretende que la afección al medio natural sea la mínima posible, tanto por la distorsión que establece en el paisaje como por la afección a la riqueza natural de la zona. En este sentido

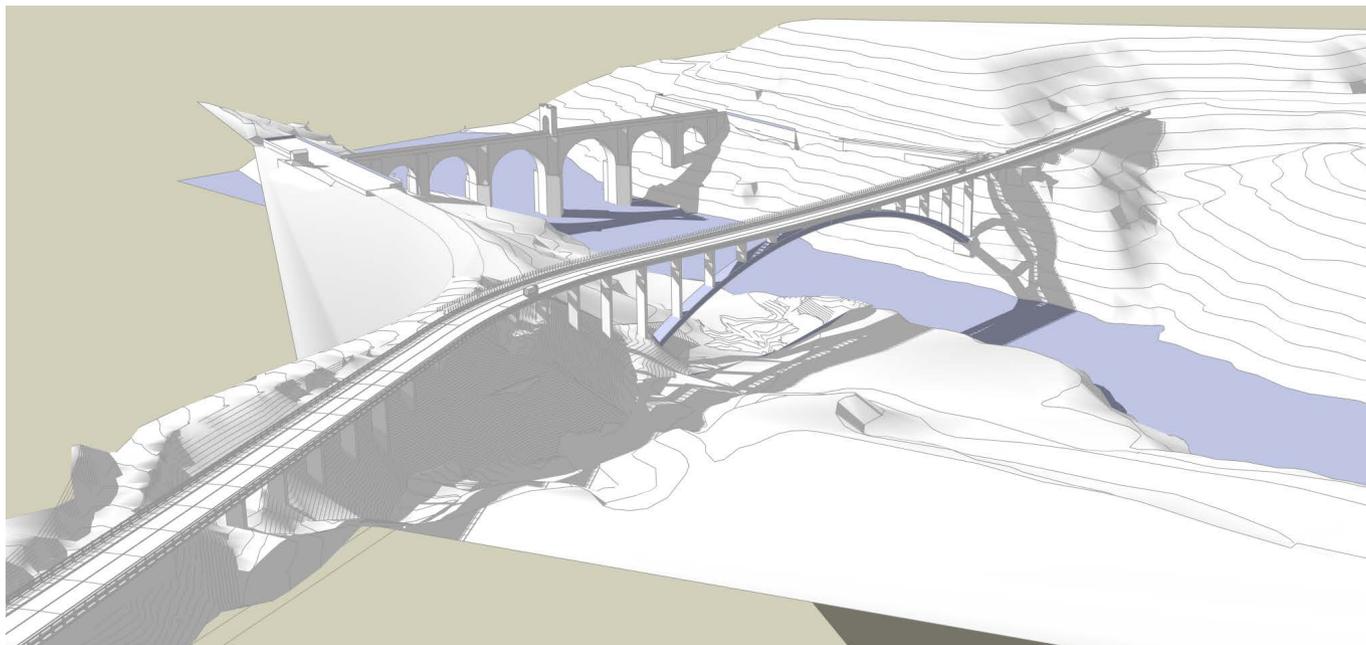


Figura 3. Infografía de la relación entre el puente romano y la nueva estructura.

las estructuras metálicas son más prefabricadas y se manejan medios más ligeros para su montaje.

#### 4.7. Circuito turístico de observación.

El puente romano de Alcántara es un monumento con un gran reclamo turístico, por lo que debe facilitarse su acceso peatonal y la observancia del mismo desde diferentes ángulos de visión, liberado de todo tráfico rodado. Para ello es necesario la creación de un circuito turístico peatonal que incluya los tramos de carretera actuales (que quedarán cerrados al tráfico rodado), el paso contemplativo obligado por el puente romano y cerrando el circuito el paso por el nuevo puente sobre el Tajo, desde donde se observarán perspectivas del puente romano hasta ahora desconocidas.

#### 4.8. Acceso a fincas colindantes.

Finalmente es necesario mantener el acceso a los propietarios de fincas cuyo único acceso es por la carretera actual y el puente romano.

