

Viaducto de acceso al nuevo puente de Alcántara en Cáceres.

Approach viaduct to the new Alcántara bridge in Cáceres.

Ramón Alfonso Sánchez de León ^a, Francisco Sánchez de León. ^b

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. ESTUDIO AIA. Director de Obra Civil. rsanchezdeleon@estudioaia.com

^bArquitecto. ESTUDIO AIA. Director de Arquitectura. fsanchezdeleon@estudioaia.com

RESUMEN

Dentro del nuevo puente en Alcántara (Cáceres) sobre el río Tajo que libera de tráfico rodado al Puente Romano de Alcántara, se construye un viaducto de acceso al puente arco principal. Este viaducto se diseña como una estructura mixta tanto en tablero como en pilas, resuelto en acero autopatinable en sintonía con el resto de la estructura y persiguiendo la integración en un entorno tan preciado.

ABSTRACT

Within the new bridge in Alcántara (Cáceres) over the Tagus River that releases the Roman Bridge of Alcántara from road traffic, an access viaduct is built to the main arch bridge. This viaduct is designed as a composited structure in both deck and piers, resolved in weathered steel in harmony with the rest of the structure and following integration in such a precious environment.

PALABRAS CLAVE: arco, acero, no linealidad, puente romano.

KEYWORDS: arch, steel, non-linearity, roman bridge.

1. Descripción de la estructura.

La Junta de Extremadura adjudicó por concurso público a ESTUDIO AIA el proyecto de un nuevo puente en la carretera comarcal EX-117 en Alcántara con la finalidad de planificar una alternativa viaria para el cruce de dicha carretera sobre el río Tajo dejando exclusivamente para tránsito peatonal y de servicio a fincas colindantes el Puente Romano de Alcántara. De esta manera se alivia al histórico puente de todo el tráfico pesado que hoy en día circula por él y que supone un grave riesgo para su conservación patrimonial.

El nuevo puente proyectado 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 m compuesto por un arco de 180 m de luz y 5 vanos de acompañamiento; un segundo tramo

de 34.50 m formado por muros de contención y que sirve de nexo a un tercer tramo o viaducto de acceso. Este último es el objeto de la presente ponencia.

Es necesario resaltar la responsabilidad que supone el diseño de un puente en un entorno tan delicado en el que se inscribe esta obra, por su proximidad nada más y nada menos que al puente romano de Alcántara; al que muchos ingenieros consideramos el puente más importante de los existentes en España.

Es por ello que, aunque el viaducto de acceso no es la parte más llamativa del nuevo puente en su conjunto, se ha pretendido una perfecta conjunción formal, de tal manera que se entiendan los tres tramos como una única estructura. Ese nexo de unión viene marcado precisamente por la utilización del mismo

material en todo el conjunto y la utilización de hormigones tintados de color ocre.

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

Entendemos que 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 un puente 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.

El 1 viaducto se resuelve con un tablero formado por una sección cajón cerrada no accesible, soportado por pilas mixtas de sección rectangular de iguales dimensiones que las pilas existentes sobre el arco principal. En la figura 1 se puede apreciar una infografía del dialogo entre el puente romano, puente principal y viaducto de acceso.

Es de resaltar que, si bien el viaducto no es visible para un viandante situado sobre el puente romano, no por ello se ha postergado su mimo en el diseño.

