

# III CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

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



## Realizaciones



## ARCO DEL RÍO

Santiago **PÉREZ FADÓN**

José Emilio **HERRERO**

Carlos **BAJO**

Santiago David **PALMERO**

Ingenieros de Caminos.

Dirección Técnica Ferroviaria-Agroman.

## RESUMEN

En este artículo se plantea el ensanche y refuerzo de un arco de 50 m de luz construido en los años 30, según la colección de Eugenio Ribera. Se han estudiado diferentes soluciones que han sido finalmente condicionadas por aspectos prácticos de acceso y seguridad. Esto ha llevado a diseñar un arco metálico a cada lado del puente existente utilizando el antiguo como apoyo para las operaciones de montaje y con una misión estructural secundaria en estado definitivo.



Figura 1. Vista general de la arco original de E. Ribera

## PALABRAS CLAVE

Arco de hormigón, Eugenio Ribera, barranco, La Palma.

## 1. INTRODUCCIÓN

La obra surge de la necesidad de ensanchar y mejorar el trazado de la carretera, que une el nordeste de la isla de La Palma (Canarias) con su capital, Santa Cruz. Esta carretera, que originalmente fue construida en los años 30, salta profundos barrancos y atraviesa mediante túneles intermitentes, las laderas casi verticales de la isla.

El barranco del Río tiene una profundidad de unos 55m y es cruzado por un arco de hormigón de la colección de Eugenio Ribera con 50m de luz. Estos arcos se construían montando una celosía metálica muy ligera entre los estribos que servía de autocimbra para el hormigón del arco, lo cual suponía una importante ventaja al evitar costosas cimbras al suelo. Además, al quedar este acero dentro de la sección colaboraba como armadura resistiendo las flexiones que le llegaban al arco durante su fase de servicio.



**Figura 2. Cimbra utilizada para la construcción del arco de hormigón**

En este caso en particular, la verticalidad de las laderas hace que el acceso por ellas sea prácticamente imposible. Esta puede ser la razón por la que a pesar de lo dicho anteriormente, cuando se construyó el antiguo arco, se montó una cimbra de madera desde el suelo. La dificultad de accesos también ha condicionado la solución de la ampliación.

La obra a realizar suponía por una parte ensanchar la calzada desde los 8 metros hasta unos 10 metros. Por otra parte era necesario que la obra resultante fuese capaz de resistir los trenes de carga actuales. El carro de 60 Tn, para el que no fue diseñado el puente original, supone la condición más exigente, ya que al ser un arco muy rebajado las flexiones que origina esta carga son muy importantes.

La primera idea que surge en estos casos es la de comprobar el estado resistente del puente a ampliar. Con la finalidad de evaluar cual su capacidad

actual, de forma que únicamente sea necesario disponer nuevos elementos para resistir las cargas que suponen el incremento de anchura de la calzada, esto es, una plataforma de rodadura más ancha y las consiguientes sobrecargas de tráfico sobre la misma.

Desde el punto de vista de conservación, la estructura se encontraba en buenas condiciones. Se extrajeron testigos para comprobar la resistencia del hormigón del arco obteniéndose unas resistencias de los testigos con fuertes dispersiones.

## **2. FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PUENTE ORIGINAL**

La estructura está formada por dos arcos rectangulares de hormigón de canto variable que dan soporte a un tablero mediante pilas rectangulares.

El arco original tiene una relación flecha luz de 1/10 y sus montantes se encuentran situados cada dos metros. Estas dos características hacen que su comportamiento ante sobrecargas sea como el de una viga Vierendell, lo que suponen flexiones en los diferentes elementos. Además los efectos de disminución térmica y retracción suponen fuertes flexiones en arranques del arco. El análisis numérico de todo ello, refleja que estas estructuras funcionan fisurándose en los arranques del arco y de gran parte de las pilas en sus extremos. Lo cual introduce una incertidumbre más en el planteamiento de cualquier refuerzo. La estructura tiene un tablero de 52.50 metros de longitud de los cuales 41,00 metros corresponden al vano principal. El ancho es de 3,00 metros, sustentado mediante tirantes anclados a una única torre inclinada hacia atrás un ángulo de 70º respecto a la horizontal.