## 5. SOLUCIÓN PROYECTADA

La nueva estructura proyectada tiene una longitud de 409.50 metros y está dividida en tres tramos; un primer tramo que denominamos el puente principal con una longitud de 267 metros compuesto por un arco de 180 metros de luz y 5 vanos de acompañamiento; un segundo tramo de 34.50 metros formado por muros de contención y que sirve de nexo a un tercer tramo o viaducto de acceso de 108 metros.

La construcción de un puente paralelo al antiguo puente romano de Alcántara supone un fuerte reto para los ingenie-

ros que sentimos el diseño de puentes como algo vocacional, no en vano, dos mil años de historia nos contemplan.

Después de pasar largas horas en el entorno del puente, considerando los condicionantes anteriores, se llegó a la conclusión de que un arco de tablero superior, encajado entre las dos laderas escarpadas del Tajo, es la solución más natural y coherente, creando una perspectiva armónica con el entorno y en perfecta simbiosis con el puente romano. Además disponemos de roca en ambos extremos que nos permiten concentrar fuertes reacciones en los arranque del arco.

Se ha buscado en el diseño del arco la naturalidad y la elegancia, la pureza formal alejada de todo barroquismo y afectación, dentro de un orden clásico contrastado en el diseño de arcos. Se ha buscado el minimalismo y la austeridad sin robar un ápice de protagonismo al puente romano.

El arco se diseña como estructura mixta de acero y hormigón (acero exterior y relleno interior de hormigón). El acero utilizado es acero de resistencia mejorada a la corrosión que adquiere una pátina de óxido que se integra perfectamente con el color de la oxidación férrica de las pizarras de la zona. El tablero es un cajón metálico del mismo tipo de acero, con importantes voladizos laterales.

## 6. PUENTE PRINCIPAL

El tablero sobre el arco está dividido en ocho vanos iguales de 18.00 metros entre pilas (vanos 2 a 9), excepto en la zona central donde arco y tablero se funden en un único elemento, dando así mayor rigidez al elemento estructural arco-tablero en una configuración tipo Maillart.

La unión del arco y el tablero en el tramo central, en una longitud de 36 m centrales, se consigue mediante un macizado de los dos recuadros centrales. La secuencia de pilas

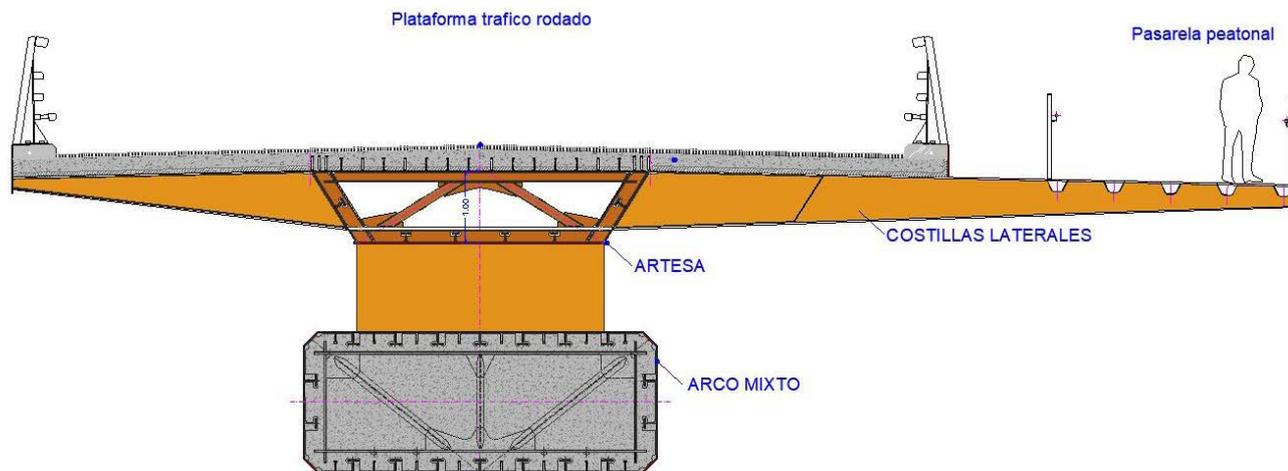


Figura 4. Sección por tablero con costillas transversales, pasarela adosada y arco.

sobre el arco sigue sensiblemente la regla clásica de vanos del tablero equivalentes al décimo de la luz del arco.

