

# AMPLIACIÓN DEL VIADUCTO DEL PINTOR FIERROS (ARCO DE LA REGENTA)

**Marcos J. PANTALEÓN PRIETO**

Dr. Ingeniero de Caminos

APIA XXI S.A

Presidente

mjpanta@apiaxxi.es

**Óscar Ramón RAMOS GUTIÉRREZ**

Ingeniero de Caminos

APIA XXI S.A.

Jefe Departamento Estructuras I+D

oramos@apiaxxi.es

**José Manuel MARTÍNEZ GARCÍA**

Ingeniero de Caminos

APIA XXI S.A.

Departamento Estructuras I+D

jmmartinez@apiaxxi.es

## Resumen

La ampliación del tablero del viaducto del Pintor Fierros, desde una anchura de 12 hasta 22 m, ha supuesto la continuación y conclusión del trabajo realizado hace ya más de diez años en el proyecto y construcción del Arco de la Regenta (Premio Internacional Puente de Alcántara). La ampliación del tablero está soportada en su totalidad por voladizos metálicos de 7.75 m de longitud que sirven de soporte a la nueva losa de hormigón. Igualmente, se ha construido una pequeña viga-cajón mixta longitudinal en el borde del tablero, soldada al extremo de los voladizos metálicos, que contribuye a mejorar la respuesta del tablero frente a cargas excéntricas. La ampliación se ha realizado manteniendo abierto el tráfico sobre la estructura en todo momento.

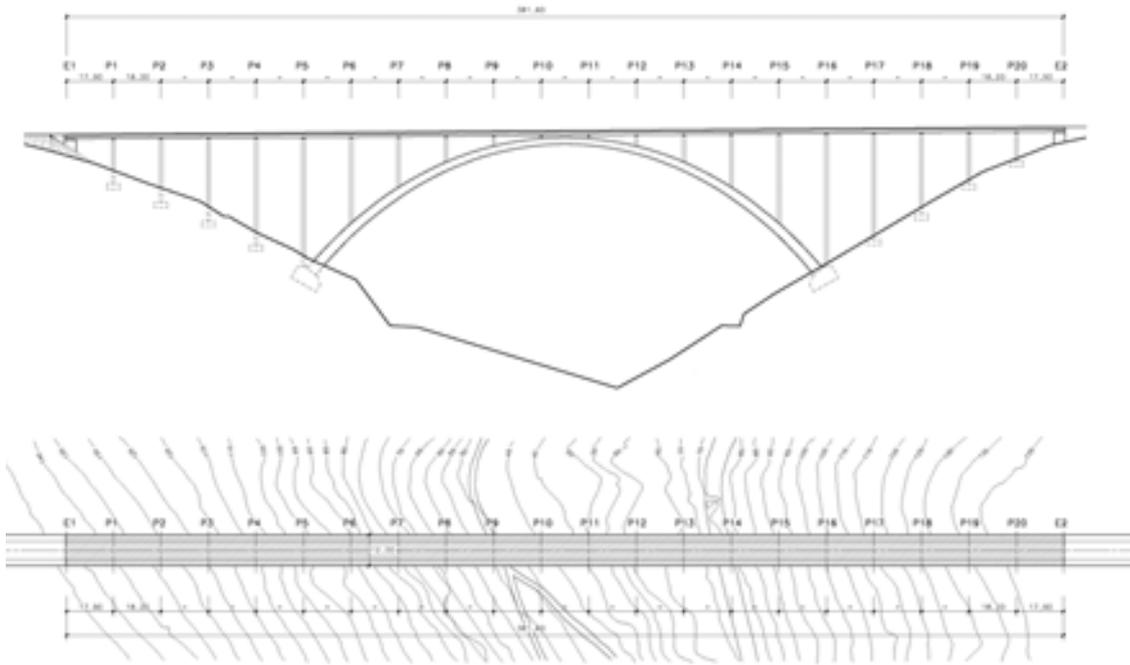
**Palabras Clave:** Arco, ampliación, tablero mixto, voladizos metálicos.

