Obras de rehabilitación del puente colgante de Amposta

Amposta bridge - Rehabilitation works

Florencio del Pozo Vindel[1], José M.ª Arrieta Torrealba[2], Alberto Cerezo Macías[3], María Gómez Irigaray[4] Almudena Hue Ibargüen[5] y Antonio Vázquez Salgueiro[6]

Recibido | *Received:* 09-06-2009
Aceptado | *Accepted:* 23-07-2009

Resumen

En este artículo se describe la rehabilitación del puente colgante de Amposta, una de las obras más especiales de José Eugenio Ribera.

En un artículo anterior, titulado "Estudios, inspección especial y proyecto de rehabilitación del puente de Amposta", publicado el tercer trimestre de 2006, en el número 241 de esta revista *Hormigón y Acero*, se describía el proyecto original, su azarosa historia y una inspección especial que permitió conocer el estado de sus elementos. El presente artículo pretende dar continuidad al anterior. En estas páginas se describe el proceso de rehabilitación, realizado con la tecnología actual, en el que se ha respetado sustancialmente el brillante planteamiento estructural de Ribera y se ha intentado añadir el estado último del arte de la ingeniería actual, con el fin de que el patrimonio español pueda seguir ofreciendo durante muchos años más esta destacada obra de su ingeniería.

Palabras clave: Puente colgante, rehabilitación, cables, péndola, silla, pilono.

Abstract

This article describes the rehabilitation conducted on Amposta Bridge, one of engineer José Eugenio Ribera's most prominent works.

A prior article, "Estudios, inspección especial y proyecto de rehabilitación del puente de Amposta" (studies, special inspection and rehabilitation design for Amposta Bridge) published in the first quarter 2006 issue (241) of Hormigón y Acero, *described the original design, its eventful history and a special inspection to determine the state of repair of its members and elements. The present article, a continuation of that paper, describes the rehabilitation process. Performed with today's resources, it entailed virtually no change in Ribera's brilliant structural conception, while applying state-of-the-art technology to lengthen the life of this masterwork of engineering genius and important contribution to Spanish heritage.*

Keywords: *Suspension bridge, rehabilitation, cables, suspender, saddle, pier.*

* ***Page 95 of this issue contain an extensive English language summary of this article for inclusion in databases.***

(1) Doctor Ingeniero de Caminos, (2) Doctor Ingeniero de Caminos e Ingeniero Industrial, (3) Ingeniero de Caminos y Arquitecto Técnico, (4) Ingeniera Naval. PROES Consultores, S.A. (Madrid, España)
(5) Ingeniera Industrial, (6) Ingeniero de Caminos. FPS (Flota Proyectos Singulares) (Madrid, España)

Translation: Margaret Clark

Persona de contacto / *Corresponding author:* jmarrieta@proes.es

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

1. INTRODUCCIÓN

El puente de Amposta, como ya se reseñó en el artículo anterior, es una obra singular de la ingeniería española por múltiples motivos. Por esa razón, en el proyecto de rehabilitación se han fijado criterios de actuación basados en un riguroso respeto al diseño estructural original. Estos criterios se han mantenido durante la ejecución de las obras, lo que ha permitido realizar una rehabilitación integral del puente, incluida la sustitución completa del sistema de cables, manteniendo al mismo tiempo el diseño estructural original y mejorando notablemente los aspectos funcionales de la estructura, con el fin de adaptarla a los requerimientos de uso actual de la misma (Figura 1).

En el presente artículo se describen de forma detallada las obras realizadas en la rehabilitación, pero para entender completamente las mismas, nos permitimos aconsejar a los lectores la lectura previa del artículo publicado en el número 241 de *Hormigón y Acero*, donde se describían los trabajos realizados en la inspección especial del puente para poder evaluar su estado, la comprobación estructural del mismo y, finalmente, la descripción de las soluciones propuestas en el proyecto de rehabilitación (Figura 2).

1. INTRODUCTION

As noted in a prior article, Amposta Bridge stands out in the annals of Spanish engineering for many reasons. Consequently, its rehabilitation was subject to strict respect for the original structural design, which was maintained throughout. While the bridge was fully overhauled, with the replacement among others of the entire system of cables, the original structural engineering was honoured, albeit with substantial improvements in its functional aspects to adapt the bridge to present usage requirements (Figure 1).

The present article contains a detailed description of the rehabilitation works performed. Nonetheless, for a fuller understanding of this text, the reader is referred to the previous article, published in issue 241 of Hormigón y Acero*, which described both the special inspection conducted on the bridge to evaluate its present condition and verify its structural safety and the solutions proposed for its rehabilitation.*

The rehabilitation works were commissioned by the Ministry of Internal Development's Directorate General of Roads from the ***AMPOSTA*** *joint venture (FPS-GEOCISA-ZUT), while the engineering support for site supervision was awarded to* ***PROES Consultores****, the engineering consultants who authored the rehabilitation design.*



Figura 1. Estado del puente antes de los trabajos de rehabilitación.
Figure 1. Bridge prior to rehabilitation works.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

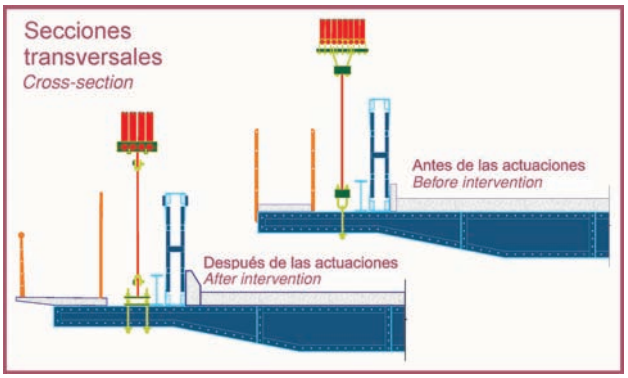

Figura 2. Sección transversal: antes y después de la rehabilitación.
Figure 2. Cross section: before and after rehabilitation.

Las obras de rehabilitación fueron contratadas por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento a la **UTE AMPOSTA** (FPS-GEOCISA-ZUT) y la Asistencia Técnica a la Dirección de las Obras a **PROES Consultores,** que había sido la consultora de ingeniería autora del proyecto de rehabilitación.

Los trabajos comenzaron el 15 de febrero de 2007, con el corte del tráfico en la antigua carretera N-340a, a su paso por el Puente Colgante de Amposta, previa señalización de los desvíos correspondientes, y finalizaron con la apertura del puente al tráfico el 2 de abril de 2009.

A continuación se describirán distintos aspectos de los trabajos que han sido necesarios para ejecutar la obra. La exposición se ha organizado siguiendo la secuencia del proceso constructivo, aunque en algunos casos este orden no se ha podido respetar.

En primer término, se describe la rehabilitación del tablero, compuesta por la reconstrucción de las losas de calzada y aceras y la rehabilitación y refuerzo de las estructuras metálicas. A continuación, se relatan los trabajos de sustitución del sistema de cables, tratando por separado la colocación del sistema de sustentación provisional, la transferencia de cargas al mismo y, finalmente, la colocación del nuevo sistema de cables. Posteriormente, se explica cómo se ha realizado la instalación del nuevo sistema de apoyos, la rehabilitación de las cámaras de anclaje y de los pilonos, y los acabados. Por último, se describe la prueba de carga y se resume la configuración de la estructura ya rehabilitada.

2. REHABILITACIÓN DEL TABLERO

2.1. Demolición de la losa de calzada

Las obras se iniciaron con la retirada de las instalaciones de iluminación existentes y de la barandilla interior de las aceras, manteniendo la barandilla exterior como protección provisional de obra.

The works began on 15 February 2007, when former road N-340a was closed to traffic and the detour around Amposta Bridge duly signed, and were completed on 2 April 2009 when the bridge was re-opened to traffic.

The following is a description of the works involved. The discussion is essentially structured in keeping with construction process sequencing, although that order had to be varied in some cases.

It begins with a description of deck rehabilitation, consisting in the rebuilding of the carriageway and walkway slabs and the rehabilitation and reinforcement of the steel structures. This is followed by an account of the replacement of the cable system, including a separate item on the provisional support system and load transfer, and a discussion of the laying of the new cables. The article then addresses the erection of the new support system and the rehabilitation of the anchorage chambers, piers and finishes. Lastly, the load test is described and the configuration of the rehabilitated structure is summarized.

2. DECK REHABILITATION

2.1. Carriageway slab demolition

The work began with the removal of the existing lighting and inner walkway railing. The outer railing was maintained as provisional worksite protection.

The walkways on both sides of the bridge were then demolished by cutting ten-centimetre deep slots into the slabs with a circular saw along the centreline of the transverse girders at five-metre intervals. The fragments were then removed with the aid of a crane installed on the bridge deck, which lifted them over the bridge cables for conveyance to a dumpsite.

Before demolishing the carriageway, the slab was milled to minimize the weight of the pieces to be removed, and the existing kerb was demolished. To cut the slab was then into fragments, the cutting lines were staked out with a ruling pen and a hand radial arm saw to ensure the indelibility of the marks. The fragments were of the same width as the carriageway and from 2.00 to 2.30 m long so that they always rested on two transverse girders, cantilevering by no more than 0.90 m to prevent overturning.

The final slots were made with a diamond saw, starting at mid-span and working alternatively toward the edges. The pieces were removed through successive 7.50 m long openings in the carriageway. The fragments were removed by a crane resting on the part of the carriageway that had not yet been demolished, starting at mid-span and working symmetrically toward the two ends of the bridge.

2.2. Steel structure rehabilitation

The steel structures were cleaned and reinforced as the carriageway slab was being demolished and rebuilt. The structures that were rehabilitated and/or reinforced included the

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Una vez realizada esta tarea, se demolieron las aceras peatonales existentes a ambos lados del puente. Para ello, se hicieron cortes de diez centímetros de profundidad con sierra de disco sobre el eje de las vigas transversales a intervalos de cinco metros. Una vez realizados todos los cortes, los trozos de losa de acera se retiraron con ayuda de una grúa instalada sobre el tablero del puente, sacando los mismos por encima de los cables del puente, para ser trasladados a un vertedero.

Previamente a la demolición de la losa de calzada, y con el objetivo de minimizar el peso de los trozos a retirar, se realizó el fresado del pavimento y la demolición del bordillo existente. La demolición de la losa se realizó mediante el corte de la misma en fragmentos. Para ello, se replantearon los cortes a realizar mediante tiralíneas y con una máquina radial de mano, lo que garantizaba la permanencia de las marcas hasta que se efectuó el corte definitivo. El ancho de los fragmentos era igual al de la calzada y tenían entre 2,00 m y 2,30 m de largo, con lo que se aseguraba que se apoyaran siempre sobre dos vigas transversales, y que el vuelo máximo fuera 0,90 m, garantizando así un correcto coeficiente de seguridad al vuelco.

El corte definitivo se realizó con una máquina con disco de diamante, ejecutándolo desde el centro de vano hacia ambos lados alternativamente. Los trozos se retiraron abriendo un batache de una longitud máxima de 7,50 m. La retirada de los fragmentos cortados se realizó de forma simétrica hacia ambos lados del puente, mediante una grúa apoyada sobre parte de la calzada aún sin cortar.