En el estribo de la margen derecha del río Tajo hay un vano adicional de 19.50 metros (vano 1) y en la margen izquierda se diseña un viaducto de aproximación con cuatro vanos, tres de ellos (vanos 10 a 12) con igual luz a la existente en los vanos sobre el arco, esto es, 18.00 m, y el cuarto (vano 13) con una luz de 13.50 metros. De esta manera los viaductos se entienden como continuación del tablero que descansa sobre el arco.

La plataforma del puente se compone por una calzada de 13.20 m de anchura para el tráfico rodado y por una pasarela peatonal de 3.50 m de ancho paralela a la calzada. La calzada está formada por dos carriles de 3.50 m de anchura y arcenes de 2.50 m, dejando 0.60 m en los bordes para el anclaje de los elementos de contención. La pasarela está físicamente separada de la calzada una anchura de 1.40 m y se apoya sobre las costillas transversales de la sección.

### 6.1. Arco.

El arco proyectado tiene una luz de 180 metros, con una flecha de 25.50 metros, con una relación flecha luz de 1/7.06 generando un arco básicamente rebajado de directriz parabólico, que se corresponde con el antifunicular de cargas permanentes.

El arco tiene una sección transversal rectangular, de 5.00 m de anchura y 2.00 m de canto, permaneciendo constante en todo su desarrollo. Las esquinas están achaflanadas para mejorar el comportamiento aeroelástico de la sección. La sección es mixta ya que el contorno exterior es de acero S-355 J2W autopatinable y el interior se hormigona una vez cerrado el arco con hormigón autocompactante de última generación.

Para disminuir el peso del arco en zonas donde el hormigón no es eficaz se disponen de tres aligeramientos circulares de poliestireno expandido de 1.20 metros de diámetro. Con estos aligeramientos se mejora el radio de giro de la sección (relación inercia/área) y por tanto se mejora el comportamiento estructural del arco, disminuyendo a la vez el peso propio.

Los espesores de las chapas del arco (alas y almas), varían desde 45 mm en las zonas de empotramiento en los extremos hasta 20 mm en las zonas menos solicitadas.

#### 6.1.1. Rigidización del arco.

Se ha dispuesto una rigidización interior dentro del arco, que es necesaria durante fases constructivas del puente, en la que sólo trabaja la sección metálica. Esta rigidización además de disminuir la abolladura de la chapa y el pandeo del elemento chapa + rigidizador, resiste las presiones del hormigón interior durante su vertido. Aproximadamente cada 3.00 metros se dispone de unos diafragmas transversales, unos de los cuales son abiertos y formados por perfiles laminados y otros son cerrados para crear tramos estancos para facilitar el hormigonado durante la construcción.

#### 6.1.2. Diafragma de apertura en clave.

En la zona de la clave se dispone igualmente dentro del arco de unos diafragmas longitudinales y transversales para facilitar la colocación de los gatos hidráulicos para realizar la apertura en la clave del arco durante el proceso constructivo.

#### 6.1.3. Hormigón autocompactante.

Interiormente el arco está relleno con un hormigón autocompactante tipo HA-40/AC-E3-V3-RB2-12-IIb, realizado con un cemento de bajo calor de hidratación CEM-II-LH y de retracción compensada, con una resistencia mecánica de 40 MPa y un tamaño máximo del árido de 12 mm. Se ha supuesto que el empuje del hormigón en las chapas del arco durante el hormigonado es igual a la presión hidrostática del mismo.

#### 6.1.4. Arranque del arco.

El arco está empotrado en las cimentaciones, el contacto entre el arco de acero y el plinto de cimentación se resuelve mediante una basa metálica donde se suelda todo el perímetro de arco en penetración completa, convenientemente rigidizada verticalmente.

Las dimensiones de la basa son 6000 x 3000 mm, con un sobreancho alrededor del perímetro de arco de 500 mm a cada lado de las chapas del arco (alas y almas), el espesor de la basa es de 70 mm.