## 1. Introducción

El viaducto Pintor Fierros, construido hace ya más de una década y Premio Internacional Puente de Alcántara, salva el valle del río Cabo (Asturias) con un arco de hormigón armado de 194.0 m de luz y una flecha de 50.375 m. La longitud total del puente es de 381.6 m, divididos en 19 vanos de 18.2 m y dos vanos extremos de 17.9 m cada uno. La máxima altura de pila de los viaductos de acceso es de 51.13 m y la máxima altura de la rasante sobre el valle ronda los 100.0 m.

Dadas las peculiaridades de esta estructura, y previendo las necesidades de la futura autovía, ya se concibió el arco para ser capaz de soportar esta posterior ampliación de la calzada. De esta forma, se optó por una tipología de tablero formada por una sección mixta acero-hormigón, con una viga metálica en I de 6.50 m de anchura, canto máximo en el eje de 1.400 m y canto de 1.185 en los extremos. La losa superior tenía canto mínimo de 0.250 m en el centro de la sección y canto de 0.400 m en el extremo del cajón. Los voladizos de hormigón arrancaban con canto de 0.400 m y 0.250 en el extremo, y tenían una longitud de 2.750 m. De esta forma se materializaba una anchura total de 12 m, que alojaban en su momento 2 carriles de circulación. El tablero está rigidizado cada 4.550 m por marcos cerrados, que en las secciones de pilas y estribo se convierten en los correspondientes diafragmas de apoyo.

Antes de proceder a la ampliación del tablero se realizó una extensa campaña de inspección de la estructura actual, comprobando el correcto estado de cada uno de sus elementos.



*Fig. 1 Alzado y planta del viaducto original*



*Fig. 2 Viaducto antes de la ampliación*



Fig. 3 y 4 Trabajos de inspección exterior e interior

## 2. Descripción de la ampliación

Se ha ampliado la sección transversal del tablero del viaducto a una anchura total de 22.0 m (4 carriles de circulación de 3.50 m de anchura, arcenes de 2.50 m y mediana de 3.00 m). Con el fin de minimizar la afección a la estructura existente y rebajar tanto el coste directo de la ampliación como el plazo necesario para ejecutarla se ha mantenido invariable la anchura de la viga metálica en 6.50 m. De esta forma, la ampliación está soportada en su totalidad por la colocación de unos voladizos metálicos que sirven de soporte a la nueva losa. Estos voladizos, con una longitud de 7.75 m, se han dispuesto en las secciones del tablero donde ya existen marcos cerrados, y soldados a las almas laterales de la viga metálica. Igualmente, se ha construido una viga-cajón metálica longitudinal en el borde del tablero, soldada al extremo de los voladizos metálicos. Esta viga, de 0.500 m de anchura y 0.300 m de canto, posteriormente queda solidarizada con la losa de hormigón, materializándose una viga mixta que contribuye a mejorar la respuesta del tablero frente a cargas excéntricas.