Figura 3. Detalle de probetas extraídas del arco original

### 3. SOLUCIONES ESTUDIADAS

Las soluciones planteadas, además de tener en cuenta los aspectos estructurales, debían resolver los problemas prácticos de ejecución y accesos.

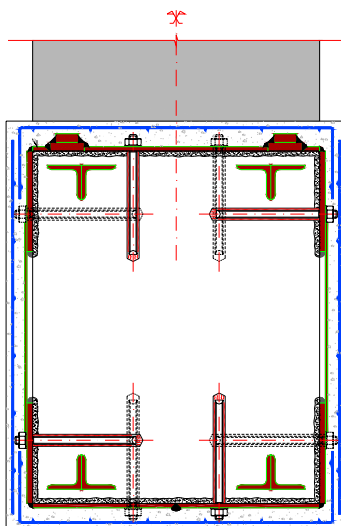
En primer lugar se pensó en la construcción de un arco de hormigón entre los dos arcos existentes, sin embargo los problemas de conexión y las incertidumbres en el trabajo conjunto respecto a las deformaciones diferidas del hormigón, hizo que la solución fuera descartada.

Se desarrolló entonces otra solución en la que se utilizaba el concepto de refuerzo que se suele usar en edificación, mediante el cual se colocan angulares en las esquinas de un elemento de hormigón comprimido, y mediante presillas se consigue un efecto de zunchado. Esta solución resultó ser la óptima desde el punto de vista de minimización de materiales, sin embargo se enfrentó a dos dificultades importantes:

1. En algunas zonas del arco aparecían flexiones negativas importantes. Para poder tomar estas con el acero de refuerzo se debían atravesar las pilas ya que

estas tenían el mismo ancho que el arco. Lo cual suponía una ejecución perforación de las pilas laboriosa y delicada.

2. Las chapas de refuerzo debían ajustarse entre los espacios de piezas de hormigón existente, por lo que una gran parte de los cortes y ajustes finales debían de hacerse in situ.



**Figura 4. Detalle de refuerzo en primera solución estudiada**

3. La conexión para transmitir la capacidad estructural de las chapas suponía un trabajo in situ en posiciones y zonas complicadas, que exigía cimbras muy costosas.

Finalmente no se encontró otra forma de realizar las operaciones más que colocar una cimbra desde el suelo por lo que se descartó esta solución.

La solución diseñada fue la de realizar un puente metálico de la misma forma que el existente y que envolviéndolo lo utilizase como medio de montaje con alguna pequeña misión estructural.

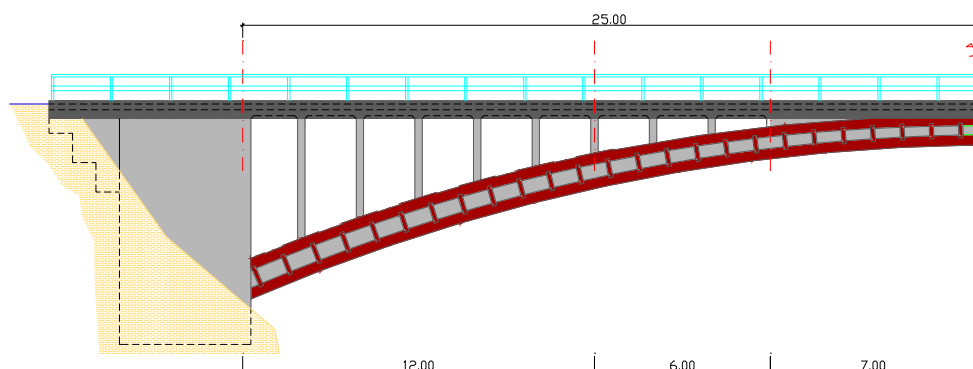


Figura 5. Alzado de solución de refuerzo del arco de hormigón.

### 3. DESCRIPCION DE LA AMPLIACION REALIZADA

El nuevo arco del Río, presenta una tipología de dos arcos metálicos que dan soporte mediante pilas metálicas a un forjado de hormigón ejecutado con losas prefabricadas.

Los arcos metálicos tienen una anchura constante de 40 cm. y un canto variable desde el arranque de los mismos hasta la clave. En la zona de arranque, el arco tiene 1,20 m de canto que va disminuyendo hasta 0,90 m de canto en clave, reproduciendo de esta manera la geometría de los arcos existentes.

