

Ampliación del viaducto del Pintor Fierros (Arco de La Regenta)

Widening of the Pintor Fierros Viaduct (Regenta Arch)

Ignacio García-Arango Cienfuegos-Jovellanos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe Demarcación Carreteras del Ministerio de Fomento en Asturias. Director del Proyecto. igarango@fomento.es

César Fernández-Nespral Pérez. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Ministerio de Fomento. Director de Obra. cfnespral@fomento.es

Marcos J. Pantaleón Prieto. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
APIA XXI. Presidente. mjpanta@apiaxxi.es

Óscar Ramón Ramos Gutiérrez. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
APIA XXI. Jefe Departamento Estructuras I+D. oramos@apiaxxi.es

Resumen: La ampliación del tablero del viaducto del Pintor Fierros, desde una anchura de 12.00 hasta 22.00 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, concluida en julio de 2007, se ha realizado manteniendo abierto el tráfico sobre la estructura en todo momento.

Palabras Clave: Arco; Ampliación; Tablero mixto; Voladizos metálicos

Abstract: The work conducted more than ten years ago in the design and construction of the Regenta Arch (Puente de Alcántara International Award) has been continued and finally concluded by the widening of the deck to the Pintor Fierros viaduct, from a width of 12.00 m to one of 22.00 m. The deck extension is supported throughout its length by 7.75 m long steel cantilevers which serve to support the new concrete slab. A small longitudinal composite box-girder has been built at the edge of the deck and welded to the ends of the steel cantilevers and serves to improve the deck's response to eccentric loads. The viaduct was kept open to traffic throughout the entire time of the widening work which was concluded in July 2007.

Keywords: Arch; Widening; Composite deck; Steel cantilevers

1. Descripción del viaducto existente

El viaducto Pintor Fierros, construido hace ya más de una década y Premio Internacional Puente de Alcántara 1996, salva el valle del río Cabo (Asturias) con un arco de hormigón armado de 194.00 m de luz y una flecha de 50.38 m. La longitud total del puente es de 381.60 m, divididos en 19 vanos de 18.20 m y dos vanos extremos de 17.90 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 100.00 m. Los primeros 5 vanos de cada extremo forman los viaductos de acceso al arco y los restantes 11 vanos descansan ya sobre el propio arco. El tablero es una sección mixta bijnágena, cerrada en el fondo con una chapa auxiliar no colaborante. La anchura total del tablero era de

12.00 m. El cajón metálico tiene 6.50 m de anchura, por lo que resultaban voladizos laterales de 2.75 m.

La calzada alojaba inicialmente dos carriles de 3.50 m de anchura, uno para cada sentido, con arcenes laterales de 2.50 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 la actual ampliación de la calzada.

Arco

La directriz del arco está formada a partir de 3 circunferencias de radios 110.00, 135.00 y 175.00 m, consiguiendo una luz de 194.00 m y una flecha de 50.38 m.

Fig. 1. Viaducto antes de la ampliación.



La sección del arco, según la directriz, es un cajón bicelular de canto variable entre 4.20 m en arranque y 2.40 m en la clave. Las almas tienen 0.40 m de espesor y las tablas superior e inferior son de 0.30 m de espesor en arranque y de 0.24 m de espesor en la clave.

Las secciones del arco que empotran a las pilas que soportan el tablero están macizadas y disponen de un pretensado transversal.

El hormigón del arco es H-350 y el acero pasivo AEH-400.

Pilas y estribos

Las pilas tienen una altura variable entre 1.00 m (las situadas en la zona de clave) y 51.00 m (las situadas en la zona de arranque del arco). Las pilas 1 a 5 y 16 a 20 están cimentadas sobre el terreno, y componen los viaductos de acceso, mientras que las pilas 6 a 15 se apoyan sobre el arco.

La sección transversal de las pilas es rectangular, maciza, con anchura de 6.50 m. Las pilas centrales 9 a 12 tienen canto de 0.80 m, las pilas 5 y 16 (las más altas) tienen canto de 1.20 m y el resto de pilas disponen de canto de 1.00 m.

Los estribos son cerrados, con fuste circular.

Tanto las pilas como los estribos, y los arranques del arco, están cimentados mediante cimentación directa contra las laderas del valle.

El hormigón utilizado en las pilas es H-350, en las zapatas de pilas H-200 y en los estribos y las zapatas de estribos y arco H-250. La armadura pasiva utilizada es AEH-400.