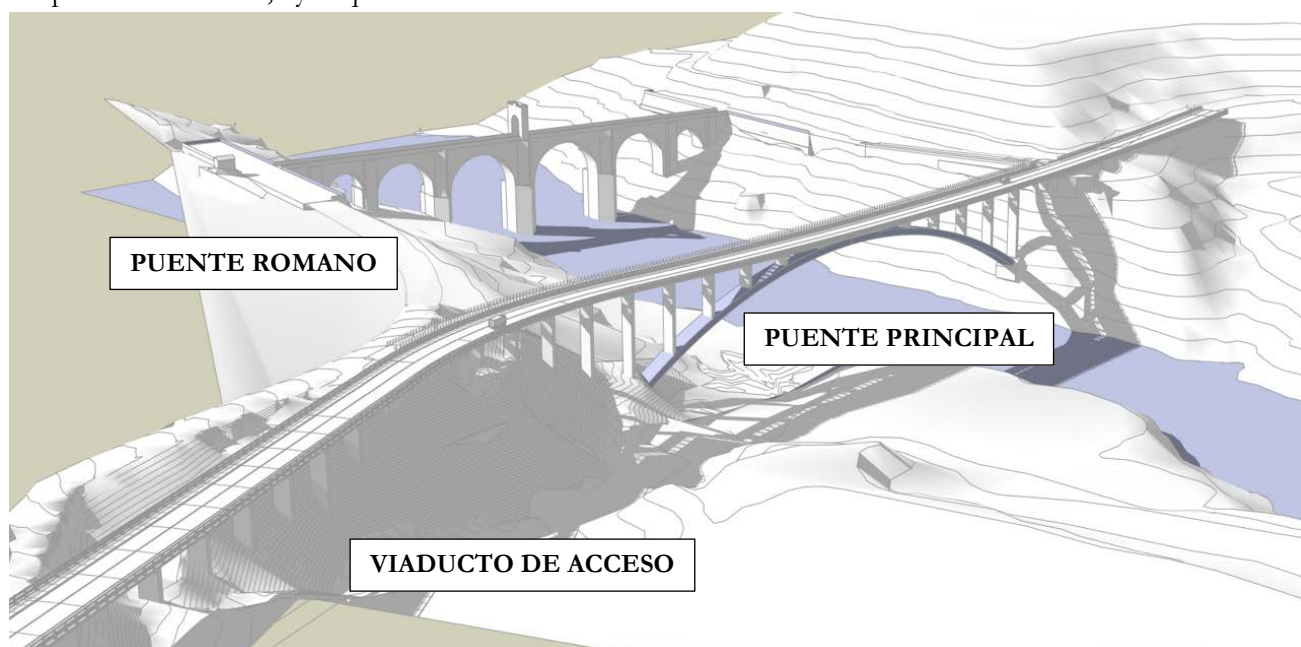


Figura 1. Ubicación del viaducto de acceso en el Nuevo Puente de Alcántara.

El viaducto de acceso tiene una longitud total de 108.00 m, es un puente continuo sin juntas, 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 a lo largo de todo el puente.

La anchura del tablero es de 13.20 m para albergar los dos carriles de tráfico rodado (2x3.50) y los arcenes laterales (2x2.50 m), así como los espacios para colocar los pretilas laterales de contención de vehículos.

Veamos cada uno de los elementos que componen la estructura, para una mejor comprensión de la misma.

1.1 Artesa metálica.

El tablero está formado por una artesa de acero autopatinable (corten) S355 J2W, 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. La parte superior la artesa está abierta y dispone de dos alas longitudinales de 500 mm de anchura constantes en toda su longitud.

La artesa metálica dispone de marcos de rigidización transversal cada 3.00 m con diagonales HEB160 para rigidizar el marco frente a la distorsión. Se proyecta una rigidización del alma, disponiendo un rigidizador longitudinal en el centro del alma, muy eficaz para el cortante. En la chapa del fondo se

disponen de 6 rigidizadores longitudinales continuos en toda la longitud.

En la zona de apoyos, en una longitud de 9.00 metros a cada lado del eje de la pila, la sección es de doble acción mixta, esto es, está hormigonada la losa de fondo del tablero con un espesor de 25 cm, con lo que se consigue un considerable ahorro del acero en la zona de momentos negativos; además de mejorar considerablemente la resistencia y ductilidad de la sección.

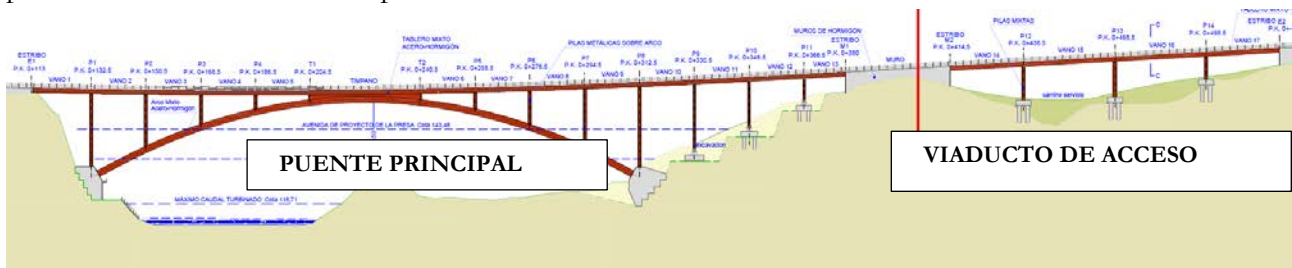


Figura 2. Puente principal y viaducto de acceso.