La losa de hormigón superior se realiza mediante losas prefabricadas de espesor completo, en la que se dejan las ventanas necesarias para la realización de la conexión mediante pernos. La nueva losa se ha diseñado, de forma que no apoye la losa superior del puente existente bajo su máxima deformación prevista.

Debido a las razones expuestas para otras soluciones, se ha descartado el aprovechamiento de la capacidad de los arcos antiguos a cargas verticales, evitando así incertidumbres y laboriosos trabajos de conexión.

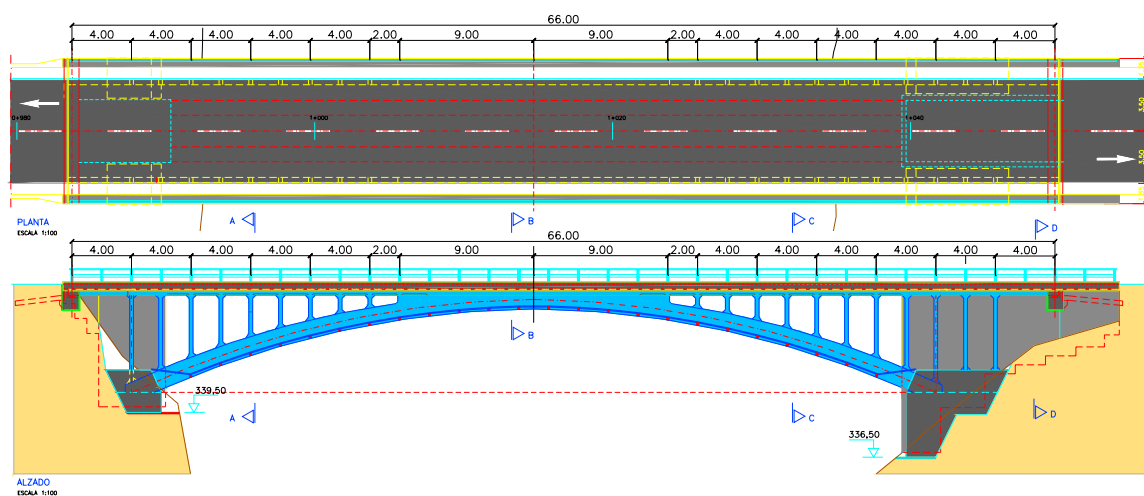


Figura 6. Planta y alzado de solución finalmente proyectada.

La nueva estructura soporta todas las cargas verticales pero utiliza la antigua para:

- evitar el pandeo lateral de los arcos,
- evitar deformaciones transversales excesivas durante el montaje, y
- servir para el montaje de cada arco con pilas y cordón superior, en una sola pieza.
- Además da apoyo a las pasarelas de mantenimiento de la estructura lo que garantiza el acceso a todos los puntos de la estructura metálica.

Debido a que esta en la única carretera de acceso a esa zona de la isla, la interferencia con el tráfico debe ser lo menor posible por lo que la obra se realizó con pequeños cortes nocturnos.