Aparatos de apoyo

El viaducto dispone de diferentes tipos de aparatos de apoyo.

Las pilas 4 a 6 y 15 a 17 (que son las más esbeltas) apoyan el tablero mediante aparatos de neopreno confinado (tipo pot) que no admiten desplazamiento relativo tablero - pila (PF-500).

Las pilas 1 y 20 y los dos estribos tienen aparatos de apoyo de neopreno confinado con deslizamiento unidireccional en el lado derecho (PL-500 en pilas y PL-300 en estribos) y con deslizamiento multidireccional en el lado izquierdo (PU-500 en pilas y PU-300 en estribos).

En el resto de las pilas los aparatos de apoyo son aparatos de neopreno zunchado.

Tablero

Como ya se ha expuesto, el tablero es una sección mixta de 6.50 m de anchura y 1.65 m de canto total en el eje.

La sección metálica tiene un canto máximo en el eje de 1.40 m y canto de 1.19 m en los extremos. La configuración resistente es la de una estructura bixágena en II, con alas inferiores de anchura entre 0.65 y 0.80 m y ala superior cerrada, si bien las alas inferiores están unidas mediante una chapa de 5 mm de espesor (no colaborante) que configura la apariencia de un cajón.

La losa superior tiene canto mínimo de 0.25 m en el centro de la sección y canto de 0.40 m en el extremo del cajón. Los voladizos de hormigón (con una longitud