Para coger los importantes momentos flectores que aparecen en el empotramiento, alternos de signo según la hipótesis de cálculo, se disponen unas barras roscadas de acero galvanizado de 63.5 mm de diámetro y de acero de 700 MPa de tensión de rotura, convenientemente ancladas en el hormigón.

## 6.2. Tablero.

El tablero tiene una anchura de 13.20 metros y está formado por una artesa metálica central de doble acción mixta materializando la plataforma del tráfico rodado con costillas laterales cada 3.00 metros y una pasarela lateral en losa ortótropa adosada al tablero que se va apoyando sobre estas costillas transversales.

De esta manera los tráfico rodados se separan claramente de los peatonales, permitiendo así una mayor comodidad y aislamiento para los peatones en el circuito establecido para la contemplación del puente romano de Alcántara.

### 6.2.1. Artesa metálica.

El tablero está compuesto por una artesa metálica de 1.00 m de canto, de acero autopatinable S-355 J2W. La anchura del ala inferior de la artesa es de 3.50 m y la superior es de 4.75 m. En la parte superior la artesa está abierta y dispone de dos alas longitudinales de 400 mm de anchura en la zona de centro de vano y 500 mm en la zona sobre pilas con espesores que varían entre 20 y 40 mm.

El ala inferior es de ancho constante de 4750 mm con espesor variable entre 15 y 25 mm. Dispone de cuatro rigidizadores longitudinales en toda su longitud de chapa armada.

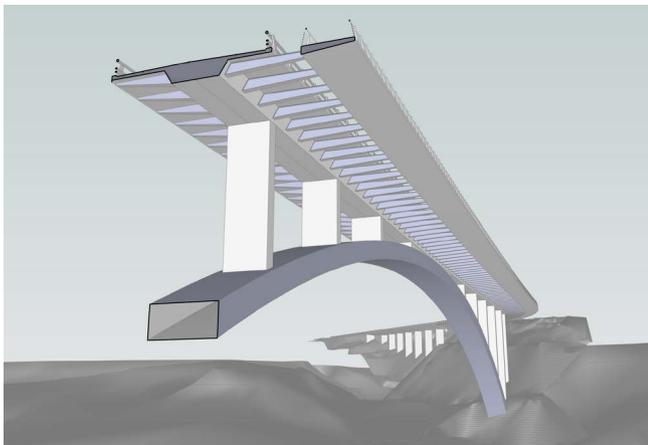


Figura 5. Sección por arco y tablero.

Las almas están inclinadas  $32^\circ$  respecto de la vertical y están rigidizadas longitudinalmente a lo largo de toda su longitud por un único rigidizador en el centro del alma de chapa armada, muy eficaz frente al cortante.

### 6.2.2. Costillas transversales.

Las costillas transversales materializan la anchura completa del tablero y de la pasarela peatonal. Son asimétricas, ya que la costilla derecha es más larga que la izquierda para permitir el apoyo sobre ella de la pasarela peatonal. Las costillas izquierdas tienen una longitud de 4.12 metros y las derechas aumentan hasta una longitud de 9.68 m. Tienen sección en doble T, de canto variable, con anchura constante del ala superior de 350 mm y variable en el ala inferior.

### 6.2.3. Doble acción mixta.

En los vanos del puente, en la zona de apoyo de pilas (tramo de flexión negativa) se proyecta una losa de hormigón HA-

50/F/20-IIb de 25 cm de espesor constante sobre la chapa inferior de la artesa, en una longitud de 4.25 metros a cada lado de la pila. Esta doble acción mixta disminuye considerablemente tanto el espesor de la chapa de fondo como el de su rigidización longitudinal y garantiza un comportamiento dúctil de la sección sobre pila.

### 6.2.4. Prelosas colaborantes y losa superior.

Para materializar el tablero se disponen prelosas colaborantes de hormigón armado de 6 cm de espesor con armadura superior en celosía, que sirven de encofrado para el vertido de la losa *in situ* y además colaboran eficazmente con ésta en la resistencia de la sección. Sobre las prelosas se dispone de una losa *in situ* de hormigón armado HA-35-F-20-IIa hasta completar un espesor medio de losa + prelosa de 27 cm.