Las ventajas en la elección de este tablero son las siguientes:

- Similitud con el tablero sobre el arco del puente principal, manteniendo, formas y materiales, dotando así de una homogeneidad a la estructura en su conjunto y mostrando entre ellas una interconexión formal, propia del entorno en el que nos encontramos.
- Facilidad de montajes de las artesas metálicas por su reducido peso. Este montaje se realiza con la grúa de gran tonelaje utilizada para el montaje del puente principal.

- Limpieza de la solución adoptada con mínima afección medioambiental, al ser todos elementos prefabricados, excepto la losa del tablero.

- Ahorro de plazos al ejecutarse en taller los elementos metálicos mientras en obra se avanza con las cimentaciones, estribos y pilas.

- Adaptación del montaje en obra a plazos cortos por los tiempos prescritos por la Declaración de Impacto Ambiental, al estar en las proximidades del Parque Natural del Tajo Internacional por nidificación de aves.

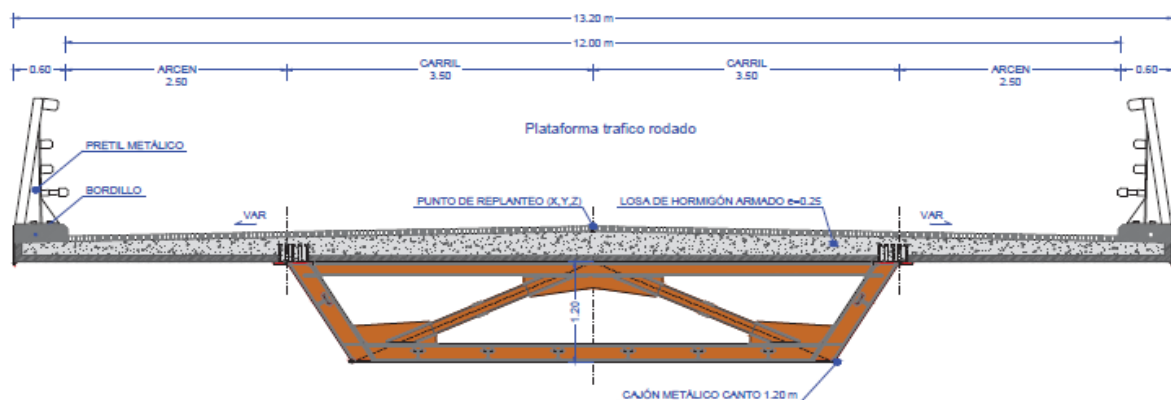


Figura 3. Sección transversal del viaducto de acceso.



Figura 4. Fabricación de tablero en taller metálico.

Llegados a este punto queremos hacer una reflexión de una zona crítica que consideramos en el diseño de este tipo de viaductos continuos de doble acción mixta y es en la sección donde finaliza la losa de hormigón del ala inferior, aproximadamente en el cuarto de la luz del vano.

Aquí pueden aparecer momentos negativos debidos a sobrecargas de tráfico que condicionan el diseño de la chapa del ala inferior, siendo necesario considerar la inestabilidad de chapas al haber desaparecido la losa de hormigón. Esto es especialmente delicado al final de la vida útil del puente, donde se considera que ha habido una reducción de espesor de la chapa por oxidación del acero autopatinable.

En el tablero sobre las pilas se disponen diafragmas cerrados de chapa, para el apoyo del tablero sobre los neoprenos separados 4.50 m entre ellos. La rigidización del diafragma está proyectada para poder levantar en un futuro el tablero con gatos hidráulicos y sustituir los apoyos de neopreno.

En los estribos, tanto en el M2 como en el E2, se diseñan diafragmas cerrados metálicos, con una anchura de 16.20 m. Esta anchura es necesaria para separar los apoyos de neopreno 12.00 mts y así evitar el levantamiento del tablero en algunas hipótesis de cálculo (situación muy común en los vanos extremos).

La conexión del tablero con la losa superior se realiza mediante pernos conectadores tipo “stud” $\phi 22$, que se agrupan

para permitir el paso de la armadura inferior de las prelosas. La conexión en la zona de doble acción mixta se realiza igualmente con este tipo de conectadores, buscando la ausencia de abolladura del ala inferior. Los diafragmas de pilas y estribo se conectan igualmente a la losa superior.

1.2 Prelosas colaborantes y losa.

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/12/XC3, blanco tintado en color ocre. La prelosa está dividida en tres tramos y está armada con celosías transversales, dejando un hueco para el apoyo en el ala de la artesa metálica.