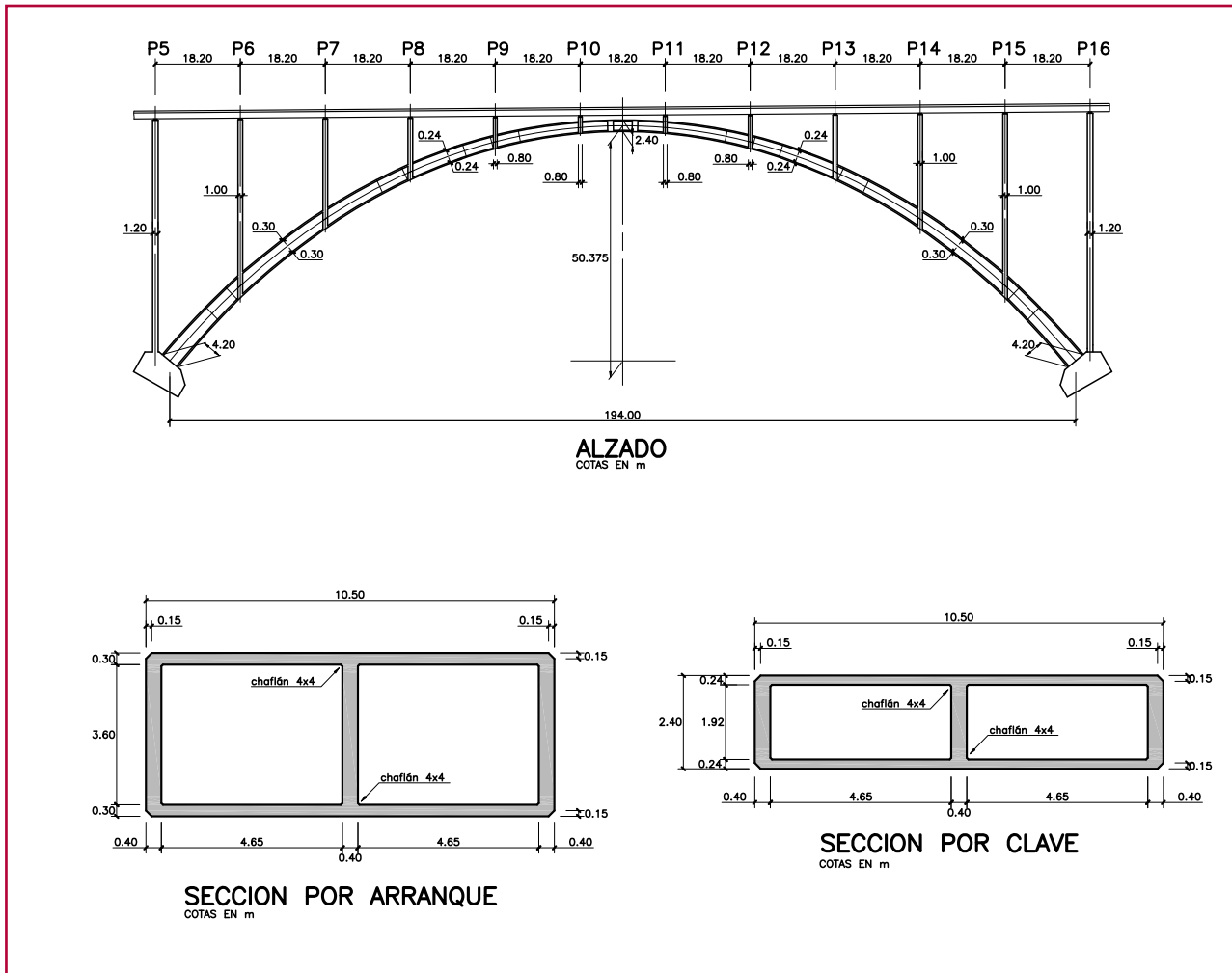


Fig. 2. Alzado y sección tipo del arco.

de 2.75 m) arrancan con canto de 0.40 m y en el extremo tienen canto de 0.25 m.

El tablero está rigidizado cada 4.55 m por marcos cerrados que, en las secciones de pilas y estribo, se convierten en los correspondientes diafragmas de apoyo. Los marcos disponen de paso de hombre de 0.60 m de diámetro. Los diafragmas de pilas y estribo están convenientemente dispuestos para permitir una posible sustitución de los aparatos de apoyo.

El acero estructural del tablero es de calidad AE 355-W2D. La losa de hormigón es de H-350 y el acero pasivo AEH-400.

Proceso constructivo

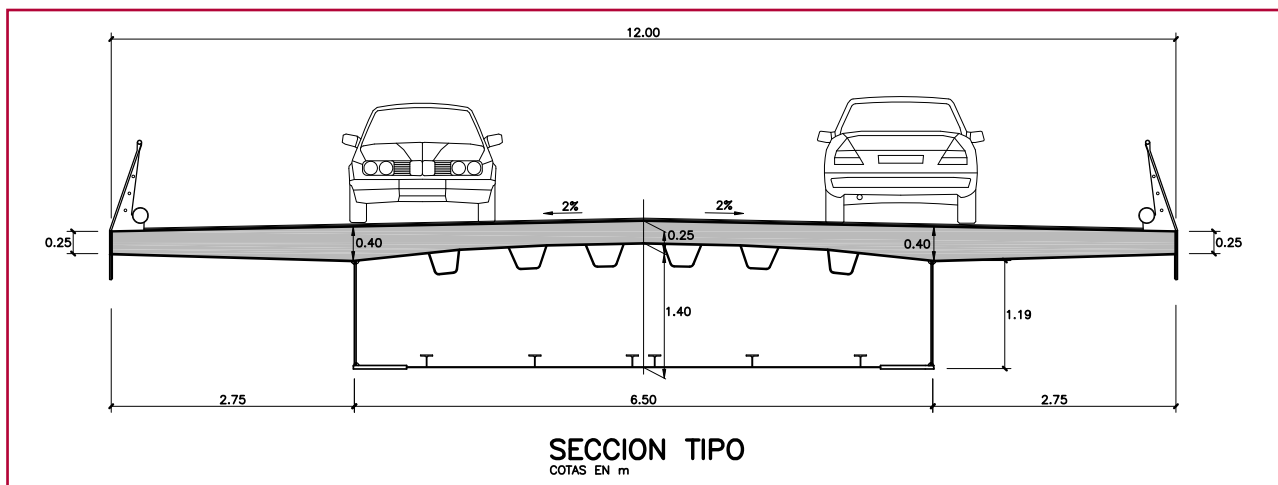
Destacamos aquí mínimamente algunas características del proceso constructivo del viaducto original. Una descripción más extensa y pormenorizada puede encontrarse en la referencia (1).

El arco, elemento principal y condicionante de toda la estructura, fue construido mediante el sistema de dovelas sucesivas hormigonadas in situ sobre un carro de avance. Para el sostenimiento del voladizo del arco se estableció una triangulación provisional por medio de tirantes pretensados hacia los viaductos de acceso. La tracción global del cordón superior durante esta fase de avance en voladizo del arco fue resistida por la sección metálica del tablero, que la conduce hasta el estribo (cuya estabilidad se logró mediante anclajes pretensados provisionalmente al terreno).