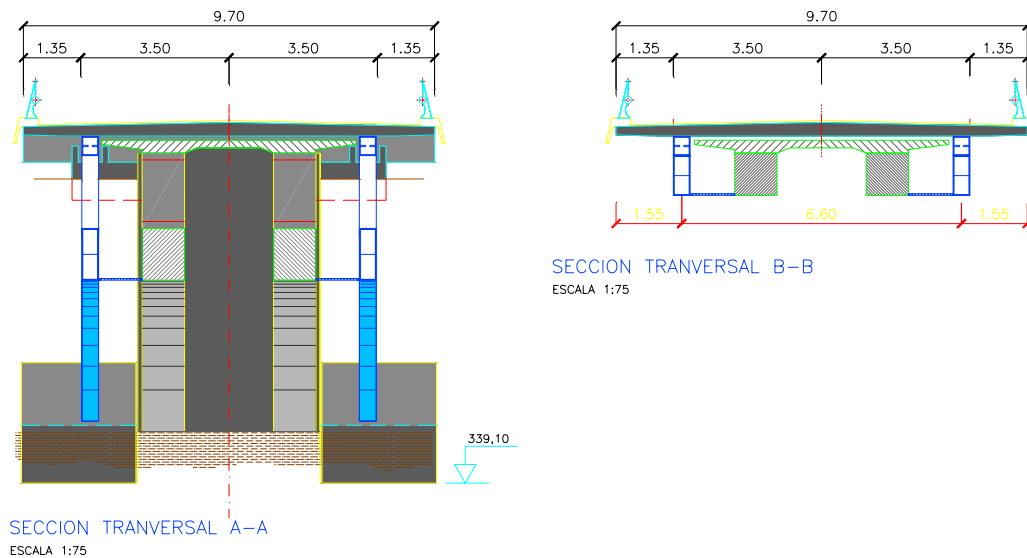


Figura 7. Secciones transversales en arranque y clave del arco metálico.

## 5. PROCESO CONSTRUCTIVO

El procedimiento constructivo de la estructura es el que ha condicionado el dimensionamiento de la mayor parte de los elementos del puente.

El montaje de este tablero se ha realizado intentando disminuir la afección al tráfico de la isla. De esta forma, se ha dispuesto de periodos muy cortos de tiempo para realizar los diferentes montajes de los elementos del arco. De esta forma, mediante cuatro cortes de tráfico, realizados durante fines de semana, se ha procedido a realizar las distintas fases de montaje:

- Colocación del arco derecho del tablero
- Colocación del arco izquierdo
- Colocación de las losas de hormigón
- Relleno de huecos de conexión y hormigonado de juntas entre losas.

De todas ellas, el montaje de los arcos y la colocación de las losas son las más delicadas, puesto que los arcos metálicos deben resistir las cargas correspondientes, únicamente con su sección metálica, y en este momento disponen de muy poca rigidez transversal.

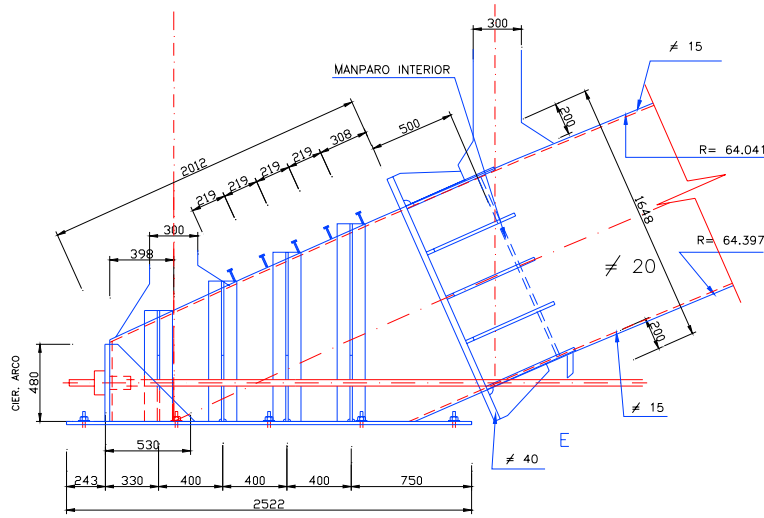


**Figura 8. Maniobra de colocación del primer arco metálico.**

Colocación de los arcos: Con el fin de realizar el montaje de los arcos en el periodo de tiempo más corto posible se optó por realizar esta operación con el arco completo. Para ello se elaboró un estudio para obtener los puntos óptimos de cuelgue del mismo (de forma que se redujesen las tensiones del arco en esta fase), partiendo de las características que presentaban las grúas de las que se disponía en la Isla. En este proceso se necesitaron tres grúas, para realizar los distintos movimientos parciales necesarios.

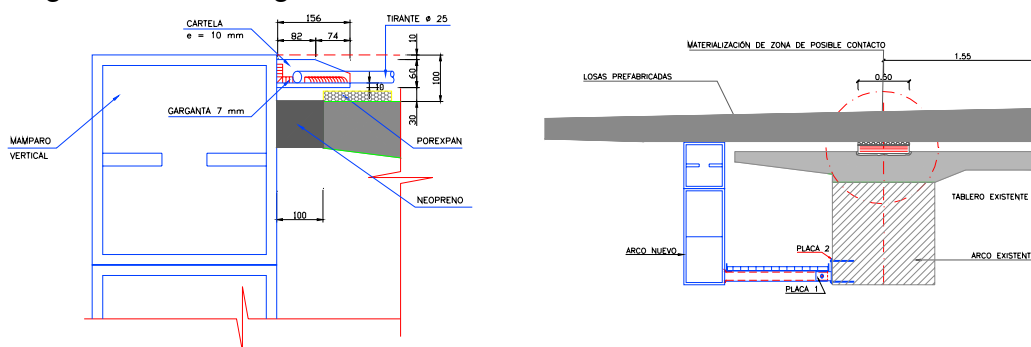
El acopio de los arcos se había realizado en posición horizontal, de forma que la primera operación a realizar fue la de girar e izar el arco hasta que tuvo una posición vertical. Este movimiento se realizó con dos grúas situadas en el estribo sur del puente.