El tintado de las prelosas es un ejemplo del cuidado que se ha puesto en la ejecución de este puente. Condiciona claramente el coste de estos elementos, ya que se sale de la rutina de las plantas de prefabricación, pero estéticamente se mimetiza a la perfección con el acero corten.

El uso de hormigones tintados es una práctica habitual en ciudades patrimonio de la humanidad, como es el caso de Toledo, donde reside nuestra oficina y donde lo hemos aplicado con éxito en diversas obras.

La anchura de las prelosas es de 2.00 metros para poderse transportar sin necesidad de permisos adicionales y terminan en sus extremos en una tabica de remate de borde de la losa. Para garantizar el rasante entre losa y prelosa la superficie de ésta en contacto con el hormigón fresco es rugosa.

Las juntas entre prelosas se sellan por la parte interior para evitar la salida de lechada por la junta entre prelosas. Sobre las prelosas se dispone de una losa “in situ” de hormigón armado HA/35/F/20/XC4 hasta completar un espesor medio de losa + prelosa de 31.70 cms.

La losa está simplemente armada, por lo que en el cálculo se ha limitado su apertura de fisuras frente a esfuerzos de carga muerta y

sobrecarga. De hecho, el comportamiento no lineal del cálculo de este viaducto viene condicionado precisamente por la fisuración de la losa, reflejando con suficiente aproximación el fenómeno de tensión-stiffening que reduce los momentos sobre pilas y los incrementa en cabeza de pilas. El cálculo elástico considerando sección fisurada en un 15% de la luz del vano da valores muy aproximados a considerar un cálculo no lineal debido a la fisuración de la losa en la zona de apoyo en pilas.

1.3 Pilas.

Las pilas proyectadas son de hormigón armado HA/30/B/20/XC2, pero estarán forradas con una chapa de acero autopatinable de 5 mm de espesor, que sirve como encofrado perdido para el vertido del hormigón y que le da la coherencia con el puente del tramo principal, todo en acero corten. La anchura de las pilas es 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.

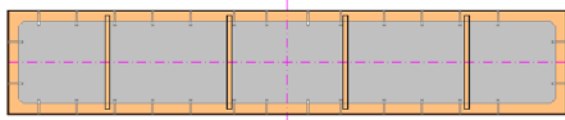


Figura 5. Sección transversal de pila mixta.

Esta piel exterior de acero está rigidizada interiormente con rigidizadores perimetrales cada metro de altura y verticales cada 50 cm, que sirven tanto para dar rigidez al elemento como para absorber los empujes del hormigón fresco durante el procedimiento de hormigonado en tongadas máximas de 3,00 mts. El empuje hidrostático del hormigón se ha considerado como el de un fluido con una densidad de 24 kN/m³.

La rigidización de las pilas se ha calculado para que no aparezcan deformaciones excesivas en las chapas durante el hormigonado con autocompactante que puedan dar un mal aspecto, para ello se ha elaborado un modelo MEF para ver dichas deformaciones, cuyo deformación en escala exagerada se muestra en

los tres primeros metros de hormigonado en la figura 6.

Una dificultad que aparece en obra debido a este tipo de diseño de las pilas, es la interferencia que se produce entre la rigidización interior de las pilas y el armado longitudinal y transversal del hormigón interior.

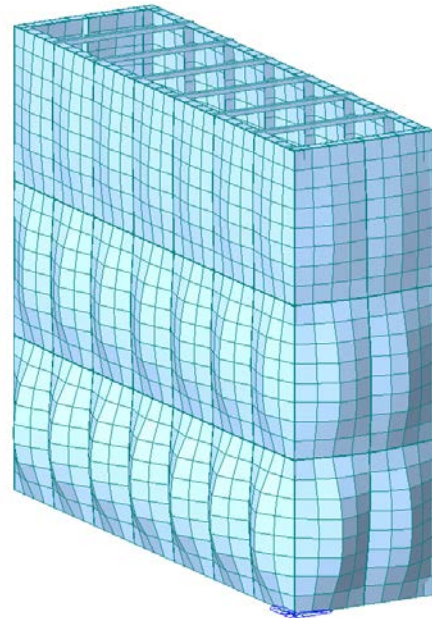


Figura 6. Deformación obtenida por MEF al verter hormigón en pila mixta. Escala 1:20

En la figura 7 puede apreciarse la secuencia de pilas de acero con su diseño minimalista en consonancia con las pilas dispuestas sobre el arco del puente principal y al fondo el estribo de hormigón tintado en color ocre.