El ciclo constructivo se resume en las siguientes fases:

- hormigonado de una serie de dovelas sucesivas del arco.
- atirantamiento de la anteúltima dovela hormigonada.
- hormigonado de la pila sobre el arco.
- prolongación del tablero metálico mediante grúa.

Fig. 3. Sección tipo antes de la ampliación.



Para la ejecución de la zona central del arco se recurrió al empleo de un mástil provisional sobre las pilas 9 y 12.

La construcción del arco finalizó con la apertura en clave mediante gatos y el hormigonado de la dovela de cierre.

La construcción de los vanos de acceso al arco se realizó de forma tradicional.

2. Descripción de la ampliación

Se ha ampliado la sección transversal del tablero del viaducto a una anchura total de 22.00 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. Asimismo, se ha construido una viga-cajón metálica longitudinal en el borde del tablero, soldada al extremo de los voladizos metálicos, materializándose una viga mixta que contribuye a mejorar la respuesta del tablero frente a cargas excéntricas.

También ha sido necesario ampliar los estribos existentes para alojar los 5.00 m adicionales de tablero a cada lado. Los nuevos "falsos estribos" no reciben carga vertical del tablero y su única misión es la de contener el derrame de tierras y garantizar una transición suave al tráfico en el paso de terraplén a estructura e, incluso, transversalmente entre la parte existente y los nuevos voladizos. Además, para evitar una posible reacción vertical de tracción sobre el neopreno menos cargado es necesario macizar con hormigón 3.00 m de puente, en toda la anchura del cajón, en la zona de los estribos.

Fig. 4. Sección tipo ampliada.

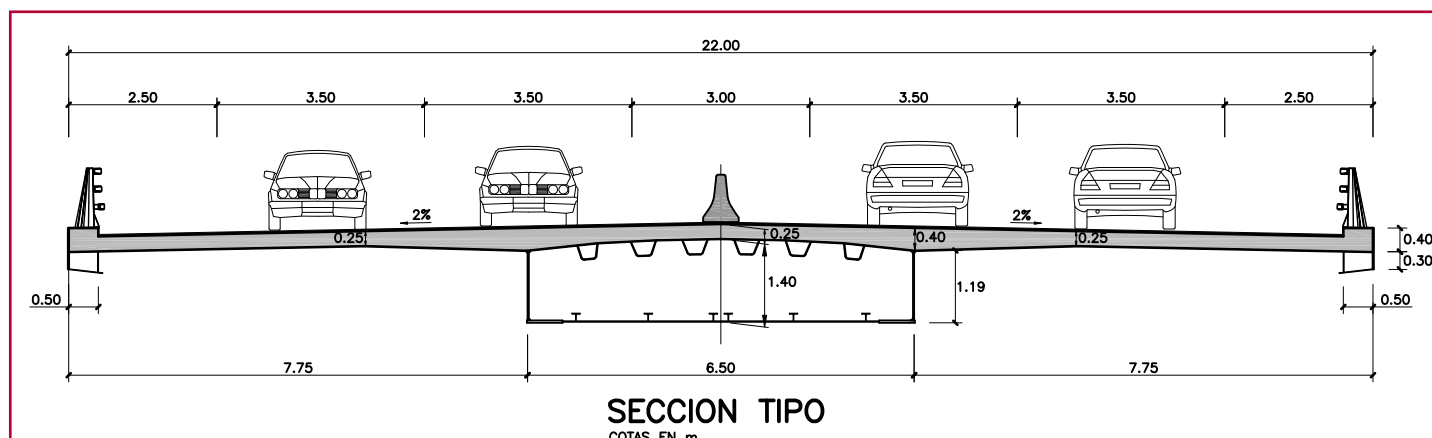


Fig. 7. Carro para colocación de estructura metálica y hormigonado.



con la viga de borde, se ha realizado un recrecido de 0.15 m de altura, que permite acomodar de forma más adecuada el pretil metálico. El hormigón de la losa es de calidad HA-35.

La losa está conectada en toda su longitud tanto a los voladizos metálicos como a la viga de borde, mediante conectores de 3/4".

3. Proceso constructivo de la ampliación

En primer lugar 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.