2.2. Rehabilitación de las estructuras metálicas

Las tareas de limpieza y refuerzo de las estructuras metálicas se realizaron simultáneamente con la demolición y reconstrucción de la losa de calzada. Las estructuras metálicas rehabilitadas y/o reforzadas son las vigas transversales, las vigas de rigidez y las vigas secundarias.

Para poder realizar estos trabajos, se instaló una plataforma auxiliar en el tablero, que colgaba de la parte inferior del mismo y se desplazaba a lo largo de dos vigas carril, fijadas a los voladizos de las vigas transversales del puente mediante un sistema de placas soporte unidas con varillas roscadas.

La limpieza de la estructura metálica se realizó utilizando chorro de arena llegando a un grado de limpieza Sa 1½ (acabado metal blanco), o chorro de agua añadiendo arena al agua, obteniendo en este caso un grado de limpieza St 2 ó 3. Una vez realizada la limpieza, las partes metálicas fueron protegidas mediante una capa de pintura de imprimación y otra capa intermedia previa al pintado de acabado de la estructura.

En las vigas de rigidez fue necesario retirar superficialmente la capa de mezcla bituminosa de impermeabilización existente en el cordón inferior, con el fin de permitir su limpieza y posterior pintado interior, evitando

transverse girders, the stiffening girders and the secondary beams.

This work was performed from an ancillary movable platform suspended from the underside of the deck that travelled along two rail girders that rested on support plates secured to the cantilevered edges of the transverse girders with threaded rods.

The steel structure was sand-blasted to cleaning grade Sa 1½ (white steel finish) or hydro-jetted, adding sand to the water, to grade St 2 or 3. The clean steel parts were then protected with a primer and an intermediate coat of paint prior to the finishing coat used on the structure throughout.

The weather-proof hot mix asphalt (HMA) was removed from the bottom chord of the stiffening girders before proceeding to cleaning and painting, to repair any possible weak spots susceptible to corrosion.

Transverse girder cleaning was a two-stage process, for after removal of the initial suspender plates, the areas underneath had to be mechanically scrubbed prior to installation of the new plates. Once clean, they were painted as described above for the other steel members.

The surface of the top flanges on the transverse girders at the two ends of the carriageway had to be smoothed with an adhesive or a two-component thixotropic epoxy resin.

2.3. Steel structure reinforcement and replacement of wind braces

As the top and bottom chords of each stiffening girder were being cleaned, steel reinforcements were welded to both as specified in the design.

When the carriageway slab was removed, the top flanges of the transverse girders were observed to have worn thin in some places. This was corrected by welding 8-mm thick steel plate reinforcements onto these areas.

The shapes forming the wind braces were then removed and replaced with new elements, under a new arrangement in which they supported the top chord of the transverse girders, to which they were welded (Figure 3).

After the stiffening girders were reinforced, the welds were verified as required before painting, conducting a general visual inspection and performing penetrating liquid and ultrasound trials.

2.4. New carriageway slab and kerb construction

The precast carriageway slabs were made off-site and shipped to and stored on site prior to laying. They were hoisted with slings and rested on two transverse girders (overlapping each flange by 4 cm, with a 13 cm joint between adjacent slabs). Before each slab was set into its permanent position, its post-tensioning sheathes were coupled to the sheathes in the preceding slab, for this could not have been done afterwards for want of sufficient clearance (Figure 4).

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

de esta forma que quedaran puntos débiles frente a la corrosión.

En las vigas transversales, la limpieza se realizó en dos fases, ya que fue necesario utilizar cepillo mecánico en las zonas en las que estaban alojadas las placas de las péndolas antiguas, al retirarse estas y antes de colocar las de las nuevas. Una vez limpias, se pintaron con las mismas capas de protección y pintura que el resto de los elementos metálicos.

También fue necesario realizar una regularización de la superficie de las alas superiores de las vigas transversales en las zonas extremas de calzada, con un adhesivo o resina epoxi tixotrópica de dos componentes.

2.3. Refuerzo de las estructuras metálicas y cambio de las cruces de San Andrés

A medida que se fueron limpiando los cordones superior e inferior de la viga de rigidez, se realizó la soldadura del refuerzo metálico de ambos, según lo previsto en proyecto.

Al retirar la losa de la calzada, se observó la pérdida de sección de las alas superiores de las vigas transversales en puntos muy localizados. Para solucionarlo, se soldó una chapa de 8 mm de espesor sobre dichas zonas, como refuerzo local.

A continuación se retiraron los perfiles que constituían las cruces de San Andrés, y se colocaron nuevos elementos, esta vez arriostrando el cordón superior de las vigas transversales. Dichos elementos se fijaron mediante soldadura al ala superior de estas vigas (Figura 3).

Una vez realizados todos los refuerzos de las vigas de rigidez, se hicieron los preceptivos ensayos de las soldaduras ejecutadas, antes de iniciar su pintado, incluyendo una inspección visual general y ensayos con líquidos penetrantes y ultrasonidos.

2.4. Construcción de la nueva losa de calzada y su bordillo

Las prelosas de calzada fueron prefabricadas en una planta externa y transportadas y acopiadas a pie de obra, antes de su colocación. Para ello, se izaron mediante unas eslingas y, posteriormente, cada una se apoyó sobre dos vigas transversales (su apoyo sobre éstas era 4 cm sobre cada ala, quedando una junta de 13 cm entre prelosas contiguas). Antes de dejarlas apoyadas en su posición definitiva, se conectaron los manguitos que unen las vainas de postesado de ambas prelosas, porque más tarde no hubiera habido holgura suficiente para colocarlos (Figura 4).

Debido a la curvatura de las vigas transversales, fue necesario disponer unas cuñas de madera provisionales para estabilizarlas; posteriormente se reemplazaban



Figura 3. Colocación de nuevas Cruces de San Andrés sustitutas de las antiguas.
Figure 3. Erection of new wind braces to replace the initial members.

Because of their curvature, the transverse girders had to be stabilized with provisional wooden wedges, later replaced by non-shrink mortar used to fill the gap between the precast slab and the girder.

These precast slabs were laid beginning with the second and ending with the second last; the first and last were laid after the rest had been tensioned. Prior to tensioning, the rebar was laid for the inter-slab joints (on the top of the transverse girders), which were then cast with on-site concrete. The new 130 m 4T15 cables were subsequently threaded.

A fibreglass draw wire with a bullet-shaped tip was used to thread the nine cables. After crossing the entire deck, it was attached to an ancillary cable in turn connected to a winch located on the opposite side. The winch was then turned to thread the cables through the sheathes. The draw wire was subsequently removed to weld the 4T15s to the ancillary cable. This operation was repeated with all four tendons in each cable. A soluble cutting oil ("taladrina") was used throughout to minimize the friction between the cables and sheathes.

The tendons were tensioned with four jacks connected to two stations to transfer the force at the same time to each pair of jacks. Two such set-ups were operated simultaneously, one at each side of the bridge. The equipment on one side tensioned strands 1 and 3 and re-tensioned strands 2 and 4, while the equipment on the other side did the opposite (Figure 5).

Load transferral to the slab was ramped, with three load increments: first all the tendons were tensioned to 25 per cent and then to 53 per cent of the ultimate load of the steel. Finally, all the tendons were tensioned to 100 per cent of the tensioning force (80 per cent of the ultimate load of the cables). Tensioning was begun on the central cable and continued alternately first on one side and then on the other to ensure a more even distribution of forces.

After conclusion of the tensioning operations, quality checks were conducted to satisfaction and the tendons were severed.

After the cables were cut and the mortar cast around them for protection and to prevent de-tensioning had reached the spec-

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 4. Colocación de la nueva losa, una vez demolida la existente.
Figure 4. Laying the new slab (after demolishing the original deck covering).

por un mortero sin retracción rellenando el hueco existente entre el prefabricado y la viga.

Las prelosas se fueron colocando empezando por la segunda y acabando en la penúltima; la primera y la última se instalaron después de tesar el resto. A continuación se dispusieron las armaduras correspondientes a la junta entre prelosas (sobre la cara superior de las vigas transversales) y, finalmente, se hormigonaron esas zonas. Posteriormente, se realizó el enfilado de los nueve cables de 4T15, de 130 m.

Para el enfilado de los nueve cables se utilizó una guía de fibra de vidrio con una bala en cabeza que, una vez que atravesaba todo el tablero, se unía a un cable auxiliar conectado a un cabrestante situado en el otro lado. A continuación, se recogía la guía y de esa forma quedaba enfilado el cable en las vainas. Más tarde se retiraba la guía y se soldaban los 4T15 al cable auxiliar. Tirando del cable con ayuda del cabrestante, se conseguía que los cuatro tendones atravesaran toda la losa de la calzada. Esta operación se realizó utilizando aceite soluble (taladrina) en todo momento para minimizar los rozamientos del cable con las vainas.

El tesado de cada tendón se hizo con cuatro gatos conectados a dos centrales, de manera que la fuerza se transmitía a la vez a cada pareja de gatos. Se utilizaron dos equipos funcionando simultáneamente, uno a cada lado del puente. Con uno de los equipos se tesaban los cordones 1 y 3 y se retesaban los 2 y 4 en uno de los lados, actuando de manera opuesta en el otro lado del puente (Figura 5).

La carga de tesado se transmitió a la losa mediante tres escalones de carga: primero se tesaron todos los tendones al 25 por ciento de la carga de rotura del acero, luego se realizó el segundo escalón al 53 por ciento de la carga de rotura y, finalmente, se tesaron todos los tendones al 100 por cien de la fuerza de tesado (80 por ciento de la carga de rotura de los cables). El tesado se inició por el cable central, y luego se fueron tesando alternativamente sus adyacentes a uno y otro lado, obteniendo así una distribución más homogénea de los esfuerzos.

Terminado el tesado de los cables, se realizaron las com-

ified strength, mortar was also injected into the sheathes. The cables were washed to remove the cutting oil prior to injection with CEM I 42.5 cement. During this operation, the intermediate bleeders were monitored to ensure that grout seeped out of each and every one of them.

Phenolic-faced forms and rebar for the kerb were then set into place for subsequent concrete casting. The kerb was built by sections whose lengths concurred with the distance between rainwater drains.

2.5. New walkway slab construction

The precast walkway slabs were also made off-site and shipped to and stored on site prior to laying.

They were precast to house the service channels, collection boxes, manholes to access the support chambers, anchor plates for the railings and the penetrations to house the continuity steel protruding from the transverse girders.

These slabs were laid after the cable system was replaced on the bridge. Laying was conducted from mid-span toward the ends symmetrically, i.e., successively left and right and on the Amposta side and the La Aldea side, so that neither side of the deck had over two slabs more than the other at any given time (Figure 6). The end slabs, two on each side, were not laid until the new end transverse girders were installed.

After the slabs were laid and secured, the joints between them were filled and a finishing layer consisting in high strength epoxy mortar was applied.

3. CABLE SYSTEM REPLACEMENT

With deck reconstruction finished and the permanent loads on the bridge consequently lightened, cable system replacement was undertaken. This operation was divided into three stages: a first consisting of preliminary tasks, a second, in which the objective was to suspend the deck from only half of the cables on the existing bridge, and the third, in which the new cables were hung and loaded with the weight of the deck.



Figura 5. Tesado de la losa de calzada con juntas entre tramos prefabricados ya hormigonadas.
Figure 5. Tensioning the carriageway slab (after casting concrete in the joints between precast sections).

