

# III CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

LAS ESTRUCTURAS DEL SIGLO XXI  
Sostenibilidad, innovación y retos del futuro



## Gestión de Estructuras



## AMPLIACION DEL PUENTE DE RINCÓN DE SOTO

Florencio J. del **POZO VINDEL**<sup>1</sup>, José María **ARRIETA TORREALBA**<sup>2</sup>

Alberto **CEREZO MACÍAS**<sup>3</sup>, Concepción **VELANDO CABAÑAS**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dr. Ingeniero de Caminos . PROES *Consultores S.A.*

<sup>2</sup> Dr. Ingeniero de Caminos e Ingeniero Industrial. PROES *Consultores S.A.*

<sup>3</sup> Ingeniero de Caminos. PROES *Consultores S.A.*

## **RESUMEN**

En este documento se describe la obra de ampliación del ancho del tablero de un puente de cinco vanos sustentados por arcos de hormigón en masa. La obra incluyó la demolición parcial de la estructura existente, el refuerzo de la parte no demolida y la reconstrucción del tablero ampliado mediante el uso de elementos prefabricados.

PROES, Consultores ha realizado el proyecto modificado de ampliación y la asistencia técnica a la empresa constructora de las obras, EUROCONTRATAS, S.A, que a su vez es la adjudicataria del concurso convocado por la Consejería de Obras Públicas, Transporte, Urbanismo y Vivienda del Gobierno de la Rioja para la ejecución de dicha obra.

## **PALABRAS CLAVE**

Ampliación, refuerzos, hormigón proyectado, prefabricados, micropilotes.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El puente, que cruza sobre el río Ebro, se encuentra en el P.K. 52+700 de la carretera LR-115 y actualmente conecta con la Variante a la localidad de Rincón de Soto. Está constituido por cinco vanos de 34,70 m entre ejes de pilas y estribos, y tiene una longitud total de 157,50 m y 6,00 m de ancho, lo que requería ser ampliado hasta 12,00 m para el paso de la Variante.

La estructura responde a los puentes tipo de la colección de modelos oficiales de puentes de hormigón armado del Ministerio de Fomento, elaborada en el año 1922 por el Ingeniero D. Eugenio Ribera, uno de los introductores de las fábricas de hormigón para la construcción de puentes y que utilizaban el sistema "Mellan", cuya característica principal consistía en la utilización de una autocimbra metálica, que quedaba embebida en el cuerpo de hormigón y sobre la que se apoyaban los encofrados.

Durante la redacción del proyecto de ampliación se ha comprobado que las dimensiones fundamentales de la estructura coinciden con las establecidas en

el proyecto de construcción original, que en el año 1925 redactó el Ingeniero D. José González Lacasa.

Una vez adjudicadas las obras se encargó a PROES Consultores el desarrollo de una solución alternativa que permitiera una ejecución de mayor facilidad y fiabilidad constructiva, así como una mayor rapidez de construcción y con la que se pudieran realizar las obras durante la época estival, con el cauce del río más reducido.

La solución propuesta como alternativa a la del proyecto de ampliación resolvía básicamente la estructura reforzando el arco mediante la realización de un recrecido de hormigón armado proyectado de características especiales.

Esta nueva solución presentaba apreciables ventajas sobre la inicialmente proyectada (refuerzo mediante chapas pegadas), porque no resultaba sensible a la geometría de los arcos, reducía los gastos de conservación, se aumentaba la resistencia al fuego y estéticamente el aspecto exterior resultaba muy similar al original.

Asimismo, mediante la campaña de investigación complementaria realizada al comienzo de las obras sobre las características de la estructura original, se comprobó la posibilidad de modificar también el refuerzo previsto de la subestructura. Finalmente para mejorar el funcionamiento estructural global del puente y posibilitar un proceso constructivo más rápido y sencillo, se ha incluido en la solución un tablero construido mediante piezas prefabricadas (costillas y placas de encofrado perdido).

## **2. ESTADO DEL PUENTE EXISTENTE**

### **2.1. Descripción General**

El puente originalmente estaba formado por cinco vanos de 34,70 m de longitud, medidos entre ejes de pilas. Cada vano está constituido por dos arcos parabólicos gemelos, de 32,8 m de luz libre y 3,28 m de flecha, cada uno tiene un ancho de 1,00 m, y canto variable entre un máximo de 80 cm en arranques, y un mínimo de 60 cm en clave. La separación transversal entre arcos es 2,10 m, medidos entre caras interiores de los mismos.