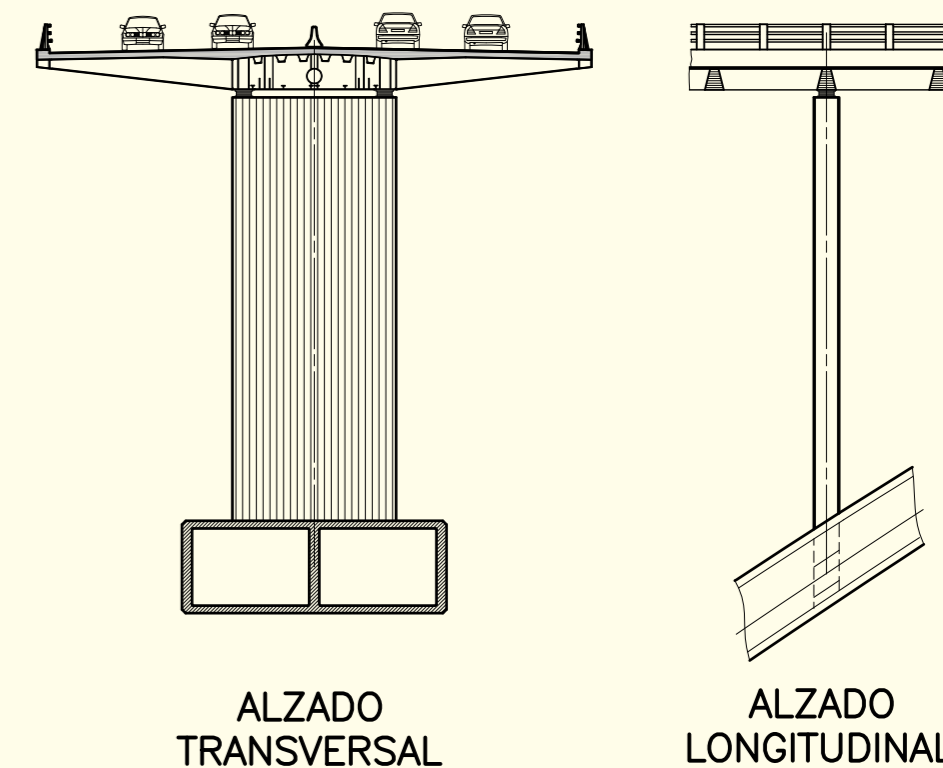
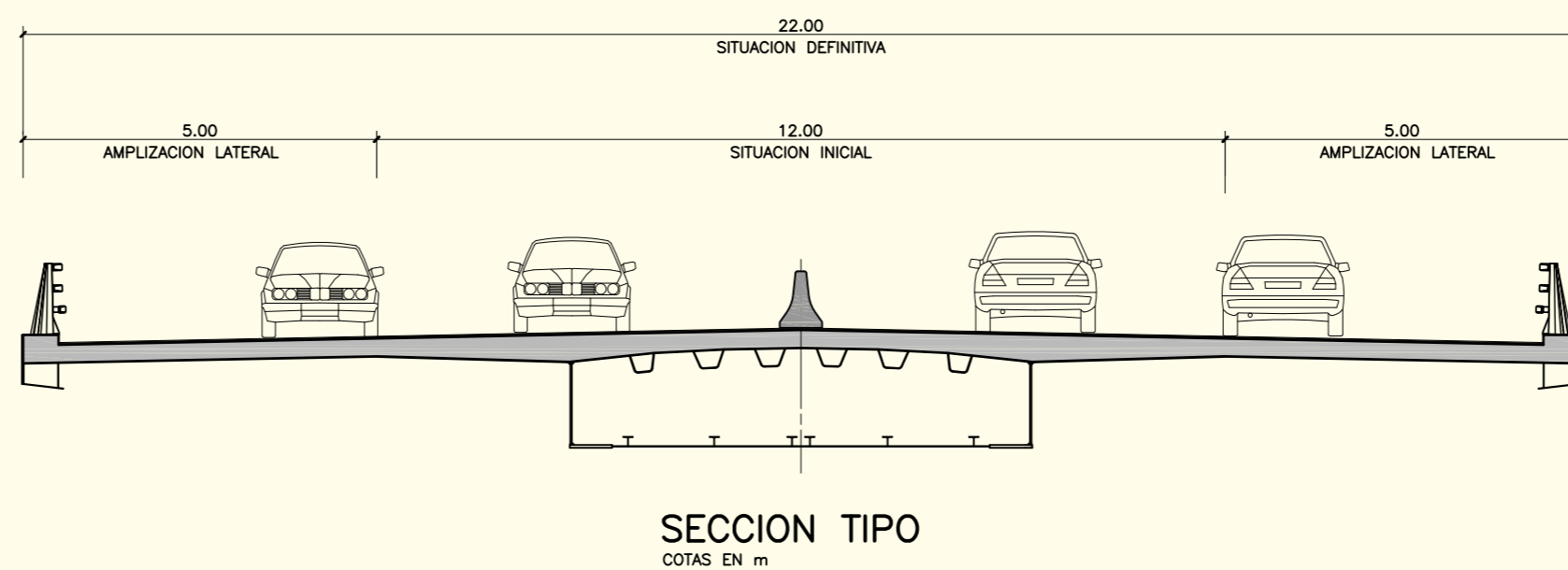
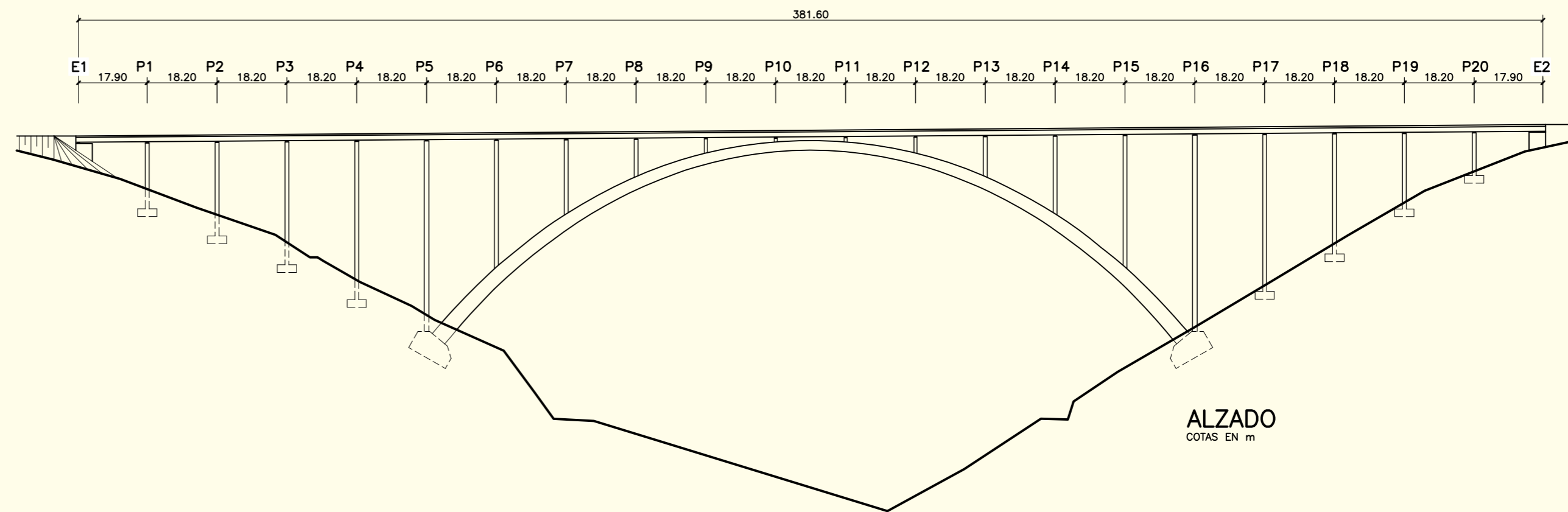
El proceso constructivo se inició con la realización de las tareas previas, como son las de construcción de la ampliación de los estribos y macizado del table-