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

probaciones correspondientes, concluyendo que era correcto y autorizándose el corte de los tendones.

Una vez cortados los cables y alcanzada la resistencia especificada para el mortero de sellado de los cajetines, se hizo la inyección de las vainas. En primer lugar, se lavaron los cables, ya que habían sido bañados en taladrina. La inyección de CEM I 42.5 se realizó desde un extremo hacia el otro, comprobando que salía lechada por todas y cada una de las purgas intermedias.

A continuación se colocó el encofrado fenólico del bordillo y las armaduras para posteriormente hormigonarlo. El bordillo se construyó por bataches, cuyas longitudes correspondían a la separación entre los sumideros.

2.5. Construcción de las nuevas losas de las aceras

Las aceras fueron prefabricadas también en una planta externa, transportadas y acopiadas a pie de obra, hasta el momento de su colocación.

Se prefabricaron incluyendo las conducciones para el paso de servicios, las arquetas, los pasos de hombre para acceder a las cámaras de los apoyos, las placas de anclaje para las barandillas y los cajetines para su fijación a las vigas trasversales.

El montaje de estas losas se realizó al finalizar el proceso de sustitución del sistema de cables del puente. Se fueron colocando desde el centro hacia los extremos y de forma simétrica, es decir, a izquierda y derecha y lado Amposta y La Aldea sucesivamente, de manera que en ningún momento hubo más de dos losas colocadas de diferencia entre ambos lados del tablero (Figura 6). Las losas extremas, dos en cada lado, no se colocaron hasta que fueron instaladas las nuevas vigas transversales extremas.

Una vez finalizada la colocación y fijación de las losas, se rellenaron las juntas entre ellas, aplicando una capa de terminación de un mortero epoxy de alta resistencia.

3. SUSTITUCIÓN DEL SISTEMA DE CABLES

Una vez finalizada la reconstrucción del tablero, y habiendo por tanto reducido las cargas permanentes en el puente, se inició la sustitución del sistema de cables, que puede ser dividida en tres etapas diferenciadas: una primera, que corresponde a las tareas previas, una segunda, cuyo objetivo era dejar el tablero suspendido de la mitad de los cables existentes en el puente , y una tercera, en la que se colocaban los nuevos cables y se transfería a ellos la sustentación del tablero.

3.1. Colocación del sistema provisional

3.1.1. Colocación de los sistemas de bloqueo provisionales

Para hacer posible la transferencia de cargas, era necesario que el puente pudiera sufrir ciertas variaciones de



Figura 6. Trabajos de colocación de las aceras prefabricadas.
Figure 6. Laying precast walkway slabs.

3.1. Provisional system assembly

3.1.1. Provisional blocking systems

Load transferral necessitated variations in elevation that the bridge would have to be able to withstand. This meant that once the deck was suspended from the cable system, it would have to be free to move vertically. For this reason, the deck was released from the abutments by cutting the tie beams between them with an oxycetylene torch before replacement work was initiated.

These beams, whose purpose was to constrain the deck transversally, abutted perpendicularly with the centre of the outermost transverse girders on each side of the bridge and were embedded in the abutment. A 70x60x40 cm opening was cut into the carriageway to access and sever these members. Jacks were placed between the transverse girders at each end of the deck and the provisional tie beams to prevent abrupt movement during the cutting operation.

Before the deck could be released for vertical displacement, an ancillary system was needed to limit any horizontal movements during cable replacement, to transfer horizontal wind action. A provisional blocking system was designed for this purpose, consisting in four steel structures that embraced the piers.

These structures were designed to transfer the wind loads acting on the deck (350 kN on each abutment) to the piers, while allowing for free vertical movement during the cable replacement operation and geometrically adapting to both the piers and the existing deck at each corner.

Essentially, these structures consisted in two compound girders, each comprising two wide flange shapes set on uprights secured at the same elevation as the top chord on the stiffening girder. These beams ran along opposite sides of the pier shaft and were joined with two 600 kN prestressed bars set

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 7. Sistema de bloqueo del tablero.
Figure 7. Deck blocking system.

cota, por lo que se precisaba que el tablero, una vez colgado del sistema de cables, tuviera libre su movimiento vertical. Por este motivo, antes de comenzar los trabajos de sustitución, se desvinculó el tablero de cada estribo, cortando mediante soplete las vigas riostra que lo unían a los mismos.

Estas vigas partían perpendicularmente del centro de la última viga transversal del puente, y se embebían en el estribo, cumpliendo la función de coaccionar transversalmente el tablero. Para poder cortarlas se hizo previamente un cajeado de 70x60x40 cm en la calzada, dejándolas al descubierto. Para evitar eventuales movimientos bruscos durante el corte, se dispusieron gatos entre la última viga transversal del tablero y las vigas del arriostramiento provisional.

Antes de que el tablero quedara colgado y libre en su movimiento vertical, fue necesario colocar algún elemento auxiliar que limitara sus desplazamientos en sentido transversal durante todo el proceso de sustitución de cables, de forma que se pudieran trasmitir las fuerzas horizontales de viento. Para ello, se diseñó un sistema de bloqueo provisional, compuesto por cuatro estructuras metálicas que abrazaban los pilonos.

El diseño de estas estructuras fue realizado para que fuera capaz de transferir a los pilonos la carga de viento que actúa sobre el tablero (350 kN en cada estribo), permitiendo el movimiento vertical libre durante la sustitución de los cables y adaptándose geométricamente en cada esquina, tanto a los pilonos, como al tablero existente.

Básicamente, cada una de estas estructuras estaba formada por dos vigas empresilladas, compuestas a su vez por dos perfiles HEB, que se montaron apeadas a la altura del cordón superior de la viga de rigidez. Estas vigas se unieron entre ambos lados de cada fuste del pilono, a través de dos barras pretensadas a 600 kN, y se apoyaron contra el paramento a través de neoprenos (Figura 7).

El funcionamiento del sistema permitía, en condiciones normales (sin fuertes vientos), que la viga de rigidez y la estructura no estuvieran en contacto, quedando el

against the other two sides of the pier. Their impact against the deck surface was buffered by neoprene pads (Figure 7).

Under this arrangement and in normal conditions (no strong wind), the stiffening girder and the structure would not interfere with one another and the deck would be free to move vertically. If the deck were to move horizontally as a result of wind action, however, the top chord on the stiffening girder would be arrested by the provisional block, butting up against the neoprene pads.

In addition, the flanges on the end transverse girders were trimmed to prevent possible interference between the deck and the abutments during operations requiring vertical movements.

The cable saddles were also transversally blocked by shapes attached to the head of the pier to prevent possible movement in that direction.

3.1.2. Monitoring instrument installation

The instrument system was designed to gather data on the existing cables and other members such as stiffening girders and saddles. Throughout the construction period, the data recorded by the instruments were read daily.

The instruments used included vibrating wire strain gauges attached by adhesives to the stiffening girder, guylines and the main cables from which the provisional hangers were later suspended. The strain gauges were attached to each member by means of a high-strength "cold weld" adhesive and protected from pollution by a body with a built-in temperature measuring system. The respective wiring was also laid, the connection boxes were installed underneath the deck, and the data gathering stations were positioned around the cable inlet to the anchorage chambers, where they were connected to the computer that stored the data.

Displacement transducers (LVTDs) were installed on the saddles. The transducers with a +/- 3 cm range initially used in the early stage of the works were later replaced with +/- 10 cm devices to meet the needs arising in the remaining stages.

Before the works were undertaken, topographic maps were drawn to establish the original position of the deck and cables. Surveys were also conducted during the cable system replacement operation to record the variations taking place.

In addition to the instrumentation, the load on the cables comprising the provisional suspension system for the bridge was measured.

Hydraulic jacks positioned in the anchorage chamber were used to test the concurrence between the theoretical design data and the actual condition of the eight guylines. While the design load per cable was 343 kN, the mean obtained for the cables on the Amposta side was 330 kN and on the La Aldea side, 370 kN.

The load on the eight main cables from which the bridge was to suspend was also measured from the anchorage chambers. The estimated design load was 478 kN per cable, although the

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

tablero libre en su movimiento en dirección vertical. En el caso de que, por la acción del viento, el tablero se desplazara transversalmente, el cordón superior de la viga de rigidez haría tope contra el bloqueo provisional, entrando en contacto los neoprenos interpuestos entre el tablero y el bloqueo.

Además, se realizó el recorte de las alas de las vigas transversales extremas, para evitar posibles interferencias del tablero con los estribos durante las maniobras en que el puente requería desplazarse verticalmente.

También se bloquearon transversalmente las sillas mediante unos perfiles fijados a la cabeza de la pila, para impedir posibles movimientos en esa dirección.

3.1.2. Colocación del sistema de instrumentación de control

El sistema de instrumentación incluía bases de lectura en los cables existentes y en otros elementos como las vigas de rigidez y las sillas. Diariamente durante los trabajos, se tomaron lecturas de los datos registrados por la instrumentación.

El montaje del sistema de instrumentación incluyó la instalación de extensómetros de cuerda vibrante fijados mediante adhesivos sobre la viga de rigidez, los cables de retenida y los cables principales exteriores, de los que se colgaron después las péndolas provisionales. Estos extensómetros se fijaron a cada elemento mediante un adhesivo que constituye una "soldadura metálica en frío" de gran resistencia, y se protegieron de la polución mediante una carcasa, que llevaba incluido el sistema de medición de temperatura. Complementariamente, se realizó el cableado correspondiente, se colocaron las cajas de conexión bajo el tablero y las estaciones de adquisición de datos en la zona de entrada de los cables a las cámaras de anclaje, desde donde se conectaron al ordenador de lectura de datos.

En las sillas se colocaron transductores de desplazamientos (LVTD). Inicialmente, se pusieron transductores de rango +/-3 cm para las primeras fases de los trabajos y, posteriormente, se reemplazaron por otros de rango +/-10 cm para cubrir adecuadamente el resto de las fases.

Complementariamente, se hicieron levantamientos topográficos antes de iniciar las obras, para conocer la posición original del tablero y de los cables, y durante los trabajos de sustitución del sistema de cables, para registrar las variaciones que se producían.

Dentro de los trabajos de instrumentación y complementando los mismos, se realizó el pesaje de los cables que conformaron el sistema provisional de suspensión del tablero.

En los ocho cables de retenida, actuando con gatos hidráulicos desde las cámaras de anclaje, se comprobó el grado de adecuación entre los datos teóricos de proyecto

measurements for these cables proved to be more widely dispersed than for the guylines. The mean force on the La Aldea side cables was greater than on the Amposta side, and the loads on the right side of the bridge were greater than on the left.

Finally, two threaded rods on each provisional suspender or hanger were also instrumented with strain gauges.

3.1.3.Provisional support system

This system consisted in a set of twelve provisional suspenders or hangers, uniformly distributed at six points on each side of the bridge. Once loaded, they transferred the weight of the deck to only four of the eight main cables on each side to be able to remove the four middle cables. The deck was consequently supported by the two inner-most and two outer-most (jointly, the "external") cables in each set of eight. In other words, the reduction of permanent loads made it possible to suspend the entire deck from only half of the main cables. Throughout the process, the load on these cables never exceeded half of their ultimate load.