Figura 7 Aspecto de pilas y el estribo final

1.4 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 figura 8 aparece en color verde oscuro el macizo rocoso con su fuerte pendiente transversal, mientras que en amarillo se muestra el pedraplén ejecutado en la obra procedente de las excavaciones de los plintos del arco principal para materializar el camino de servicio.

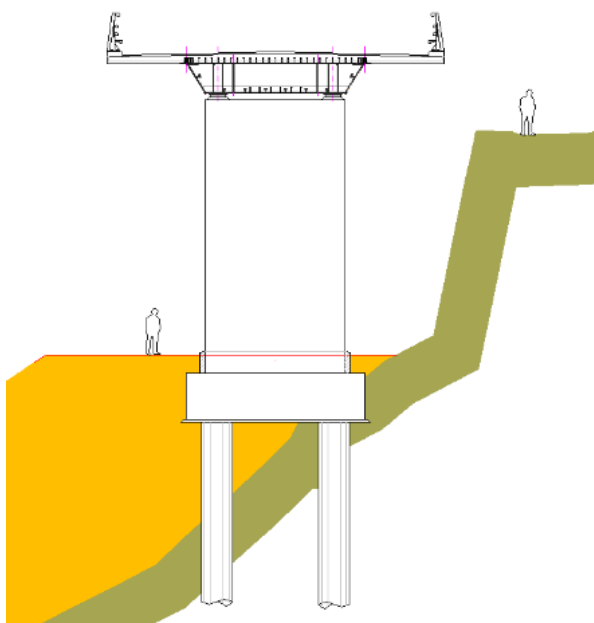


Figura 8 Sección viaducto, pila y cimentación pilotada a media ladera.

Con la maquinaria colocada en la explanada de ese camino se ejecuta un pilotaje hasta empotrarse en la roca inferior; sobre esos pilotes se ejecuta el encepado y a partir de aquí arranca la pila. En el dimensionamiento de los pilotes se han considerado los esfuerzos tangenciales por posibles deslizamientos del

pedraplén apoyado sobre la ladera rocosa, así como el rozamiento negativo del pedraplén.

Se disponen 4 pilotes de 1.20 m de diámetro de hormigón armado, empotrados en las pizarras sanas. El encepado tiene unas dimensiones de 7.00 x 5.00 m en planta y un canto de 1.80 m.

Para evitar el contacto del forro de acero de las pilas con el terraplén del camino de cimentaciones, se rodea en la base de las pilas todo el acero mediante un recubrimiento perimetral de 10 cm de hormigón que proteja frente a la corrosión.

1.5 Estribo M2.

El estribo M2 se solventa como un muro de contención de tierras de hormigón HA/35/B/20/XC2 de color blanco tintado en color ocre, de una anchura de 13.60 metros. El estribo está pilotado en seis pilotes de 0.85 m de diámetro separados 2.80 m en sentido longitudinal y 6.00 m en sentido transversal, empotrados en pizarra sana, con un encepado de 1.25 m de canto.

En el flanco derecho del estribo se realiza una pequeña aleta en vuelta, para su contacto con la calzada actual; mientras que el flanco izquierdo tiene adosado un muro de contención que lo conecta con el estribo M1 del puente principal.

Para la ejecución del estribo es necesario apoyarnos sobre el camino de servicio que servirá de plataforma de trabajo y que quedará de forma permanente. Al igual que el resto de los estribos el trasdós está impermeabilizado y dispone de un sistema de drenaje con material filtrante y tubo de PVC de evacuación.

1.6 Estribo E2.

El estribo E2 se ejecuta a media ladera sobre roca pizarra sana y con una pendiente suave, lo que nos permite proyectar un estribo en cimentación directa. El estribo está muy próximo a la carretera actual, realmente es donde

se produce la tangencia entre el trazado variante y la carretera actual.

Debido a la altura del estribo y la situación a media madera se realiza una cimentación escalonada con dos niveles de cimentación. La zapata superior e inferior están conectadas por hormigón en masa.

El muro de contención de tierras es de hormigón armado HA/35/B/20/XC4 de color blanco tintado en color ocre, de una anchura de 13.40 metros.