### 6.2.5. Pasarela peatonal.

La pasarela peatonal adosada al tablero tiene una anchura de 3.50 metros y está compuesta por una chapa superior de 8 mm para el tránsito peatonal y cinco bulbos cerrados longitudinales de 158 mm de canto, 283 mm de anchura y 6 mm de espesor; conformando así un tablero ortótropo.

Este tablero ortótropo se va apoyando cada 3.00 metros en las costillas derechas, dando continuidad a los bulbos longitudinales que atraviesan el alma de las costillas.

## 6.3. Fusión arco-tablero.

En los 36.00 metros centrales del arco, equivalente a dos vanos centrales ( $2 \times 18.00$  m), se realiza una fusión entre el arco y la artesa del tablero. La unión entre la cara superior del arco y la cara inferior de la artesa del tablero se materializa mediante almas laterales de 15 mm de espesor que van variando su canto a lo largo de la unión. Mediante estas almas el tablero descansa verticalmente sobre el arco.

Esta solución mejora el comportamiento a pandeo tanto en el plano del arco como en el plano transversal y se conjugan las rigidices de arco y tablero, generando una estructura más rígida menos deformable.

## 6.4. Pilas sobre el arco.

Las pilas tienen una altura que oscila entre los 18.35 m de la pila P7 y los 4.33 m de la pila P4. La anchura de las pilas es de 3.50 m coincidiendo con la cara inferior de la artesa del tablero. Las pilas son metálicas de acero autopatinable S-355 J2G1W.

Las pilas sobre el arco presentan la particularidad de tener importantes momentos flectores en sentido longitudinal, tanto mayor cuanto menor es su longitud, por lo que ha sido necesario para su cálculo realizar una reducción importante de su ancho eficaz.

Todas las pilas están empotradas en el arco, por lo que es necesario materializar este empotramiento de la pila metálica en el arco mixto.

En el modelo de cálculo existe un empotramiento entre el tablero y las pilas (excepto en la pila P11), de tal forma que es necesario diseñar este nudo para que realmente tenga capacidad de materializar ese empotramiento, tanto a flexión como a torsión.

### 6.5. Cimentación del arco.

Las cimentaciones del arco se han resuelto mediante grandes macizos de hormigón armado HA-35 en cimentación directa, con una longitud de 14.00 metros en sentido transversal al puente. Estos plintos a pesar de recibir esfuerzos muy parecidos, son ligeramente diferentes por sus condicionantes topográficos principalmente.

Se ha proyectado un refuerzo mediante inyecciones del macizo rocoso en el contorno de la cimentación de ambos plintos de apoyo del arco, con el objetivo de la homogenización de la zona de apoyo, y el tratamiento de eventuales zonas de debilidad o fractura, tanto las preexistentes como aquellas que puedan inducirse por la relajación de tensiones o por el propio proceso de excavación.

### 6.6. Cimentación en vanos de aproximación.

La cimentación del tablero en las pilas de los vanos de aproximación al arco (pilas P9 a P11) es una cimentación directa sobre pizarra con zapatas de hormigón armado HA-30-B-20-IIa con un canto de 1.75 m y dimensiones de zapatas de 6.75 x 6.75 para la zapata mayor y 5.00 x 5.00 m la zapata menor.

## 7.

### VIADUCTO DE ACCESO

El viaducto de acceso tiene una longitud total de 108.00 metros, formado por dos vanos centrales de 30.00 m y dos vanos adyacentes de 24.00 m en los extremos. La relación de vano lateral frente al central es de 0.80 para mantener la ley de momentos flectores sensiblemente como una viga continua.

La anchura del tablero es de 13.20 m para albergar los dos carriles de tráfico rodado (2 x 3.50) y los arcones laterales (2 x 2.50), así como los espacios para colocar los pretilos laterales metálicos.

La estructura se diseña con la misma idea que el puente principal, esto es, con un tablero mixto de acero autopatinable en sección cajón cerrada apoyado sobre pilas mixtas. De esta manera, se entiende el viaducto como una continuidad de la estructura principal.