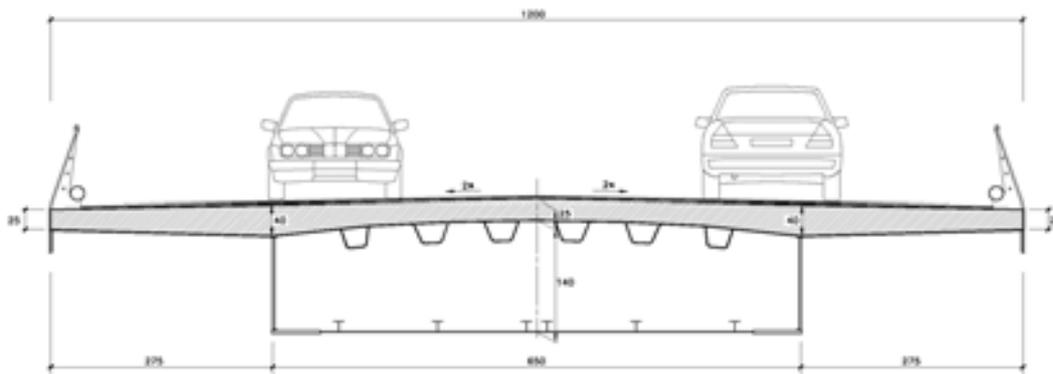


Fig. 5 Sección tipo antes de la ampliación

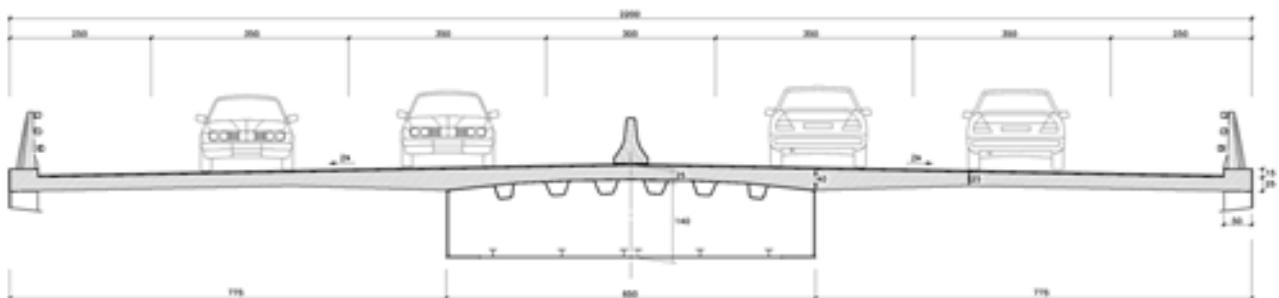


Fig. 6 Sección tipo ampliada

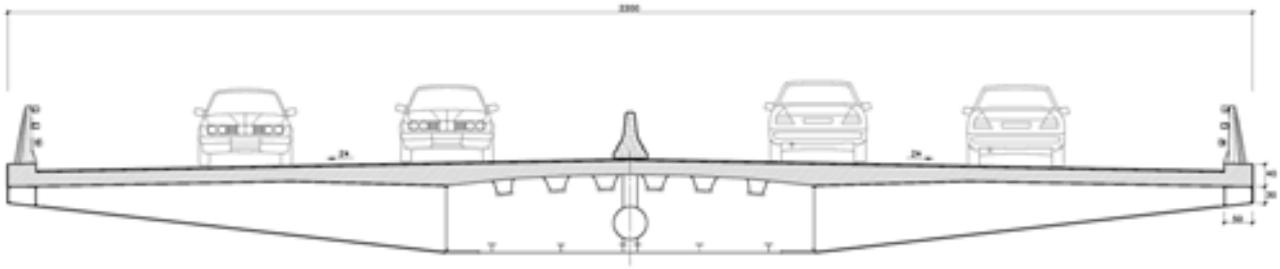


Fig. 7 Sección por marco tipo ampliado

### 3. Proceso constructivo

El proceso constructivo se inició con la realización de las tareas previas, como son las de construcción de la ampliación de los estribos y macizado del tablero en zona de estribos (para evitar el despegue o reptado de los aparatos de apoyo en los estribos).

Hay que destacar que el proceso constructivo de la ampliación se ha llevado a cabo manteniendo abierto el tráfico en todo momento. Se habilitaron para ello dos carriles de circulación por la parte central del tablero, con una anchura de calzada de 6.00 m.

Los trabajos de ampliación del tablero se iniciaron con la hidrodemolición del hormigón de los voladizos en una longitud de 1.00 m a cada lado, necesarios para solapar adecuadamente la armadura de la losa existente con la de la nueva. El proceso de hidrodemolición permite obtener un borde "limpio" de la losa de hormigón, quedando las armaduras transversales existentes en perfecto estado para su solapo.



Fig. 8 Aspecto de la ferralla tras la hidrodemolición

Posteriormente se procedió a instalar el carro para la colocación de la estructura metálica y el hormigonado de la losa. Dicho carro se sustenta mediante tres pares de patas que se apoyan sobre dos carriles, cuya función es la de repartir las cargas para evitar problemas de punzonamiento en la losa superior existente del tablero. Estos carriles se colocan en sentido longitudinal, con una separación entre ellos de 9.00 m, quedando su posición, en planta, ligeramente por fuera de las almas de las vigas metálicas, y permitiendo el tráfico por la parte central del tablero.

Los tres pares de apoyo del carro están separados longitudinalmente 4.55 m (que es la separación entre marcos) con lo que distancia entre las patas extremas es de 9.10 m. La carga total transmitida por el carro es del orden de 1500 kN.