**Foto 1. Situación original del Puente de Rincón de Soto.**

El tablero está formado por una losa nervada de hormigón armado, de 6,00 m de ancho. Los nervios principales tienen un ancho de 1,00 m coincidente con el de los arcos, y están dispuestos en la vertical de los mismos. El canto de los nervios es 30 cm, a excepción de la zona central de cada vano, en la que quedan fusionados con los arcos.

La losa nervada apoya cada 2,00 m sobre montantes de hormigón armado, constituidos por tabiques de 25 cm de espesor, y 1,00 m de ancho. Se disponían 5 montantes en cada semi-vano, a cada lado de la clave de los arcos.

Las pilas son de forma troncopiramidal rematadas por tajamares semicirculares, con 4,50 m de altura, medidos desde la cara inferior de los arcos. La proporción entre ancho de pila y luz de vano es de 1/10. La cimentación de las pilas está formada por unos macizos de hormigón en masa. La profundidad de los mismos es de 12 m y se ejecutaron mediante la técnica de cajones indios .

Los estribos están formados por un macizo de hormigón, de 4,50 m de altura bajo el arranque de los arcos. Por encima están formados por dos tabiques de hormigón en masa de 1,00 m de espesor, que se elevan hasta su conexión con la losa. La longitud del macizo es 8,50 m. La cimentación de cada estribo está formada por tres bloques de hormigón en masa, con dimensiones en planta crecientes hacia la cimentación. Cada uno de los módulos tiene 4 m de altura y también su construcción se realizó por medio de cajones indios.

## 2.2. Estado de Conservación

Se han realizado una serie de inspecciones visuales de la estructura, que han permitido comprobar que el estado de conservación general del puente era muy bueno. No se aprecian fisuras significativas, ni grandes desconchones o pérdidas de recubrimiento.

Los defectos fundamentales se concentran en las zonas próximas a los imbornales, y están ocasionados por la circulación del agua por los paramentos.

En lo relativo a los montantes y la losa, se han apreciado mayores defectos. En ésta aparecen frecuentes manchas de humedad y condensaciones, y los bordes estaban bastante cuarteados.



Foto 2. Detalle de montantes y losa.



Foto 3. Estribo y arranque de arco.

## 2.3. Características de los Materiales

Para comprobar las características resistentes se han realizado campañas de extracción de testigos, y rotura a compresión de los mismos. El resultado de los ensayos ha permitido la caracterización de los hormigones, resultando para el del arco original una resistencia  $f_{est} = 250 \text{ Kp/cm}^2$ , para las pilas  $f_{est} = 150 \text{ Kp/cm}^2$  y para los estribos  $f_{est} = 200 \text{ Kp/cm}^2$ .

También se realizó una campaña de reconocimiento de cimentaciones y geotecnia, con el objeto de definir las soluciones de refuerzo de las mismas.

### **3. DESCRIPCIÓN DEL PUENTE AMPLIADO**

El proyecto modificado ha tenido como objetivo la optimización de la solución de la ampliación, para lo cual se partió de la idea de reducir el peso propio del tablero al máximo posible, de forma que se minimizara el refuerzo necesario. De esta forma se consigue un diseño ajustado del refuerzo del arco, del propio tablero y de los refuerzos a ejecutar en la subestructura.

#### **3.1. Demolición del Tablero Original**

El tablero junto con los montantes originales han sido demolidos mediante el corte con hilo de diamante en trozos que fueron posteriormente retirados.



**Foto 4. Proceso de retirada de tablero y montantes tras corte con hilo de diamante.**

#### **3.2. Refuerzo de Arcos**

Al duplicarse el ancho del tablero, crece el peso propio de la estructura, así como la sobrecarga repartida, por lo que las cargas crecen aproximadamente en la misma proporción. Por otra parte, de acuerdo con la I.A.P., es necesario considerar el vehículo de 60 t. Esta última acción, en su posición excéntrica, resulta determinante en el comportamiento estructural de los arcos.