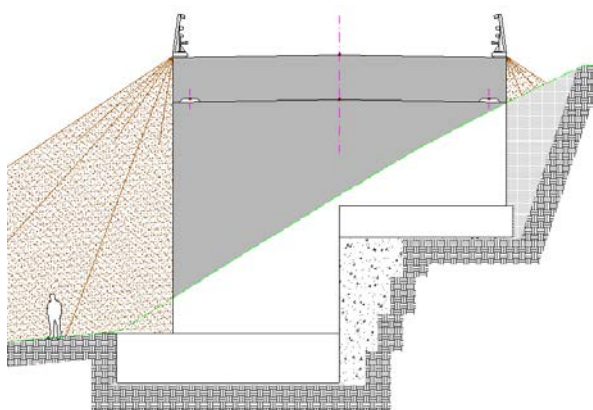


Figura 9. Sección del estribo E2 cimentado en roca escalonadamente.

El estribo tiene una aleta lateral derecha reducida que lo conecta con la carretera actual, mientras que en el flanco izquierdo se proyecta una importante aleta debido a la altura y por tanto al vertido de tierras lateral.

Al igual que el resto de los estribos el trasdós está impermeabilizado y dispone de un sistema de drenaje con material filtrante y tuvo de PVC de evacuación.

1.7 Apoyos y juntas de dilatación.

En los dos estribos se han dispuesto juntas de neopreno tipo JNA-80 de un movimiento máximo permitido de ± 40 mm en expansión y contracción.

Las pilas se apoyan sobre dos neoprenos zunchados de 600x700x90 mm separados entre sí 4.50 metros y en los estribos, tanto en M-2 como en E-2, se disponen dos neoprenos de 350x450x96 mm separados entre sí 12.00 metros.

2. Proceso constructivo.

El viaducto de acceso no presenta especial dificultad en su construcción, una vez que se ha ejecutado el camino de acceso paralelo a la traza, siendo su construcción convencional con montaje de grúa.

Todas las operaciones se realizan desde la plataforma de trabajo que sirve para la construcción tanto del puente principal como del viaducto de acceso y que constituyen la playa donde se van acopiando los tramos metálicos que llegan desde el taller. Sobre esta plataforma se mueve la grúa de cadenas de gran tonelaje, clave para toda la construcción del puente.

El cajón metálico es utilizado como estructura resistente en fases intermedias de la construcción, con poco peso para su izado. El control de deformaciones es prácticamente perfecto, con las consiguientes correcciones térmicas, lo que garantiza un buen acabado de la obra, con las contraflechas previamente definidas en el montaje y aplicadas en el taller.

Lógicamente en el análisis estructural se ha tenido en cuenta esta secuencia evolutiva de la construcción, condicionando principalmente los espesores del ala superior, al no disponer aún de la losa superior

Se montan primero los tramos metálicos a los que se les da continuidad con soldadura, el puente ha sido calculado sin apeos intermedios entre las pilas. Posteriormente se procede al hormigonado de la losa de fondo en las secciones sobre pilas de doble acción mixta.

A continuación, se colocan las prelosas prefabricadas de la losa superior, ferrallado de la losa y hormigonado “in situ” posterior; para finalmente extender la carga muerta de pavimento y pretilas. Toda la construcción se realizará con la misma grúa autopropulsada que se ha necesitado para el montaje del arco principal.

Durante la construcción se ha puesto especial énfasis en una correcta impermeabilización del tablero y un adecuado recubrimiento de las armaduras superiores de la

losa, de cara a minimizar los riesgos por corrosión por fisuración de la losa superior.

3. Conclusiones finales.

Desde nuestra oficina se ha cuidado especialmente el diseño de este viaducto desde el punto de vista formal, conscientes del lugar privilegiado en el que se encuentra. Dotándolo de una uniformidad con el arco singular al que se conecta y estableciendo todo el nuevo conjunto estructural una simbiosis con el puente romano de Alcántara.

Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la construcción de este puente.

El proyecto ha sido promovido por la Dirección General de Movilidad e Infraestructuras viarias de la Junta de Extremadura. El ingeniero de caminos Director del Proyecto y de la Obra ha sido D. Pedro Agustín Rodríguez Izquierdo del Servicio de Infraestructuras Viarias.

El proyecto ha sido redactado por ESTUDIO AIA, ARQUITECTOS E INGENIEROS ASOCIADOS S.A, siendo su autor D. Ramón Alfonso Sánchez de León.

La empresa constructora ha sido una UTE formada por la empresas ROVER, SENPA y PLACONSA, siendo el jefe de Obra D. Rubén Mateos Morillo. El taller encargado de la ejecución de la estructura metálica ha sido HORTA COSLADA.

La Asistencia Técnica a la Dirección de Obra ha sido realizada por la empresa INPROESA.