Each of the provisional suspenders consisted in eight cables in two groups of four, which were attached to the initial main cables via individual bands. Each hanger was attached to the deck with two steel plates, one over the top and the other under the bottom flange of the transverse girder, joined by threaded rods. This arrangement made it possible to adjust the length and consequently ramp the tensioning and de-tensioning of the suspenders during load transfers (Figure 8).

The ultimate load for the 18 mm diameter cables comprising the hangers was 200 kN. Assuming the maximum working load to be half the ultimate load, the bearing capacity per suspender (eight cables each) during load transfer was 800 kN, comfortably accommodating the 500 kN required.



Figura 8. Péndolas provisionales cortas.
Figure 8. Provisional short suspenders.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

y la situación real del puente. El resultado de este pesaje fue que, frente a los 343 kN por cable previstos en proyecto, la media obtenida fue 330 kN para los cables del lado Amposta y 370 kN para los del lado La Aldea.

Se realizó también el pesaje de los ocho cables principales exteriores desde las cámaras de anclaje. Teniendo en cuenta que la carga estimada en proyecto era 478 kN por cable, el resultado de estos pesajes dio una dispersión de fuerzas medidas mayor que en el caso de los cables de retenida. Se comprobó que la fuerza media de los cables del lado La Aldea era mayor que la de los del lado Amposta, siendo además mayores las cargas en el lado derecho del puente que en el izquierdo.

Finalmente, la colocación de la instrumentación se completó con extensómetros en dos varillas roscadas de cada péndola provisional.

3.1.3. Colocación del sistema de sustentación provisional

Este sistema estaba compuesto por un conjunto de doce péndolas provisionales, distribuidas uniformemente en seis puntos a cada lado del puente que, una vez en carga, transmitían el peso del tablero a sólo cuatro de los ocho cables principales por cada lado, para poder, de esta forma, retirar los cuatro centrales. El tablero quedaba sustentado por las dos parejas de cables más exteriores de cada conjunto de ocho cables (cables exteriores). La sustentación del tablero completo sobre la mitad de los cables principales fue posible gracias a la reducción de las cargas permanentes. A lo largo del proceso, la carga en esos cables no sobrepasó nunca la mitad de su carga de rotura.

Cada una de las péndolas provisionales estaba compuesta por ocho cables en dos alineaciones, que se fijaban a través de perchas individuales a los cables principales antiguos. La unión de cada cable de péndola con el tablero se hizo mediante placas metálicas abrazando la viga transversal, unidas a través de barras roscadas. Estas uniones al tablero son las que permitieron la regulación en longitud y, por tanto, el tesado y destesado, por fases, de las péndolas durante las transferencias de cargas (Figura 8).

Los cables de las péndolas tenían 18 mm de diámetro y una carga de rotura de 200 kN. Asumiendo como carga máxima de trabajo la mitad de la de rotura, la capacidad portante por péndola durante la transferencia de carga (ocho cables por péndola) fue 800 kN, con suficiente margen adicional sobre los 500 kN requeridos.

Salvo para las cuatro péndolas provisionales más largas (las más cercanas a los pilonos), fue necesario retirar dos péndolas antiguas por cada nueva péndola provisional para disponer del espacio suficiente para su colocación. En las péndolas provisionales más largas, fue necesario salvar las interferencias con la viga secundaria y con el tercer tirante.

With the exception of the four longest provisional suspenders (the ones closest to the piers), two initial hangers had to be removed to make space for each provisional suspender. The secondary beam and third stay constituted obstacles whose interference had to be avoided when positioning the longest provisional suspenders.

Since the provisional hangers were attached to the external cables only, the shape of the deformation (polygons or curves) on these cables varied during load transfer from the initial to the provisional system and from the latter to the new system. Moreover, room had to be allowed for the central cables in the space between the external main cables. Since this was particularly complex in the mid-span area due to the very short distance between the cables and the stiffening girder, as well as during loading of the new main cables due to their larger diameter, the suspenders were designed to be sufficiently flexible to allow room for the cables and overcome these spatial constraints.

While the provisional system was being erected, the new cables, custom manufactured to the millimetre in Germany by PFEIFER, along with all other necessary elements, were delivered and stored on site.

3.2. Load transfer to the provisional system

3.2.1. Load transfer to the provisional system cables

Loads were transferred to the provisional system by stages to guarantee full control throughout. This modus operandi was the outcome of the need, on the one hand, to ensure that the loads were transferred as envisaged in the design estimates, and on the other to prevent risks. Of particular concern were risks occasioned by the existing cables, whose performance could not be wholly ensured due to their deterioration, despite the reasonable safety factors adopted in the design in connection with their use as provisional support for the bridge.

To estimate bridge behaviour both during the load transfer from the existing to the provisional system, and from the latter to the new arrangement, the intermediate stages were analyzed in the design stage to be able to monitor and evaluate bridge behaviour during all cable replacement operations. Non-linear structural engineering software specifically developed by PROES was used in this regard to check the existing bridge and the design of the rehabilitated structure.

The transfer necessitated the existence of equipment to tension and de-tension the provisional suspenders, main cables and initial guylines. The tensioning train and hydraulic equipment used were chosen for their suitability to cable termination and support surface geometry and characteristics, as well as the tensioning and de-tensioning requirements. On numerous occasions, the shape and arrangement of this equipment were determined by the spatial constraints imposed by the existing structure.

The provisional suspenders were loaded by tensioning their eight cables simultaneously. This involved installing a series

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Debido a que las péndolas provisionales estaban fijadas sólo a los cuatro cables exteriores, durante las transferencias de cargas, del sistema antiguo al provisional y de éste al nuevo, se produjeron diferentes configuraciones de deformación (poligonales o curvas) en los cables principales exteriores e interiores. Dado que era necesario permitir el paso de los cables interiores por el espacio que dejan los cables principales exteriores, y esto era especialmente complejo en la zona de centro de vano, por la gran proximidad de los cables principales exteriores a la viga de rigidez, así como en la puesta en carga de los cables principales nuevos, por el mayor diámetro de los mismos, se diseñó un sistema de péndolas con la suficiente flexibilidad para permitir el paso de los cables y salvar las restricciones de espacio que se produjeron.

Simultáneamente a la colocación del sistema provisional, se realizaron los trabajos de acopio de los nuevos cables, fabricados a medida con precisión milimétrica en Alemania por la empresa PFEIFER, y del resto de elementos necesarios.

3.2. Transferencia de cargas al sistema provisional

3.2.1. Proceso de transferencia de cargas a los cables del sistema provisional

La transferencia de cargas al sistema provisional se realizó en varias fases, con el fin de garantizar el control de todo el proceso. El fundamento de esta forma de actuación se basaba, por una parte, en la necesidad de poder controlar que la transferencia se realizaba de acuerdo con las estimaciones teóricas y, por otra, evitar cualquier tipo de riesgos, especialmente los motivados por el deterioro de los cables existentes, que no permitía asegurar el comportamiento totalmente correcto de los mismos, aunque en proyecto se habían considerado coeficientes de seguridad razonables para su utilización como sistema provisional de sustentación del puente.

Para la estimación del comportamiento del puente, tanto durante la transferencia de cargas del sistema existente al provisional, como de éste al nuevo, se realizó el análisis de las fases intermedias de los procesos, para poder controlar y evaluar el comportamiento del puente durante todas las fases de la sustitución de los cables, utilizando un programa de cálculo no lineal específicamente desarrollado en PROES para la comprobación del puente existente y el proyecto de la estructura rehabilitada.

La transferencia hizo necesario tener equipos disponibles para tesar y destesar las péndolas provisionales, los cables principales y los de retenidas antiguos. Para ello, se emplearon puentes de tesado y equipos hidráulicos adecuados a la geometría y características de los terminales de los cables y de las superficies de apoyo, así como a las necesidades de cargas de tesado o destesado. En numerosas ocasiones, la forma y disposición de los equipos fueron determinadas por las restricciones de espacio que imponía la estructura existente.

of sixteen 200 kN hydraulically interconnected hollow jacks so the hydraulic plant applied the same pressure on all points. When the time came, these hangers were similarly de-tensioned.

The initial main cables and guylines were anchored to the anchorage grid across four threaded bars. These bars had to be extended by coupling them to a second threaded bar to install the tensioning equipment. Because of the characteristics and condition of the anchorage bars, a separate coupling had to be custom-machined for each one. These cables were tensioned or de-tensioned by resting the jack on the grid in a way such, that when engaged it pushed a beam or plate that pulled against either two or four extension bars, respectively. This operation was completed by tightening or loosening the termination bolts or, depending on the condition of the bolts, by inserting steel plates (Figure 9).

600, 1,000 and 1,400 kN jacks were used in the anchorage chambers, with their respective pumps and hydraulic circuits. Beams were attached to the smallest capacity pumps to draw two bars with loads of up to approximately 600 kN, whereas with plates and more powerful jacks, loads of up to 1 300 kN were attained, drawing four bars.

The load transfer stages are summarized in Table 1.

The provisional suspenders were tensioned beginning at the two ends of the bridge and working symmetrically toward mid-span, on the right and left, first from the Amposta side (first suspender on the left and right), and next the symmetrical suspender on the La Aldea side, and so on successively (Figure 10). The same intermediate steps in these operations were always the same: first, chain blocks were placed on the



Figura 9. Tesado de cables desde las cámaras de anclaje.
Figure 9. Tensioning cables from anchorage chambers.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Tabla 1. Proceso de transferencia de cargas del sistema original al provisional.
Table 1. *Load transfer from the initial to the provisional system stage element.*

FASE *STAGE*	ACTUACIONES / *ELEMENTS*					Tirantes y cable horizontal *Stays and horizontal cable*
	Péndolas provisionales *Provisional suspenders*	Péndolas existentes *Existing suspenders*	Cables principales exteriores *External main cables*	Cables principales interiores *Central main cables*	Cables de retenida *Guylines*	
0	Instalación *Installation*	Retirada *Removal of* 10, 11, 28, 29, 45, 46, 63 y 64	Fo=500 kN	Fo=500 kN	Fo=345 kN	_____
1 (Figura 10) *(Figure 10)*	Tesado al 20% *Tensioning to 20 %* (Ff=100 kN)	Retirada *Removal of* 1, 2, 3, 71, 72, y 73	_____	_____	_____	_____
2	Tesado al 40% *Tensioning to 40%* (Ff=200 kN)	Retirada *Removal of* 4, 8 , 9, 12, 13, 26, 27, 30, 31, 43, 44, 47, 48, 61, 62, 65, 66 y 70	Tesado a *Tensioning to* Ff=620 kN	Destesado a *De-tensioning to* Ff=370 kN	_____	_____
3	Tesado al 60% *Tensioning to 60%* (Ff=300 kN)	_____	Tesado a *Tensioning to* Ff=814 kN	Destesado a *De-tensioning to* Ff=250 kN	Destesado a *De-tensioning to* Ff=225 kN	_____
4 (Figura 11) *(Figure 11)*	Tesado al 80% *Tensioning to 80%* (Ff=400 kN)	Retirada *Removal of* 5, 6, 7, 14, 15, 59, 60, 67, 68 y 69	Tesado a *Tensioning to* Ff=940 kN	Destesado a *De-tensioning to* Ff=126 kN	_____	Retirada *Removal of* T1 y T2
5	Tesado al 100% *Tensioning to 100%* (Ff=500 kN)	Retirada *Removal of* 16 a 25, 32 a 42 y 49 a 58	_____	_____	_____	Retirada *Removal of* T5 a T6 y T3 a T4
6 (Figura 12) *(Figure 12)*	_____	_____	Tesado a *Tensioning to* Ff=1.170 kN	Destesado a *De-tensioning to* Ff=0 kN	Destesado a *De-tensioning to* Ff=0 kN	Retirada cable horizonal *Removal of horizontal cable*

En las péndolas provisionales, la puesta en carga se realizó tesando sus ocho cables de forma simultánea, para lo que se dispusieron en las varillas de las péndolas una serie de dieciséis gatos huecos, de 200 kN de capacidad, conectados hidráulicamente entre sí, de manera que la central hidráulica aplicaba la misma presión en todos los puntos. El destesado de las péndolas provisionales se realizaba de forma similar a la puesta en carga.