El refuerzo se ha proyectado mediante dos trabajos complementarios:

- El saneo previo de la superficie de los arcos mediante chorro de arena, que se completó con el desprendimiento mediante medios manuales de todas las zonas de hormigón fisuradas.

- El refuerzo general mediante la formación de una capa envolvente formada por un recrecido de la sección del arco original con hormigón proyectado y que fue armada mediante barras de acero pasivo.



**Fotos 5 y 6. Recreido de arcos mediante mallazo envolvente y hormigón proyectado**

El recrecido del arco se realizó con hormigón proyectado HA35/B/12/IIb hasta conseguir una sección final de 1,20 de ancho por una altura variable entre 1,10 m en arranques y de 0,85 m en la clave. Para garantizar la correcta ejecución del refuerzo se prescribió que la presión mínima de proyección de hormigón fuera de 12 Kg/cm<sup>2</sup> y la distancia de proyección de entre 50 cm y 150 cm.

Para el refuerzo de cada uno de los arcos se han considerado tres tramos de diferente armado: zona de arranque de pila o estribo, zona intermedia y zona de clave, considerándose simétrico el refuerzo hasta concluir cada arco.

### **3.3. Refuerzo de Pilas**

Las cimentaciones de las pilas se han reforzado para admitir el incremento de carga mediante la disposición de micropilotes. En cada pila se dispusieron seis micropilotes de 70 t de carga admisible para cargas permanentes, siendo la de corta duración de 90 t, los que se empotran 10 m en los estratos competentes. Estos micropilotes están constituidos por un tubo de acero de  $\varnothing_i$  96 mm alojados en una perforación de  $\varnothing$  180 mm, con una longitud 33,00 m.

El alzado de la pila se demolió parcialmente, hasta la cara superior de los arcos en los arranques, para permitir que las armaduras de la cara superior del refuerzo del arco quedaran correctamente ancladas en las pilas.

Posteriormente fue reconstruido, adecuando tanto su ancho como su alto a la nueva geometría del conjunto. Dado que se trata de una estructura masiva y sometida a cargas muy pequeñas, su armado consiste en una armadura de piel.



**Fotos 7 y 8. Ejecución de micropilotes para refuerzo de cimentación de las pilas**

### **3.4. Refuerzo de Estribos**

Debido a que los estribos se ven sometidos a importantes incrementos de cargas, tanto de empujes horizontales como de cargas verticales, ha sido necesario comprobar su comportamiento frente a las nuevas acciones.

En concreto en lo referente a la estabilidad del conjunto alzado-cimentaciones de los estribos, los coeficientes de seguridad resultaban correctos y, en su funcionamiento a rasante entre las diversas partes del conjunto, también.

Finalmente, desde el punto de vista de las tensiones transmitidas al terreno en la base de cimentación, se originaban algunas tensiones de punta importantes, lo que ha hecho recomendable el refuerzo del terreno bajo los estribos mediante la disposición de micropilotes. Se han proyectado 8 micropilotes de las mismas características que los de las pilas, empotrados 4,00 m en terreno competente (longitud total de unos 24 m).

El tubo de los micropilotes disponía de perforaciones y manguitos de inyección, con el fin de mejorar las características del hormigón y del suelo.

Se procedió, tanto en los estribos como en las pilas, a demoler parcialmente el alzado, hasta la cara superior de los arcos en los arranques, reconstruyendo el mismo. Se completó la actuación en el estribo con la construcción de un murete de guarda, pequeñas aletas y la disposición de una losa de transición.

En la zona del estribo entre el apoyo del tablero adyacente y el extremo dorsal del mismo se dispone un tablero similar al del puente.

### 3.5. Montantes y Tableros de Nueva Construcción

Una vez reforzados los arcos y reconstruidos los alzados de pilas y estribos, se construyó la nueva superestructura. En primer lugar se reconstruyeron los montantes con una tipología similar a la original.

Los montantes se realizaron con hormigón HA-35/P/20/IIb y pasan a tener una sección de 1,20 x 0,25 m con todas las esquinas achaflanadas. En los montantes de la zona de clave de los arcos, el apoyo se realiza mediante pequeños dados o prácticamente sobre el arco.



**Foto 9. Placas anclaje unión costilla-losa. Foto 10. Montantes de apoyo costilla-arco.**

En la zona de apoyo de montantes con el arco se realizó una meseta para conseguir una superficie horizontal de apoyo, y en la superficie de apoyo de las costillas se aplicó un adhesivo para obtener un contacto óptimo.