### 7.1. Tablero.

El tablero está formado por una artesa de acero autopatinable S-355 J2G1W, de un canto constante de 1.20 m, sobre las que se apoyan unas prelosas colaborantes prefabricadas de hormigón y que junto con la losa hormigonada in situ forman los 25 cm de la cabeza superior de la sección. La sección es totalmente simétrica.

La anchura del ala inferior es de 5.50 m y la superior es de 7.00 m. En la parte superior la artesa está abierta y dispone de dos alas longitudinales de 500 mm de anchura. En esta sección desaparecen las costillas transversales, sustituidas por unos voladizos en el hormigón de 3.10 metros.

Se proyectan unas prelosas colaborantes con la anchura completa del tablero de 13.20 y un canto de 8 cm en hormigón HA-45-F-20-IIa, blanco tintado en color ocre.

### 7.2. Pilas.

Las pilas proyectadas son de hormigón armado HA-35-B-20-IIb, pero estarán forradas con una chapa de acero autopatinable de 6 mm de espesor, que servirá como encofrado perdido para el vertido del hormigón y que le dará la coherencia con el puente del tramo principal. La anchura de las pilas será de 5.50 m coincidiendo con la base de la artesa y el canto de 1.00 m. Las alturas varían desde 7.30 a 11.44 m.

### 7.3. Cimentación de pilas.

Las pilas del viaducto están muy próximas a los muros de contención y a la ladera de la carretera actual, ya que en este tramo el viaducto discurre casi paralelo a la carretera, lo que hace sumamente complejo y peligroso hacer unas excavaciones al pie de la ladera.

La solución desarrollada consiste en ejecutar un camino de servicio que se apoya en la ladera de la carretera actual y que genera una plataforma tanto para poder acceder con la maquinaria como para poder ejecutar las cimentaciones.

En la explanada de ese camino se ejecuta un micropilote hasta empotrarse en la roca inferior, sobre esos micropilotes se ejecuta el encepado y a partir de aquí arranca la pila. Los micropilotes son de 225 mm de diámetro de perforación y 219 mm de diámetro nominal, con una armadura tubular interior de 127 mm de diámetro y 9 mm de espesor, con un empotramiento en roca de 7.00 metros.

## 8.

### PROCESO CONSTRUCTIVO

El montaje del arco metálico, por su singularidad, es la parte más compleja de la construcción de la estructura.

En primer lugar se montarán los semiarcos exclusivamente metálicos, para una vez cerrado el arco proceder al hormigonado de los mismos y posteriormente seguir con el montaje de pilas y tablero. El arco metálico se monta en dos mitades, una correspondiente a la margen derecha del río o semiarco derecho y la otra correspondiente a la margen izquierda o semiarco izquierdo (más próximo al municipio de Alcántara).

El semiarco izquierdo, al ser una zona perfectamente accesible para la grúa se montará sobre apeos, los cuales coincidirán en el eje de las pilas del tablero. Estos apeos son provisionales y una vez cerrado el arco y realizada la apertura de clave se eliminarán.

El semiarco derecho, al no poder disponerse apeos sobre el cauce habitual del río Tajo, es necesario realizar un avance en voladizo desde el lado derecho, disponiendo de una torre provisional de atirantamiento y cuatro parejas de tirantes provisionales.

Ejecutados los dos semiarcos, se procede a la apertura en clave y cierre posterior de la misma, recuperando así la anti-funicular de carga.

Posteriormente se define la secuencia de hormigonado del arco, concretando cada una de las fases de hormigonado. Hormigonado el arco, se procederá a la colocación de pilas y artesa metálica del tablero, para posteriormente colocar las prelosas y la losa in situ. Finalmente se dispondrá de las cargas muertas.