Los cables antiguos, tanto principales como de retenida, se fijaban en los emparrillados de anclaje a través de cuatro barras roscadas. Para la instalación de los equipos de tesado, fue necesario extender dichas barras a través de un manguito y barra roscada de prolongación. Dadas las características y el estado de las barras de

left side and sixteen jacks (two for each suspender cable) on the right, all hydraulically connected to the same station to tension and load all the cables evenly and at the same time.

The general idea was to tension one side, offsetting the force with chain blocks on the other to hold the deck in its original position and prevent possible bowing or twisting. The jacks were then positioned on the other side of the bridge without removing the blocks, and the cables were tensioned to the same load increment. A tolerance of +/- 10 % of the tensioning load on the provisional suspenders was allowed in all cases.

All data (topographic for the deck and cables, forces on cables, saddle displacements and so on) were compiled after each

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

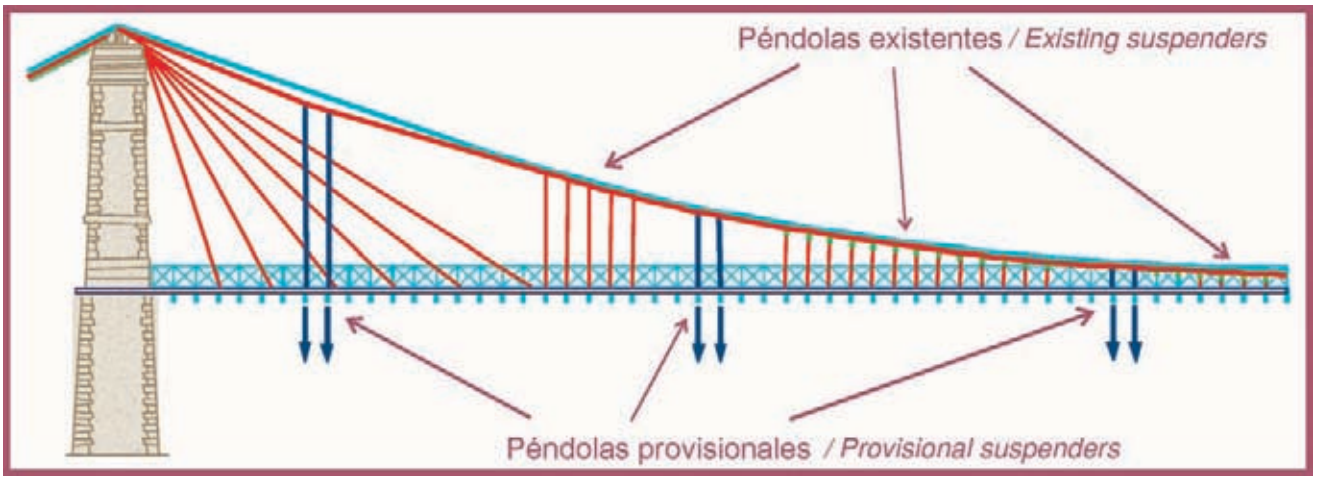

Figura 10. Montaje de péndolas provisionales y primeros escalones de transferencia de carga.
Figure 10. Positioning provisional suspenders and initiating load transfer.

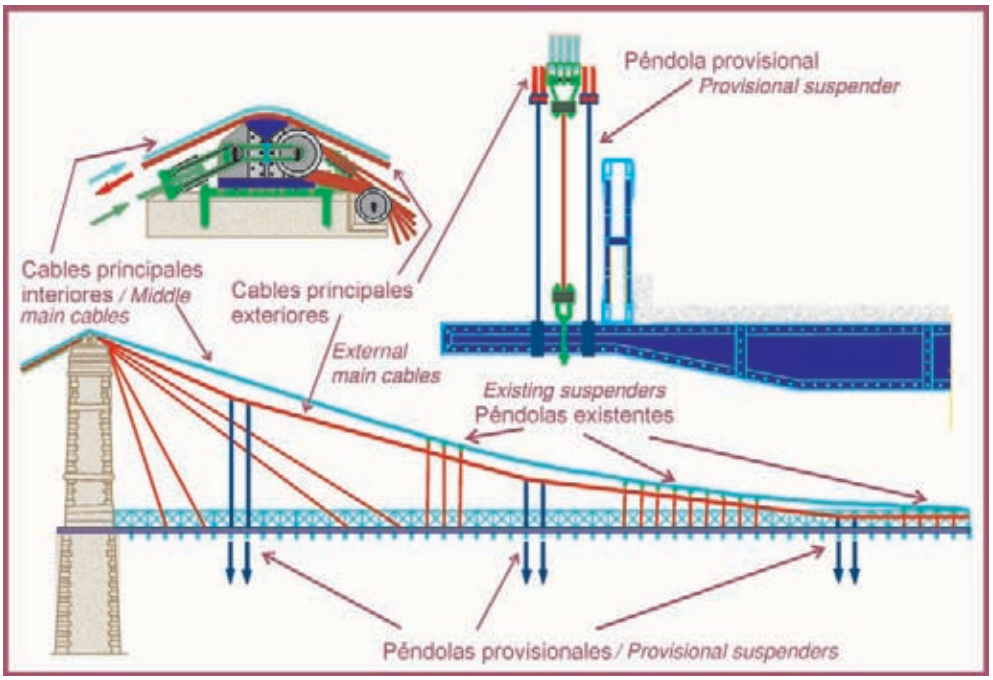

Figura 11. Tesado de péndolas provisionales y destesado de las existentes. Actuaciones en cámaras de anclaje.
Figure 11. Tensioning provisional suspenders and de-tensioning existing ones. Actuation from anchorage chamber.

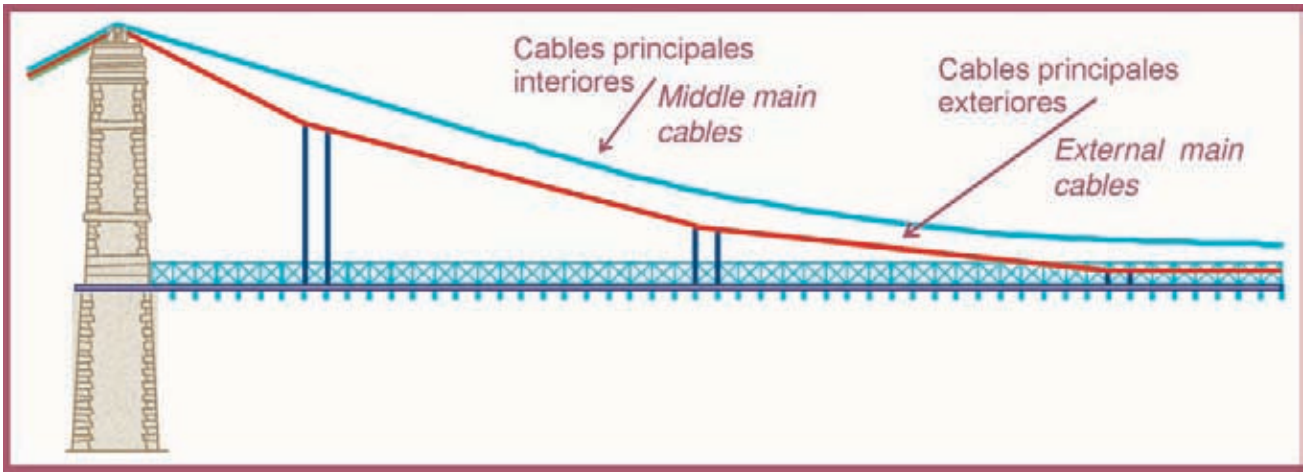

Figura 12. Destesado total de cables a retirar: principales interiores, tirantes y de retenida.
Figure 12. Total de-tensioning of cables to be removed: middle main cables, stays and guylines.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

anclaje, hubo que mecanizar manguitos a medida para cada una de las barras del emparrillado. El tesado o destesado de estos cables se realizó apoyando el gato sobre el emparrillado, de forma que al accionarse empujaba una viga o placa que tiraba de dos o cuatro barras de extensión, respectivamente. La operación se completaba con el giro de las tuercas del terminal o, según el estado de las mismas, con la interposición de chapas (Figura 9).

En las cámaras de anclaje, se emplearon gatos de distintas capacidades: 600, 1.000 y 1.400 kN, con su correspondiente bomba y circuito hidráulico. En los puentes tipo viga se emplearon cargas hasta 600 kN aproximadamente, tirando de dos barras del terminal, y en los puentes tipo placa, que tiraban de cuatro barras, hasta 1.300 kN.

Las fases del proceso de transmisión de las cargas se resumen en la Tabla 1.

El tesado de las péndolas provisionales se hizo desde los extremos del puente hacia el centro de vano de forma simétrica a derecha e izquierda, comenzando por el lado Amposta (primera péndola a izquierda y derecha) y posteriormente su simétrica desde el lado La Aldea, y así sucesivamente (Figura 10). Estas maniobras se realizaron de la misma forma en todas las operaciones intermedias: en primer lugar, poniendo en el lado izquierdo unos polipastos de cadena, y en el derecho dieciséis gatos (dos por cada cable de la péndola), todos conectados hidráulicamente a la misma central, de manera que pudieran dar tensión a todos los cables al mismo tiempo y se cargaran de manera homogénea.

La idea general era dar tensión de un lado con los gatos y compensar con polipastos de cadena en el otro, de tal forma que el tablero se mantuviera en su posición inicial, evitando así que pudiera alabearse o torsionarse. A continuación, se cambiaban los gatos al otro lado del puente, sin quitar los polipastos, y se daba el mismo escalón de carga. En todos los casos se admitió una tolerancia de +/-10 por ciento de las cargas de tesado de las péndolas provisionales.

Después de cada una de las fases se hizo una recopilación completa de datos (topografía de tablero y de los cables, fuerzas en cables, desplazamientos en sillas, etcétera) para compararlos con las estimaciones teóricas y confirmar o ajustar las operaciones previstas originalmente para las fases siguientes.

Las péndolas antiguas se fueron retirando a medida que presentaban holgura entre los cables principales y los fijadores de las perchas.

Al concluir la fase de transferencia del 40 por ciento, se hizo el corte de la parte exterior de las perchas, de manera que se desvinculaban totalmente los cables exteriores de los interiores, quedando las péndolas provisionales colgadas de los principales exteriores y las péndolas existentes sólo de los interiores. Complementariamente, en las péndolas antiguas más próximas a los estribos se



Figura 13. Sistema de cables durante la transferencia inicial de cargas.
Figure 13. Cable system during initial load transfer.

stage and compared to the theoretical estimates to follow the design schedules or adjust the successive stages as necessary.