*Fig. 9 Carro para colocación de estructura metálica y hormigonado*

El proceso de soldado de los nuevos voladizos metálicos y viga de borde al tablero existente se realizó de forma simultánea al hormigonado de la losa, en ciclos de 2 días, según la siguiente secuencia:

- El carro se coloca en posición (de los tres pares de apoyos que tiene, el trasero queda situado en el último voladizo colocado en la fase anterior)
- En el primer día del ciclo se presentan y se sueldan 2 voladizos metálicos a cada lado del tablero, y el correspondiente tramo de viga de borde. Posteriormente se realizan los ensayos no destructivos de las soldaduras.
- El segundo día del ciclo se procede a ferrallar y hormigonar los 9.10 m de losa a cada lado del tablero, con el propio sistema porta-encofrados del carro.

En el primer día del nuevo ciclo, y antes de trasladar el carro, se debe asegurar una resistencia del hormigón de 20 N/mm<sup>2</sup> en el momento de desencofrado, y al menos 16 horas de curado.

El hormigonado de los siguientes módulos de losa se realiza ya desde la propia losa hormigonada con anterioridad, garantizando una resistencia media superior a 25 N/mm<sup>2</sup>.



*Fig. 10 y 11 Colocación de voladizos metálicos y encofrado de la losa*



*Fig. 12 y 13 Vista inferior del tablero ampliado*



*Fig. 14 Prueba de carga del viaducto*

## 4. Análisis estructural

Se ha realizado un extenso análisis resistente de todo el viaducto, de acuerdo con las normativas actuales.

### 4.1 Subestructura

Para la determinación de esfuerzos globales en la estructura se han realizado dos tipos de modelos:

- Modelos 2D de simulación del proceso constructivo. Estos modelos permiten conocer la influencia del proceso constructivo en el reparto de esfuerzos de peso propio y carga permanente, así como calcular su evolución en el tiempo y su interacción con la fluencia y retracción del hormigón.

- Modelo 3D para la inclusión de todas las cargas y sobrecargas. Este modelo permite obtener las envolventes de esfuerzos por sobrecargas y combinarlas.

Como fase previa al trabajo de cálculo en oficina de la ampliación del viaducto, se procedió a efectuar un replanteo de la geometría de la estructura construida. Dadas las condiciones de accesibilidad del lugar, esta medición fue realizada mediante medios topográficos avanzados, aunque no es posible garantizar una precisión elevada. Los resultados muestran un descenso del arco en las posiciones de la clave, mientras que el tablero sí mantiene la rasante de proyecto. Este hecho puede deberse a los ajustes propios de flechas que se producen durante el proceso constructivo.

Por este motivo, y para acercarse a las condiciones estáticas reales de la estructura, se ha seguido un doble camino en todos los modelos que recogen el cálculo de esfuerzos globales: por un lado se han realizado los cálculos con la geometría de proyecto del puente y, por otro, y como factor de seguridad adicional, se han estudiado los efectos que esta geometría deformada tiene sobre la respuesta del arco y el tablero.

Con estos modelos se ha comprobado el adecuado nivel de seguridad de las pilas y el arco, en régimen de comportamiento de segundo orden material y geométrico.

### 4.2 Tablero

Igualmente destacado ha sido el estudio realizado sobre el comportamiento del tablero, dadas las especiales características del vano tipo (mayor anchura que longitud), con una especial atención a su comportamiento resistente frente a cargas excéntricas.

Se ha realizado un modelo de elementos finitos que representa tres vanos de un cajón de sección mixta, simulándose con las condiciones de contorno el resto del tablero y las pilas. Se representan las distintas fases por las que pasa el tablero en su construcción desde el estado inicial, con 12 m de anchura, hasta la puesta en servicio con la sección ampliada, de 22 m de anchura.