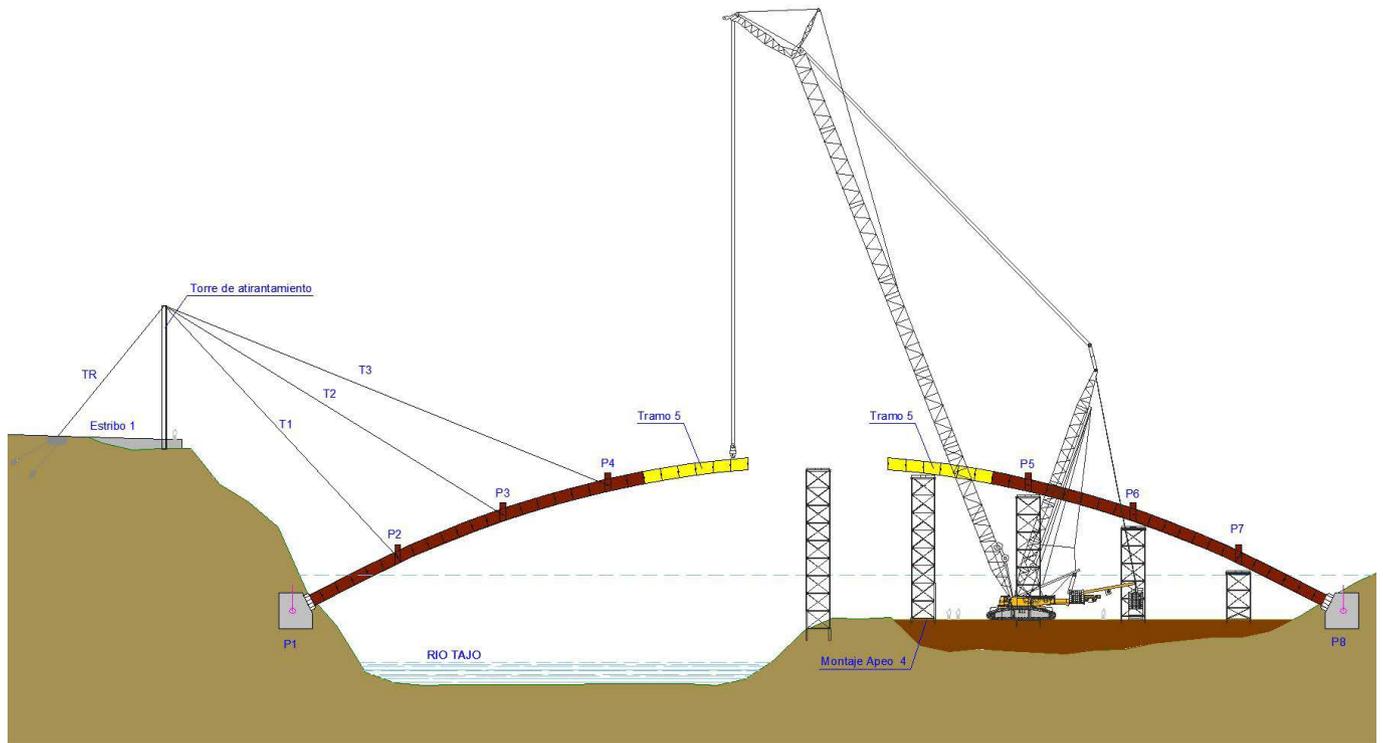


Figura 6. Planteamiento constructivo del arco.

## 9. COMPORTAMIENTO AEROELÁSTICO.

Se ha realizado un estudio del comportamiento del puente frente a fenómenos aeroelásticos, concluyendo que con el puente terminado no existen riesgos de inestabilidades.

Sin embargo en fases de construcción por avance en voladizo del semiarco derecho, si pueden presentarse fenómenos de desprendimientos de torbellinos a velocidades entorno a los 80 km/h; para lo cual durante el proceso constructivo el semiarco derecho queda anclado lateralmente mediante unos cables al terreno.

## Agradecimientos

El proyecto es promovido por la Dirección General de Movilidad e Infraestructuras viarias de la Junta de Extremadura. El ingeniero director del proyecto es D. Pedro Agustín Rodríguez Izquierdo del Servicio de Infraestructuras Vias. El proyecto ha sido redactado por ESTUDIO AIA, ARQUITECTOS E INGENIEROS ASOCIADOS S.A.