The initial suspenders were progressively removed as slackening was observed between the main cables and the band fasteners.

When 40 per cent of the load had been transferred, the outer side of the bands was severed, completely releasing the connection between the external and middle cables, with the provisional suspenders attached only to the former and the initial suspenders only to the four middle cables. Similarly, the outer part of the bands was severed in the hangers closest to the abutments so they would not interfere with the descent of the external and middle main cables in subsequent load increments. The top band clasps on the initial suspenders closest to mid-span were removed so these hangers would not interfere with the rise of the external cables or therefore with the concomitant formation of the respective polygon (Figure 13).

As bands and clasps were severed, the external cables adopted a polygonal shape, connecting the provisional hangers linearly, while the middle cables rose by nearly 20 cm between the two sets of short suspenders (Figure 14). This operation



Figura 14. Retirada de péndolas con eslingas y polipastos.
Figure 14. Suspender removal with slings and chain blocks.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

cortó la parte exterior de la percha, de manera que en posteriores escalones de carga, éstas no interfirieran con el descenso de los cables principales exteriores. En las péndolas existentes más centrales se retiró el latiguillo superior de la percha, de forma que no impidiera el ascenso de los cables principales exteriores y, con ello, la formación de la poligonal correspondiente en los mismos (Figura 13).

A medida que se fueron cortando perchas y latiguillos, los cables exteriores adquirieron forma poligonal, disponiéndose en alineación recta entre las péndolas provisionales y experimentando una subida de casi 20 cm entre las más cortas (Figura 14). Al finalizar esta desvinculación, se produjo un reajuste de cargas en el puente y fue necesario destesar la mitad de las péndolas provisionales para dejarlas a la carga prevista.

También se retiraron las presillas que conectaban las dos partes de un mismo cable que formaba cada pareja de tirantes, tras su paso por las poleas existentes en las sillas. De este modo, se consiguió que en los siguientes escalones de transferencia, las fuerzas se reequilibraran en cada pareja de tirantes que estaban formadas por un único cable.

Durante las últimas actuaciones en los cables interiores y de retenida se registraron valores de fuerza bastante mayores que los previstos, lo cual se explicaba por un mayor rozamiento de los cables en su apoyo sobre las sillas. Por ello, se incorporó a la toma de datos de control el posible deslizamiento de los cables sobre las cunas de apoyo en las sillas y se limitó el mismo a 20 mm.

La retirada de las péndolas antiguas se realizó desde el tablero, con ayuda de una plataforma y una carretilla elevadoras, mientras que la de los tirantes se hizo desde el estribo con ayuda de una grúa.

3.2.2. *Retirada parcial del sistema de cables existente*

Una vez finalizada la transferencia de cargas se comenzó a retirar el resto de elementos: resto de péndolas antiguas, placas de conexión a vigas transversales, perchas, latiguillos, etcétera.

Algunas péndolas antiguas habían quedado con cargas residuales, por lo que, para su retirada con seguridad, se emplearon eslingas textiles y polipastos (de 60 kN de capacidad portante) anclados a las vigas transversales y abrazando los cuatro cables interiores, descargando así cada una de las péndolas antes de su retirada.

Una vez retiradas todas las péndolas antiguas, los tirantes y el cable horizontal, y destesados los cables de retenida, el tablero se encontraba sustentado únicamente por las péndolas provisionales y, a través de ellas, por los cables principales exteriores (Figura 15).

Entonces, se retiraron los cables principales antiguos interiores (Figura 16), cuyo peso era 60 kN. Este proceso se inició destesando completamente cada uno de los



Figura 15. Sistema de cables finalizada la transferencia de cargas a las péndolas provisionales.
Figure 15. Cable system after conclusion of load transfer to provisional suspenders.

generated a readjustment of loads on the bridge, which necessitated de-tensioning half of the provisional suspenders to the envisaged load.

Each pair of stays comprised a single cable, whose two parts were connected by clamps located on the far side of the saddle pulleys. These clamps were also removed to ensure that the forces on each pair of stays formed by a single cable would be re-balanced in subsequent transfer increments.

The force values recorded on the middle cables and guylines in these final operations were substantially higher than expected, as a result of the greater friction between the cables and the saddles. Data compilation was therefore extended to include monitoring of possible cable slipping over the support grooves in the saddle and a maximum tolerance of 20 mm was established.

The initial suspenders were removed from the deck with the aid of a hoisting platform and truck lift, while the stays were removed with the aid of a crane operating from the abutment.

3.2.2. Partial removal of the initial system of cables

Removal of the rest of the elements began once the loads had been transferred. This included initial suspenders and the plates connecting them to the transverse girders, bands, clasps and so on.

Since some of the initial hangers were still partially loaded, textile slings and 60 kN hoisting blocks, anchored to the transverse girders and wrapped around the four middle cables, were used to unload each suspender and ensure safe removal.

Once all the initial suspenders and stays and the horizontal cable were removed and the guylines de-tensioned, the deck

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

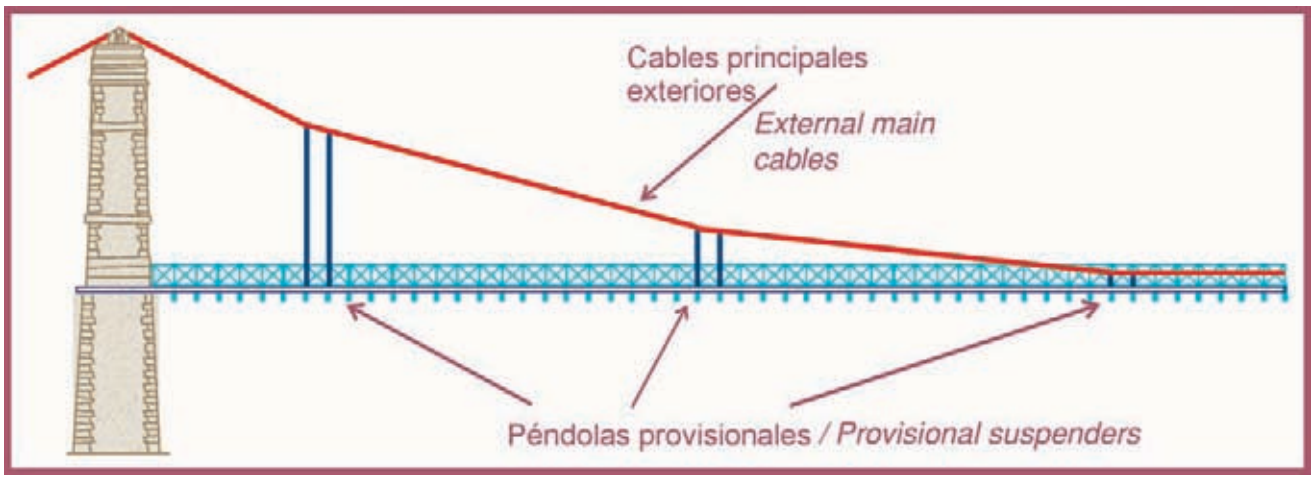

Figura 16. Puente suspendido por cables principales exteriores antiguos y péndolas provisionales.
Figure 16. Bridge suspended from initial external cables and provisional suspenders.

cables, extrayendo luego sus extremos de las cámaras en ambos lados del puente y amarrándolos sobre el nivel del suelo. A continuación se fijaron a sendos cabrestantes, y se elevó cada cable con una grúa, apoyándolo sobre las estaciones de poleas situadas en los pilonos. Uno de los cabrestantes se empleaba para tirar de un extremo del cable y el otro frenaba el extremo opuesto, desenrollando un cable auxiliar. El cable retirado se extendió sobre carritos móviles en el lado de La Aldea y posteriormente se fraccionó para su retirada.

Para la retirada y extracción de los cables de retenida se siguió el mismo proceso que para los cables principales.

En el tendido de los cables principales nuevos se empleó un proceso similar, pero en dirección inversa, al utilizado para la retirada de los cables antiguos.

3.2.3. Rehabilitación parcial de las sillas y de los emparrillados de anclaje

Los trabajos de rehabilitación de los emparrillados de anclaje se iniciaron con una pequeña demolición parcial del interior de la cámara de anclaje que permitiera el paso de los futuros cables principales, puesto que dos de ellos se fijaron a mayor cota que los cables antiguos.

A continuación, se rehabilitaron parcialmente los emparrillados de anclaje del puente, comenzando por la retirada de los perfiles horizontales antiguos, la limpieza mediante cepillo mecánico de los elementos metálicos a conservar, la regularización de la superficie para garantizar un mejor apoyo de la nueva estructura, la pintura de los perfiles verticales que se conservaron, y el saneo y enfoscado de los paramentos del macizo de anclaje. Luego se colocaron las tres nuevas vigas horizontales, correspondientes a esta primera fase de rehabilitación, y el chapón de reparto. Finalmente, se realizaron ensayos de las soldaduras de los nuevos elementos metálicos incorporados.

La primera fase de los trabajos de rehabilitación de las sillas del puente se inició con la retirada de los bulones

suspended from the provisional hangers only and, across them, from the external main cables (Figure 15).

The 60 kN initial middle main cables were then removed (Figure 16). This process was initiated by completely de-tensioning each cable, pulling the ends out of the chambers on each side of the bridge and anchoring them at ground level. They were then attached to winches and each cable was hoisted with a crane, resting it on pulley stations located on the piers. One of the winches was used to draw one end of the cable while the other controlled the other end by unwinding an ancillary cable to which it was attached. The cable removed was placed on trolleys on the La Aldea side and later cut into sections for removal.

The same method was used to remove the guylines.

A similar procedure was deployed to lay the new main cables, but in reverse order.

3.2.3. Partial rehabilitation of saddles and anchorage grids

The first stage of rehabilitation on the anchorage grid consisted in the minor demolition of part of the anchorage chamber interiors to open penetrations for the future main cables, since two were to be anchored at higher elevations than the initial cables.

This was followed by partial rehabilitation of the bridge anchorage grids, which involved removing the initial horizontal shapes, machine scrubbing the steel members to be conserved, smoothing the surface to ensure that the new structure would be firmly secured, painting the vertical shapes to be conserved and repairing and roughcoating the walls of the concrete anchorage deadweight. The three new horizontal beams for this first rehabilitation stage were then positioned, together with the distribution flat. Finally, the welds on the new steel members were tested.

The first stage of saddle rehabilitation began with the removal of the attachment pins for the guylines and the stay pulleys. The surfaces of the saddles consequently exposed were

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

de fijación de los cables de retenida y de las poleas de los tirantes, luego se limpiaron mediante cepillado mecánico las superficies vistas de las sillas y posteriormente se pintaron. Asimismo, en esta fase se realizaron los cuatro taladros pasantes en el alma de la silla, necesarios para alojar las nuevas horquillas de transferencia de carga de los bulones de los cables de retenida a los bulones de los tirantes (Figura 17).

Luego se colocaron los bulones nuevos, así como las horquillas de compensación, una vez montados los terminales de los tirantes y de los cables de retenida nuevos, y se instaló, en las cuatro sillas, el suplemento superior que permitió aumentar el radio de curvatura de las cunas sobre las que apoyarían los cables. Finalmente, se instalaron los cuatro cilindros desviadores de los tirantes, dos en cada pila.