Una vez que el arco se encontraba en posición vertical, este se fue acercando hasta el otro estribo, de forma que mediante las dos grúas se realizó el ajuste



**Figura 9. Detalle de apoyo del arco metálico.**

fino en el posicionamiento del mismo. Para conseguir la precisión necesaria en la colocación, se previó el apoyo de los arcos sobre una superficie horizontal. De esta forma, se permiten pequeños movimientos de ajuste final. Posteriormente, se realizó la conexión del arco a la zapata mediante pernos embutidos en la primera fase de hormigonado de la zapata. Una vez que se aseguraron los dos extremos del arco mediante la soldadura de su placa de apoyo con una chapa embutida en la zapata, se procedió a la preparación del hormigonado de la segunda fase de la misma.



**Figura 10. Detalle de arriostramientos del arco metálico durante montaje.**

Para impedir que el arco se abriese de sus extremos, se dispusieron unos cables de acero de pretensar la parte inferior de los mismos, que funcionaron de forma pasiva, sin dar ninguna tensión a los mismos.

El segundo aspecto delicado de la operación fue la de colocar las losas de hormigón sobre los arcos. Para conseguir que el arco tuviese estabilidad lateral bajo estas cargas, y no se comportase como un pórtico traslacional, se dispuso un atado entre ambos arcos y unos topes de neopreno al arco existente.



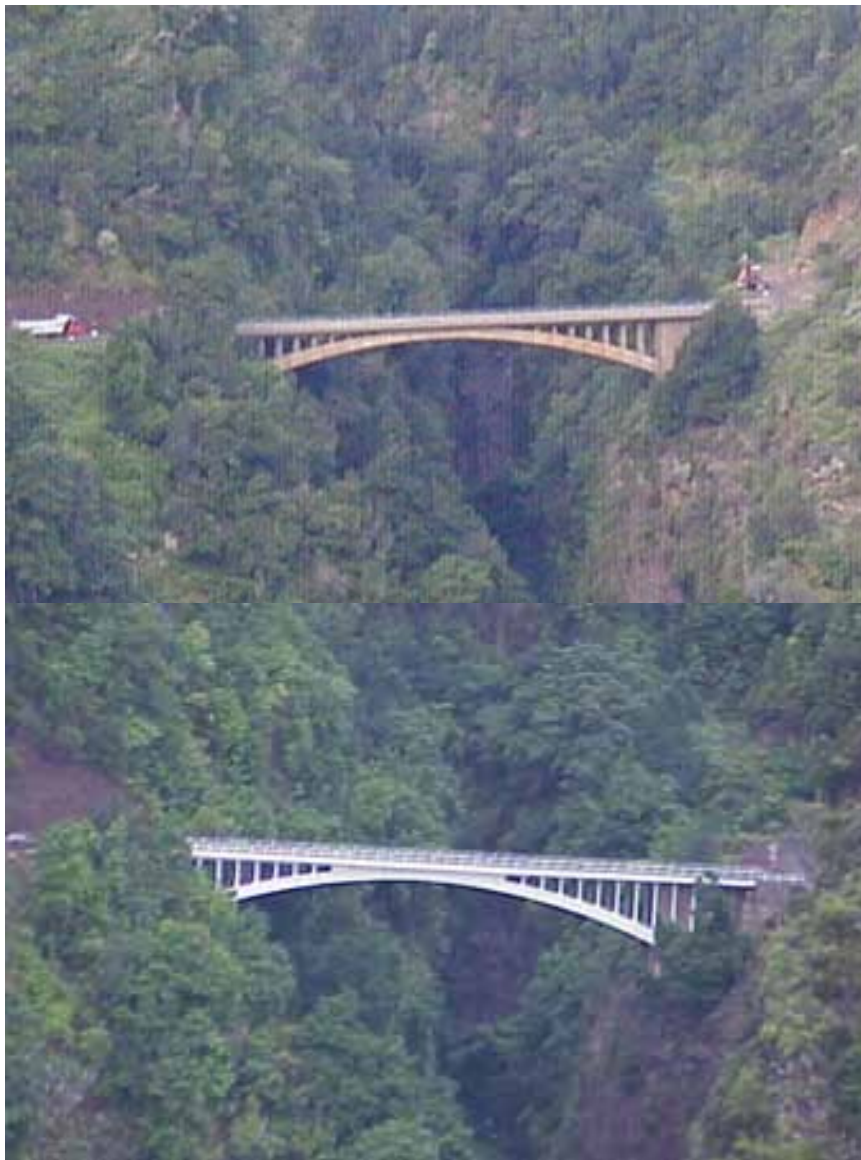
Figura 11. Ajuste final durante el montaje de uno de los arcos.