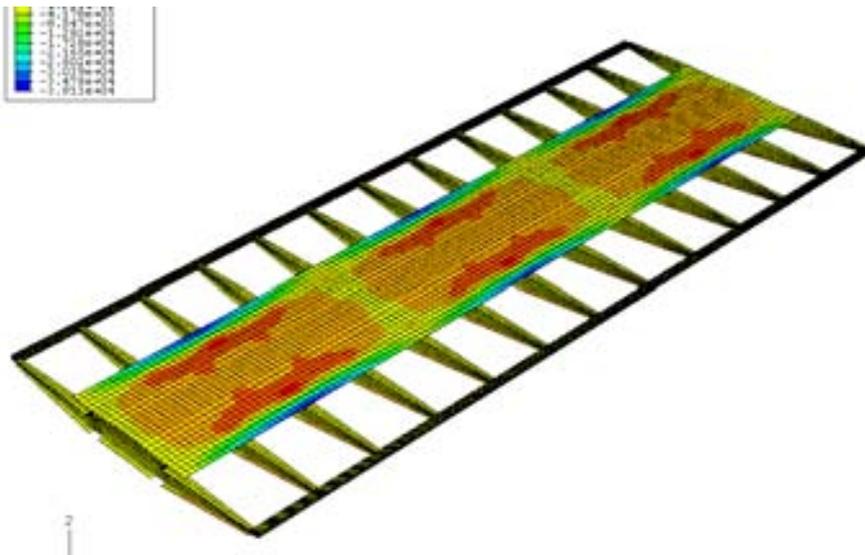


Fig. 15 Modelo de elementos finitos para el análisis del tablero

Del modelo se desprende que los voladizos, o costillas, no se cargan todos por igual cuando se aplica una carga distribuida en la losa superior, sino que, debido al efecto de la flexión global del tablero, la flexión longitudinal de la losa superior y la presencia de la viga de borde, los voladizos de pila se cargan más que los demás. Teniendo en cuenta este efecto, se dimensionan los voladizos como secciones mixtas de hormigón y acero.

La viga de borde se dimensiona como sección mixta, formada por el pequeño cajón metálico y el recrecido de hormigón que se dispone encima y al que se ancla la barrera.

Por último, la armadura de la losa se dimensiona a partir de los esfuerzos obtenidos en el modelo, diferenciándose en las cuantías colocadas los tramos entre voladizos adyacentes a secciones de pila de los que están en centro de luz.

#### **4.3 Análisis de la distorsión de la sección**

En las primeras fases de proyecto se estudió la posibilidad de sustituir la chapa de fondo de 5 mm original (no colaborante) por otra de mayor espesor que sí lo fuera, que cerraría la sección y mejoraría su comportamiento ante cargas excéntricas, aunque esta opción dificultaba considerablemente la ampliación.

Se comprueba que la solución de sección bixágena original, en la que no se sustituye la chapa de fondo existente no colaborante y se proyecta una nueva viga mixta de borde, presenta un comportamiento ante cargas excéntricas plenamente satisfactorio y reduce las flechas en el extremo de la sección para las cargas concentradas.

Se compararon los resultados en tensiones y deformaciones del tablero con ambos modelos. Si bien las tensiones en las vigas principales debidas a las cargas excéntricas son algo mayores en el modelo sin chapa de fondo y viga de borde, el coeficiente de excentricidad final resultante, para el caso pésimo (tensiones normales en centro de luz) no supera el valor de 1.13. En cuanto a las flechas en los extremos de los voladizos, los resultados del modelo de elementos finitos muestran que la deformabilidad en el extremo de la sección transversal está ahora mejor controlada gracias a la inclusión de la viga de borde, con valores de flecha en el entorno de  $L/650$ , lo que garantiza que quedan atenuados los posibles fenómenos vibratorios.

## **5. Ficha técnica**

**Propiedad:** Demarcación de Carreteras del Estado en Asturias. Ministerio de Fomento.

**Ingeniero de Caminos Directora de Obra:** D. César Fernández-Nespral Pérez

**Empresa Constructora:** UTE Ballota (Aldesa, Tableros y Puentes, Dicaminos).

**Ingeniero de Caminos Jefe de Obra:** D. José Carlos Ramos / D. José Manuel Díaz

**Ingenieros de Caminos Autores del Proyecto de la Estructura:** D. Marcos J. Pantaleón Prieto y D. Óscar Ramón Ramos Gutiérrez (APIA XXI, S.A.)

**Empresa Consultora - Asistencia Técnica y Control de Obra:** INCOSA y FULCRUM

**Ingeniera de Caminos Jefe de Unidad:** D<sup>a</sup> María Paz Campo San Martín

**Taller metálico:** JOAMA