3.3. Colocación del nuevo sistema de cables

3.3.1. Colocación parcial del sistema de cables nuevos

Simultáneamente a la colocación de los cuatro nuevos cables principales por cada lado del puente sobre las sillas rehabilitadas, se realizó una serie de trabajos complementarios para su montaje, entre ellos, la instalación de los nuevos terminales para los tirantes y para el cable horizontal (estructuras metálicas soldadas a la viga secundaria existente), las placas de conexión de las nuevas péndolas fijadas a las vigas metálicas trasversales del tablero, etcétera.

Se dispusieron primero los cables principales del lado izquierdo y luego los del lado derecho. La forma de montaje de los mismos fue similar a la que se ha expuesto para desmontar los cables interiores existentes, utilizando los mismos medios auxiliares.

Una vez colocados sobre las sillas, se posicionaron mediante grúas que izaban el cable, permitiendo desplazarlo hasta que la marca coincidía con su posición correcta sobre la silla. Para poder fijar los extremos de los cables a las placas de anclaje en las cámaras, fueron necesarias barras roscadas auxiliares dispuestas en las mazarotas de los cables y puentes de tesado preparados para esta actuación.

Una vez instaladas las mazarotas en las placas de los emparrillados de anclaje, se colocaron los extensómetros correspondientes a la instrumentación de los nuevos cables principales. Se utilizaron dieciséis extensómetros en total, distribuidos a cada lado del puente, en los dos cables principales exteriores nuevos, tanto hacia el centro del vano como hacia ambos emparrillados de anclaje.

Por razones de seguridad, durante la transferencia de cargas del sistema provisional al nuevo, fue necesario disponer sistemas auxiliares: cables de retenida provisionales y un sistema antideslizamiento de los cables nuevos.

machine scrubbed and painted. In this stage four holes were drilled through the saddle body to house the new clevises that would transfer the load on the guyline pins to the stay pins (Figure 17).

After the new stay and and guyline terminations were mounted, the new pins and clevises were installed and a piece was added to the top of the four saddles to enlarge the radius of curvature of the grooves that would house the cables. Finally, four deviation cylinders for the stays were installed, two on each pier.

3.3. New cable system installation

3.3.1. Partial installation of new cable system

While the four new main cables were being laid on the rehabilitated saddles on each side of the bridge, a series of additional of related tasks were performed, including the installation of new terminations for the stays and the horizontal cable (steel structures welded to the existing secondary beam), the attachment of the new suspender connection plates to the transverse steel girders on the deck and so on.

The main cables were laid first on the left and then on the right side of the bridge. Assembly was conducted along much the same lines as the dismantling of the initial middle cables, using the same ancillary equipment.

Once they were laid on the saddles, they were positioned with cranes that set them into the correct position marked on the saddle. Ancillary threaded bars installed in the cable sockets and tensioning trains were needed to attach the ends of the cables to the anchorage plates in the chambers.

Once the sockets were installed in the anchorage grid plates, the new main cables were fitted with strain gauges. A total of sixteen strain gauges were used, distributed along the two new external main cables on both sides of the bridge, toward both mid-span and the two anchorage grids.

For reasons of safety during load transfer from the provisional to the new system, an ancillary system had to be installed,



Figura 17. Una de las sillas durante la rehabilitación.
Figure 17. Saddle during rehabilitation.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Debieron utilizarse los cables provisionales de retenida porque existían incompatibilidades geométricas en los emparrillados de anclaje, por las que no era posible, en esta fase de los trabajos, el anclaje y tesado de los cables de retenida definitivos. Por seguridad frente a algún desplazamiento inesperado de las sillas hacia el centro de vano, se instaló un sistema de retenida provisional en cada una de ellas. Las retenidas provisionales estaban compuestas por cuatro cordones ϕ0,6" de acero de pretensado por silla, a los que se dio una pequeña precarga, de 20 kN por cable, para eliminar su catenaria.

Para fijar a la silla las retenidas, se diseñaron unas piezas con forma de orejeta, que se anclaban en ese momento de la obra a los bulones de las nuevas retenidas por el exterior de la silla. Se pusieron dos piezas por silla, en cada una de las cuales se anclaron dos cables, y se instalaron unas piezas metálicas deflectoras para evitar el roce de los cordones en la coronación de la pila. Para la fijación de los cordones en la cámara de anclaje, se emplearon los huecos dejados por las barras de anclaje del terminal de las retenidas antiguas.

Se consideró necesario poner un sistema que impidiera el posible deslizamiento de los cables nuevos, debido a que en ningún momento debían deslizar, desde su colocación y durante su puesta en carga, ya que esto modificaría su posición correcta, alterando la geometría y distribución de cargas final. El momento crítico, donde existía un mayor riesgo de deslizamiento, era al comienzo de su puesta en carga, cuando estaban sometidos a tensiones reducidas. Para evitar este peligro, se interpuso entre los cables una capa de arena fina, aumentando la rugosidad de la superficie y, por tanto, el coeficiente de rozamiento entre cables principales y sillas, y se instalaron unas perchas sobre los cables, en las proximidades de la cuna de la silla, tanto por delante como por detrás de ésta, de forma que si el cable intentaba deslizar en alguna de las dos direcciones (hacia los emparrillados o hacia el centro del vano), las perchas harían contacto con la silla, impidiendo su deslizamiento (Figura 18).

La capacidad de estos sistemas fue tenida en cuenta en el cálculo y determinación de la transferencia de cargas y su eficiencia fue la esperada, ya que no se observó ningún deslizamiento de los cables nuevos sobre las sillas durante el proceso.

3.3.2. Transferencia de cargas al nuevo sistema

Una vez posicionados los cables principales nuevos, comenzó la transferencia de cargas desde el sistema provisional a las péndolas nuevas y de éstas a aquéllos. Este proceso se realizó mediante el montaje progresivo de péndolas con su longitud definitiva y, por tanto, con la puesta en carga de las mismas. A medida que se colocaban las nuevas péndolas, los cables principales nuevos fueron tomando carga y los antiguos se fueron descargando (Figuras 19 y 20).



Figura 18. Sistema antideslizante de los cables principales nuevos.
Figure 18. Anti-slip system for new main cables.

consisting in provisional guylines and an anti-slip facility for the new cables.

The provisional guylines were needed due to geometric incompatibilities in the anchorage grids which made it impossible, in this stage of the works, to anchor and tension the permanent guylines. To prevent their unexpected displacement toward mid-span, a provisional guyline system was installed on each saddle. The provisional guylines consisted in four 0.6" strands of prestressed steel per saddle, which were slightly pre-loaded to 20 kN per cable to eliminate the catenary.

At this stage of the works, stud-shaped elements designed to attach the saddle to the guylines were anchored to the pins for the new guylines on the outer side of the saddle. Two such elements were installed per saddle and two cables were anchored to each. Steel deflector elements were also installed to prevent friction between the strands and the pier crown. These strands were secured in the anchorage chamber using the holes left by the anchorage bars that housed the initial guyline terminations.

A system to prevent the possible slipping of the new cables was regarded to be imperative, for slippage at any time after they were laid or during loading was unacceptable, inasmuch as such displacements would alter the final load geometry and distribution. The critical moment, in which risk of slipping was greatest, was during initial loading when stress values would be lowest. To prevent this hazard, a layer of fine sand was placed around the cables to increase the surface roughness and therefore the coefficient of friction between the main cables and the saddles. Bands were also installed on the cables on both sides of the groove in the saddle so that if the cable tended to slip in one of the two directions (toward the grids or inward, toward mid-span), these bands would clamp down on the saddle, checking any such movement (Figure 18).

The capacity of these systems was borne in mind when calculating and determining load transfers. They performed to satisfaction, for no cable slipping on the new saddles was observed during the process.

3.3.2. Load transfer to the new system

Once all the new main cables were in position, load transfer was begun from the provisional to the new system across the

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 19. Cables durante la transferencia de cargas del sistema provisional al definitivo.
Figure 19. Cables during load transfer from provisional to permanent system.

new suspenders and from there to the cables. In this process, the hangers involved were progressively mounted to their permanent length, which entailed their loading. As the new suspenders were positioned, loads began to be transferred from the initial to the new main cables (Figures 19 and 20).

Attendant upon the installation of the permanent suspenders, the new main cables were tensioned and the initial cables de-tensioned in the anchorage chamber, while each saddle was balanced to prevent the cables from slipping and ensure that their movements were controlled (Figures 21, 22 and 23).

Table 2 summarizes the load transfer stages from the provisional to the new system.

The tensioning equipment described above was used to de-tension the initial main cables, whereas the new main cables were tensioned with equipment adapted to their geometry, the loads to be applied and the spatial constraints in the grids.

In both the grids and on the deck, the new cables were ten-

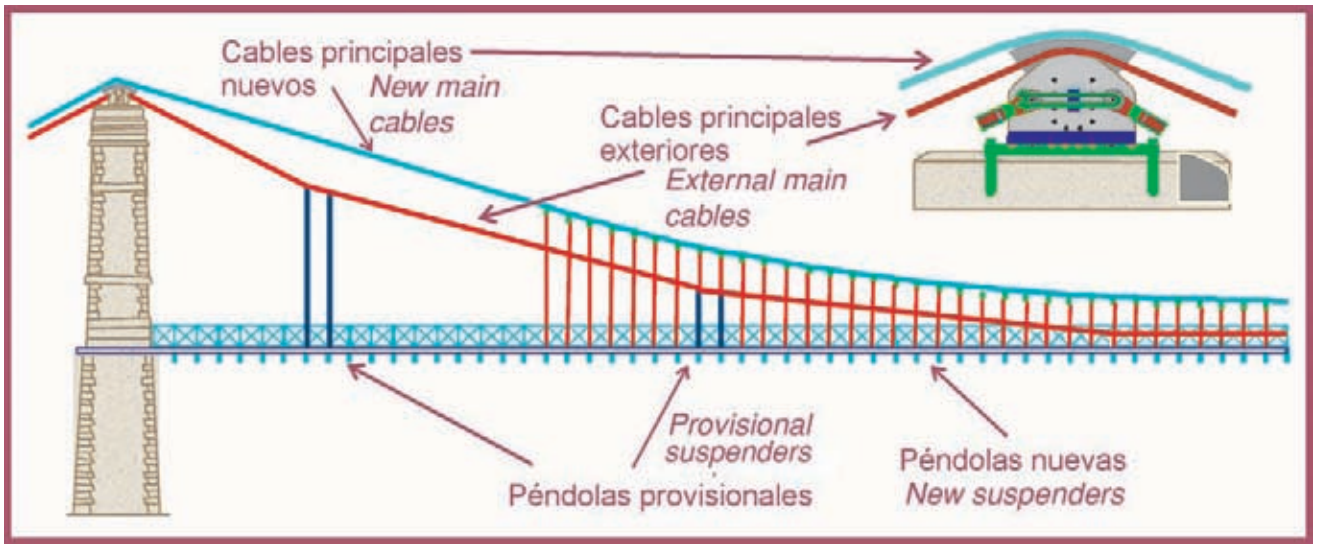

Figura 20. Montaje de nuevos cables principales, montaje y tesado parcial de nuevas péndolas.
Figure 20. Mounting new main cables, mounting and partial tensioning of new suspenders.