Otra particularidad importante fue asegurar la estabilidad lateral del arco. Para ello se dispusieron varios elementos de conexión del arco metálico al arco de hormigón. Estos elementos consistían en una alineación de puntales metálicos colocados en la parte inferior del arco, siguiendo su directriz. Estos puntales se soldaban al arco metálico en acopio y una vez ya colocado se unieron al arco al de hormigón mediante una deslizadera que permitía el movimiento vertical pero no el transversal. Esta palizada de puntales servirá además como apoyo a una pasarela que se deja en el puente para realizar todas las operaciones de inspección y mantenimiento que se tengan que realizar en el futuro.

Para evitar que por causas no controladas el puente nuevo apoyase en cualquier punto del antiguo se dejó un espacio entre ambas losas de 3 cm

(superior a la flecha máxima esperada). Adicionalmente, se previeron unos puntos con una separación menor entre las losas de los tableros, situados en el centro del vano. Estos puntos se materializan mediante unos apoyos de neopreno con una plancha de porexpan en su cara superior. La plancha de porexpan actúa de holgura.

La prueba de carga prevista consiste en la realización de una prueba dinámica. Para ello se utiliza el tráfico existente en la carretera para comprobar que las distintas frecuencias de vibración que se obtengan con el acelerómetro dispuesto se asemejen a las frecuencias obtenidas en el cálculo realizado previamente.



**Figura 12. Comparación entre puente original y la ampliación realizada.**

## 6. FICHA TÉCNICA

### **Nombre de la obra**

Ampliación del Arco del Río en la isla de La Palma

### **Propiedad**

Consejería de Infraestructuras, Transportes y Vivienda del gobierno de Canarias.

Antonio Castro Cordobés, consejero

Julio Molo Zabaleta, jefe de Área de Carreteras

### **Director de la Obra**

Martín Piñar Rodríguez, ingeniero de CCP

### **Autores del proyecto modificado**

Ferrovial-Agromán, S.A. Dirección técnica.

Santiago Pérez-Fadón Martínez, Jose Emilio Herrero Beneitez, Carlos Bajo Pavia, Santiago David Palmero, ingenieros de CCP.

### **Empresa consultora**

Dirección Técnica de Ferrovial-Agromán, S.A.

### **Empresa constructora**

Ferrovial-Agromán, S.A. y Vías y Construcciones, S.A.

### **Jefe de obra**

Óscar Heras Gala, ingeniero Técnico de Obras Públicas

### **Asistencia Técnica a la dirección de obra**

AEPO - TRAZAS.

### **Principales características**

Luz del arco ..... 55.00 m

---

Flecha del arco .....	6.09 m
Sección del arco .....	0.40 x 0.90-1.20 m
Espesores del cajón .....	20-25 mm
Hormigón HA-30 en losa .....	24.3 m <sup>3</sup>
Hormigón HA-25 en estribos y cimientos .....	649.8 m <sup>3</sup>
Acero de armar .....	21.700 kg
Acero estructural .....	71.600 kg
Cuántía de hormigón por superficie de tablero .....	0.153 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Cuántía de acero de armar por volumen de hormigón .....	165 kg/m <sup>3</sup>
Cuántía de acero estructural por superficie de tablero .....	256 kg/m <sup>2</sup>