ro en zona de estribos (para evitar el despegue o repado de los aparatos de apoyo).

Los trabajos de ampliación del tablero comenzaron con la retirada del pretil metálico existente y la demolición de la losa 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. Esta demolición se realizó en tres fases:

- fresado del aglomerado (0.10 m de espesor).
- picado del bordillo existente (0.10 m x 0.45 m) mediante mini retro y corte de la armadura del bordillo.
- hidrodemolición de 1.00 m de losa del tablero. Los trabajos de hidrodemolición se llevaron a cabo alternativamente a uno y otro lado del tablero utilizando para ello dos robots. El agua recuperada del proceso se trata en un sistema de decantación de aguas para su posterior reutilización y proteger el fondo del valle de posibles vertidos. El proceso de hidrodemolición permite obtener un borde "limpio"

Fig. 8 y 9. Colocación de voladizos metálicos y encofrado de la losa.





de la losa de hormigón, sin partes sueltas, con la superficie a unir con el nuevo hormigón rugosa, y la armadura transversal existente perfectamente limpia y sin doblar.

Posteriormente se procedió a instalar el carro para la colocación de la estructura metálica y el hormigonado de la losa. El carro está formado por tres cerchas unidas y arriostradas entre sí, de las que cuelgan 4 módulos de encofrado, 2 a cada lado para el hormigonado de la losa de hormigón. El 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



Fig. 10 y 11. Vista inferior del tablero ampliado.

la separación entre marcos) con lo que la distancia entre las patas extremas es de 9.10 m. La carga total transmitida por el carro es del orden de 1500 kN. El encofrado gravita sobre una estructura de vigas metálicas abatibles y consta de vigas de madera en sentido longitudinal, sobre las que está colocado el panel fenólico. El equipo se completa con dos juegos de tres polipastos en cada lateral: uno en sentido longitudinal y dos en sentido transversal para posibilitar el traslado de los voladizos metálicos y las vigas de borde.

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 co-



Fig. 12. Vista aérea del tablero en fase de ampliación.



Fig. 13. Vista aérea del tablero ampliado.