El tablero, por razones de optimización de pesos propios y de facilidad de montaje, se ha resuelto mediante un sistema de piezas prefabricadas, por un lado, unas costillas transversales y, por otro, una serie de placas de encofrado perdido sobre las que se hormigonó la losa “in situ” que completa el tablero.


**Foto 11. Hormigonado losa.**

**Foto 12. Arco, montantes, costillas y prelosa**

Las costillas sobre montantes tienen una longitud de 11,60 m y una anchura de 40 cm. Tienen un canto variable que crece desde el borde del tablero hacia el centro en una longitud de 3,85 m, se mantiene constante en la zona en que apoya sobre el montante o el arco y vuelve a tener canto variable en la zona entre montantes de 1,90 m.

Entre cada dos costillas consecutivas se apoyan las placas de encofrado perdido. Se distinguen tres clases de placas de encofrado de espesor 5 cm en todas ellas. Con esta solución se ha pretendido mantener la apariencia del puente original, consiguiendo mejores acabados que los del hormigón “in situ”.


**Foto 13. Vista inferior de tablero del puente.**

**Foto 14. Detalle acabados arcos y costillas**

La losa es completamente nueva dado su mayor ancho; no obstante, se ha proyectado de manera que respete las líneas fundamentales de la existente.

Por ello, se proyectó una losa nervada, con dos recrecidos inferiores de entre 16 y 18 cm de canto y 1,20 m de ancho, coincidentes con el recrecido de los arcos.

Con objeto de no incrementar la carga muerta, se ha proyectado la coronación de la nueva losa a dos aguas, de acuerdo con el bombeo, en la zona de calzada, y horizontal bajo aceras. El espesor mínimo de la losa “in situ” es de 16 cm en el eje del tablero y de 17 cm en los bordes de voladizo.

### 3.6. Juntas, Apoyos y Acabados

De acuerdo con lo descrito en el apartado anterior, se ha reducido el número de juntas de calzada, de las 10 originales a 6. Para su sellado, se ha previsto la disposición de un perfil de caucho ligero, con una amplitud de movimientos de 38 mm.

En las zonas de juntas, bajo las costillas dispuestas en los bordes, en coincidencia con la zona de nervio de la losa se dispone un apoyo de neopreno anclado a la coronación de las pilas o estribos.



**Foto 15. Vista tablero previa al hormigonado. Foto 16. Detalle acabados y barandillas**

El pavimento de la calzada se ha proyectado mediante mezcla bituminosa, sobre capa de impermeabilización de brea epoxi reforzada con fibras.

Se debe hacer mención especial a las pinturas, para mejorar la durabilidad se ha previsto que todas las superficies de hormigón “in situ”, tanto existentes como nuevas, de losa vayan pintadas con una pintura acrílica.

## 4. PROCESO CONSTRUCTIVO.

Se describe a continuación las diferentes fases del proceso constructivo:

- 1.- Retirada de pavimento, aceras y barandilla.
- 2.- Ejecución de los micropilotes de refuerzo en estribos y pilas.
- 3.- Corte por hilo de diamante del tablero y los montantes, y retirada del tablero y demolición de coronación de pilas y estribos.
- 4.- Refuerzo del arco: tratamiento superficial del hormigón, colocación de armaduras y ejecución del proyectado de hormigón.
- 5.- Reconstrucción de cabeceros y alzados de pilas y estribos.
- 6.- Construcción de los nuevos montantes. Montaje de costillas. Unión entre ambos.
- 7.- Montaje de placas de encofrado perdido, colocación armaduras y hormigonado de la losa "in situ".
- 8.- Acabados (pintura, impostas, aceras, pavimentos, etc.).
- 9.- Prueba de carga y posterior apertura al tráfico.

## 5. CONCLUSIONES

La solución proyectada ha permitido la conservación y el aprovechamiento de un puente que es parte de la historia de la ingeniería española, adecuando sus características a las necesidades funcionales actuales y conservando su aspecto estético y formal lo más parecido a su situación original, cumpliendo con los requerimientos básicos en los casos de reutilización de estructuras.



**Foto 17. Vista general del puente ampliado.**



**Foto 18. Vista general del puente original**