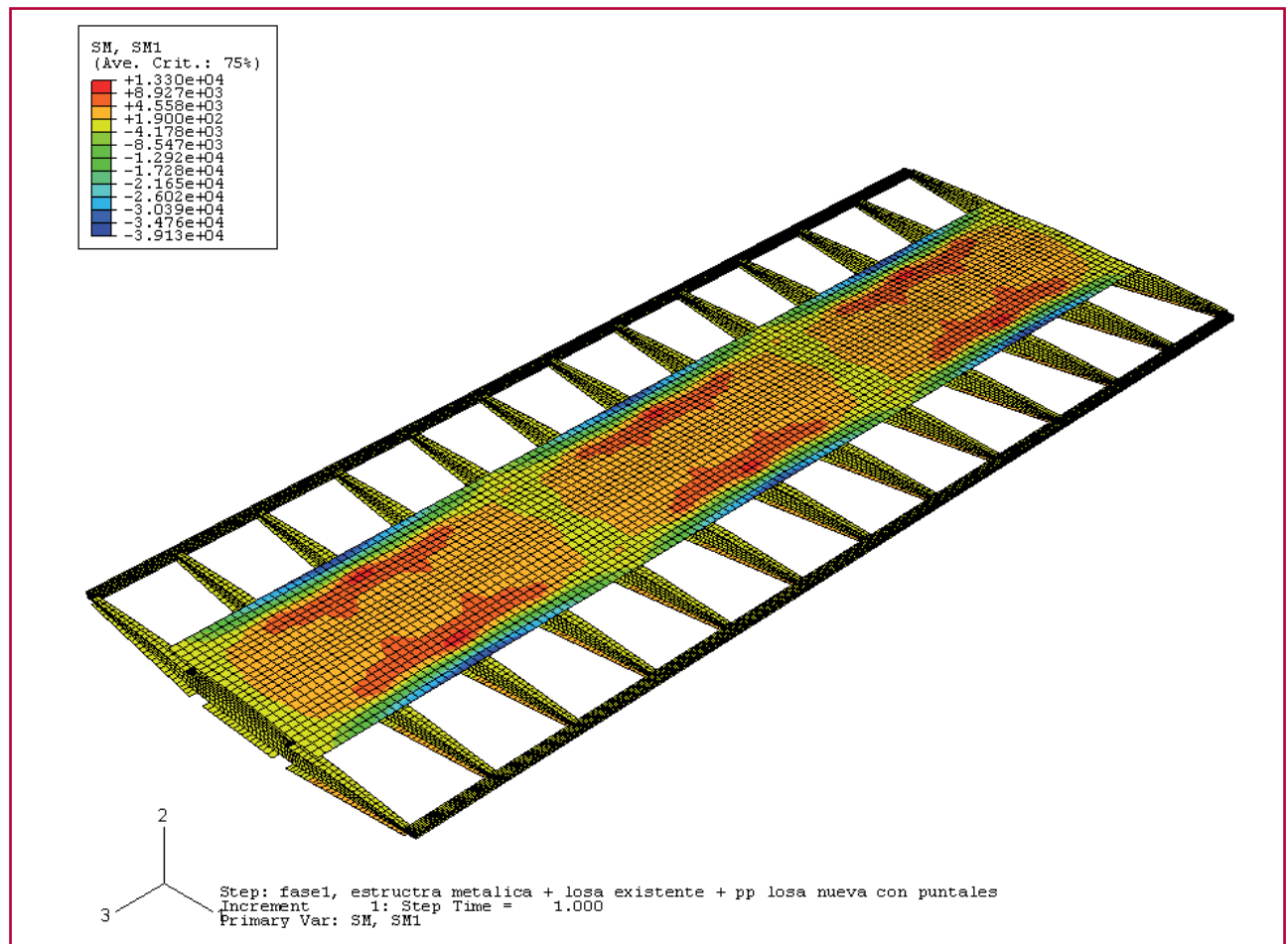


Fig. 14. Modelo de elementos finitos para el análisis del tablero.

respondiente 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/mm² 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/mm².

4. Análisis estructural

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

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 real actual de la estructura. Dadas las condiciones de accesibilidad del lugar, esta medición fue realizada mediante medios topográficos avanzados. 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 produjeron durante el proceso constructivo.

Por este motivo, y para acercarse a las condiciones estáticas reales de la estructura, se ha seguido un doble



Fig. 15.
Viaducto ampliado.

camino en todos los modelos que recogen el cálculo de esfuerzos globales: por un lado se han realizado los cálculos con la geometría teórica del proyecto y, por otro, y como factor de seguridad adicional, se han estudiado los efectos que la geometría deformada realmente medida 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 no lineal material y geométrico.

Tablero

Igualmente destacado ha sido el estudio realizado sobre el comportamiento del tablero, dadas las espe-

ciales 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 en los extremos 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 12.00 m de anchura, hasta la puesta en servicio con la sección ampliada, de 22.00 m de anchura.

Del modelo se desprende que los voladizos metálicos, 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 posteriormente 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 recreado de hormigón que se dispone encima y al que se ancla el pretíl.

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.

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 ha comprobado que la solución de sección bijácena 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 satisfac-

FICHA TÉCNICA

Propiedad

Ministerio de Fomento.

Demarcación de Carreteras del Estado Asturias.

Ingeniero de Caminos Director del Proyecto

D. Ignacio García-Arango Cienfuegos-Jovellanos

Ingeniero de Caminos Director de la Obra

D. César Fernández-Nespral Pérez

Empresa Constructora

UTE BALLOTA (TAPUSA, ALDESA, DICAMINOS)

Ingeniero de Caminos Jefe de Obra

D. José Carlos Ramos / D. José Manuel Díaz

Ingenieros de Caminos Autores del Proyecto de Ampliación 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^a María Paz Campo San Martín

Taller metálico

JOAMA

torio y reduce las flechas en el extremo de la sección para las cargas concentradas.

5. Consideraciones finales

Para los ingenieros que hemos trabajado en el proyecto de la ampliación del tablero de este viaducto, que fue en su día Premio Internacional Puente de Alcántara, ha sido un placer continuar la magnífica labor realizada hace ya más de diez años por otros compañeros nuestros; suyo es el principal valor de esta gran obra, a la que nosotros únicamente hemos sumado una pequeña contribución. Bucear en los planos de entonces, en las notas de cálculo, en las complicaciones surgidas y resueltas durante la obra, ha supuesto un gran estímulo de superación y perfeccionamiento, que nos ha motivado a realizar un duro trabajo para concluir el "ciclo vital" de este magnífico viaducto. ♦

Referencias:

-(1) JUAN JOSÉ ARENAS DE PABLO, FERNANDO HACAR RODRIGUEZ, IGNACIO GARCIA-ARANGO CIENFUEGOS-JOVELLANOS, MANUEL GONZALEZ GONZALEZ, RAMON GURRIARAN CANALEJAS, MARCOS J. PANTALEÓN PRIETO. *Carretera Nacional 632 de Ribadesella a Luarca. Tramo: Novellana-Cadavedo; Arco de la Regenta, Viaducto Pintor Fierros*. Revista de Obras Públicas. Marzo 1997. N° 3363.