Esta conexión de péndolas definitivas se combinó con actuaciones en las cámaras de anclaje, tesando los cables principales nuevos y destesando los antiguos, equilibrando cada silla de forma que no se produjera deslizamiento en los cables y que sus movimientos estuvieran controlados (Figuras 21, 22 y 23).

En la Tabla 2 se resumen las fases de la transferencia del sistema provisional al nuevo.

Para el destesado de los cables principales antiguos se emplearon los equipos de tesado descritos anteriormente, mientras que para los cables principales nuevos, así como para las retenidas nuevas, se emplearon equipos de tesado adaptados a la geometría, las cargas a aplicar y el reducido espacio disponible en los emparrillados.

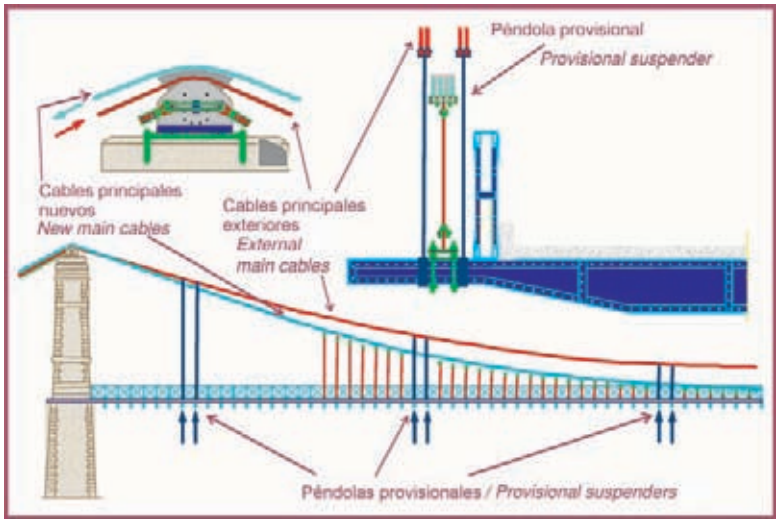

Figura 21. Destesados parciales de péndolas provisionales. Actuación en cámaras de anclaje.
Figure 21. Partial de-tensioning of provisional suspenders. Actuation from anchorage chamber.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Tabla 2. Proceso de transferencia de cargas: sistema provisional al nuevo.
Table 2. Load transfer: provisional to new system.

Fase *Stage*	Actuaciones /*Elements*						
	Sistema provisional		Nuevo Sistema de cables				
	Péndolas provisionales *Provisional suspenders*	Cables principales exteriores *External main cables*	Cables principales *Main cables*	Péndolas *Suspenders*	Cables de retenida *Guylines*	Tirantes y cable horizontal *Stays and horizontal cable*	Sillas *Saddles*
0	———	Destesado a *De-tensioning to* Ff = 1160 kN	Tesado a *Tensioning to* Ff = 100 kN	Colocación *Placement* 28 a 42	———	———	$U_{0,ALDEA}$ = + 20 mm $U_{0,AMPOSTA}$ = +100 mm
1	———	Destesado a *De-tensioning to* Ff = 1060 kN	Tesado a *Tensioning to* Ff = 220 kN	Colocación *Placement* 20 a 25 y 45 a 50	———	———	———
2	Consumo 25 cm regulación Pp medianas *Medium-sized S_p adjusted by 25 cm*	———	———	Colocación *Placement* 13 a 19 y 51 a 57	———	———	———
3	Consumo total regulación Pp medianas *Medium-sized S_p adjusted to limit*	Destesado a *De-tensioning to* Ff = 955 kN	Tesado a *Tensioning to* Ff = 349 kN	Colocación *Placement* 10 a 12 y 58 a 60	———	———	———
4	———	Destesado a *De-tensioning to* Ff = 845 kN	Tesado a *Tensioning to* Ff = 470 kN	Colocación *Placement* 1 a 7 y 63 a 69	———	———	———
5	Destesado Pp medianas a *De-tensioning medium-sized S_p to* Ff = 328 kN	Destesado a *De-tensioning to* Ff = 725 kN	Tesado a *Tensioning to* Ff = 596 kN	———	———	———	———
6	Destesado Pp cortas a *De-tensioning short S_p to* Ff = 208 kN	Destesado a *De-tensioning to* Ff = 610 kN	Tesado a *Tensioning to* Ff = 725 kN	———	———	———	———
7	Destesado Pp medianas a De-tensioning medium-sized S_p to Ff = 150 kN	Destesado a *De-tensioning to* Ff = 489 kN	Tesado a *Tensioning to* Ff = 853 kN	———	———	———	———
8	Colocación Pp nuevas largas *Placement new long* Fo = 175 kN	———	Tesado a *Tensioning to* Ff = 970 kN	———	———	———	U_{ALDEA} = - 17,5 mm $U_{AMPOSTA}$ = -17,5 mm
9	Colocación Pp nuevas largas Placement new long Ff = 320 kN	Destesado a *De-tensioning to* Ff = 0 kN	Tesado a *Tensioning to* Ff = 1200 kN	———	———	———	———
10	Retirada Pp viejas *Removal initial S_p*	———	———	Colocación *Placement* 8, 9, 26, 27, 43, 44, 61 y 62	Colocación y tesado a *Placement and tensioning to* Ff = 220 kN	———	———
11	Destesado Pp nuevas largas De-tensioning new long S_p Ff = 316 kN	———	———	———	———	Colocación *Placement*	———
12	Retirada Pp nuevas *Removal new S_p*	———	Destesado a *Tensioning to* Ff = 1000 kN	———	———	Puesta en carga *Loading*	———
13	———	———	Tesado a *Tensioning to* Ff = 1200 kN	———	Tesado a *Tensioning to* Ff = 400 kN	———	U_{ALDEA} = - 35 mm $U_{AMPOSTA}$ = -35 mm

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

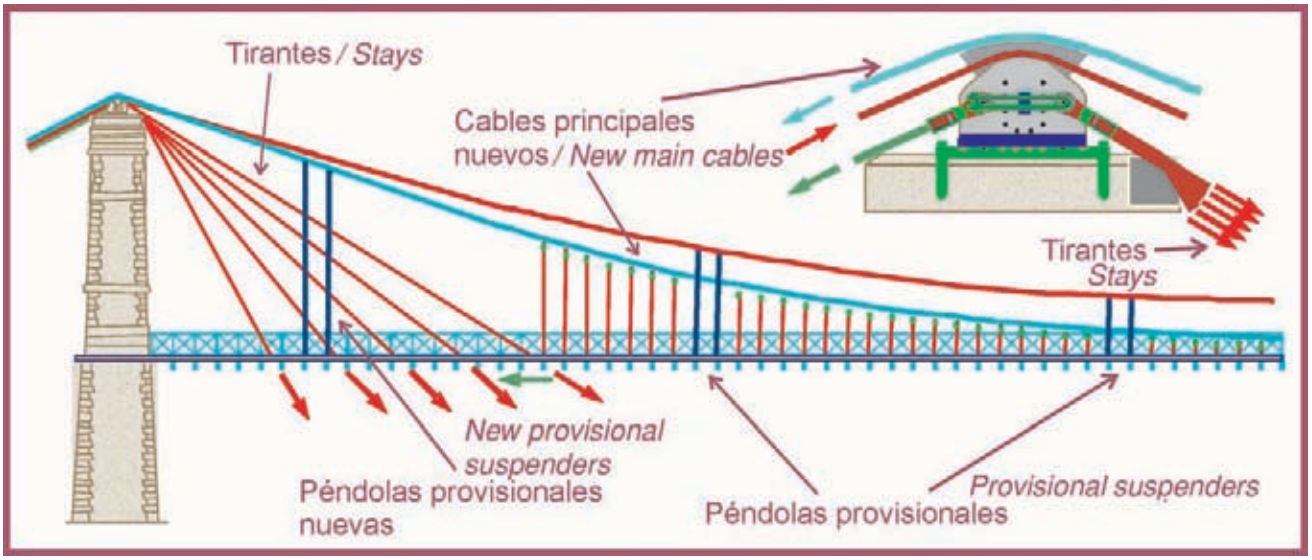

Figura 22. Montaje y tesado de tirantes, cables de retenida y cable horizontal.
Figure 22. Mounting and tensioning stays, guylines and horizontal cable.

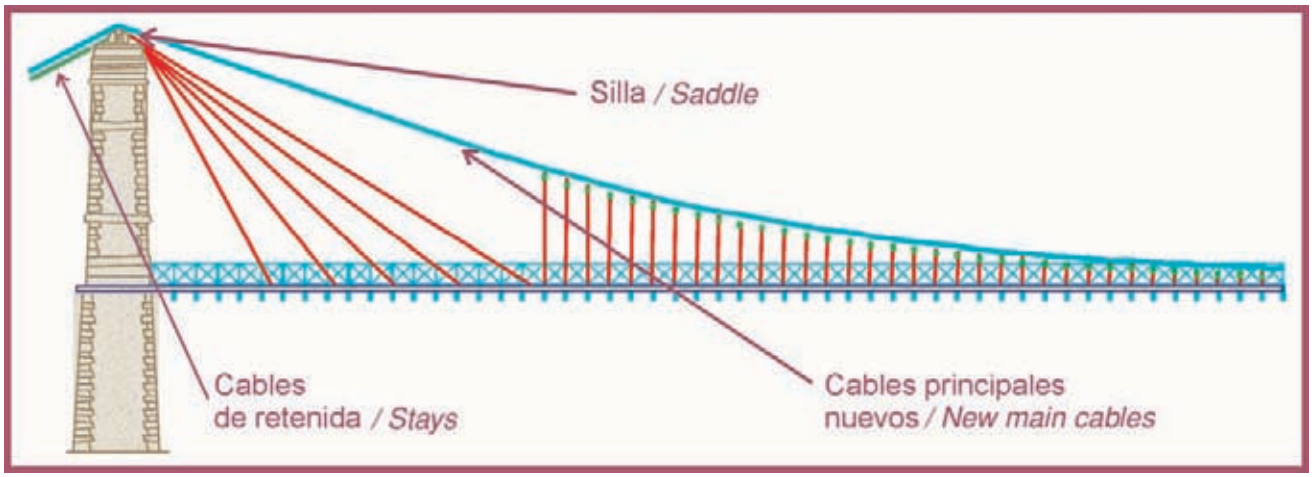

Figura 23. Puente sustentado por el nuevo sistema de cables.
Figure 23. Bridge suspended from new cable system.

Para los cables nuevos, tanto en los emparrillados como en el tablero, se emplearon puentes de tesado con placa de apoyo de forma hexagonal, a través de cuyo orificio central se permitía el paso de la barra de extensión que se roscaba al terminal. En algunos casos, por imposibilidad de roscar la tuerca en una primera embolada de gato, se emplearon dobles puentes de tesado. En cuanto a los gatos hidráulicos, se emplearon gatos huecos de 1.000 kN y 1.400 kN de capacidad máxima.

Las fases del proceso de transferencia de cargas al nuevo sistema se iniciaron estando las sillas en posición no simétrica, la del lado La Aldea desplazada 2 cm y la del lado Amposta 10 cm, ambas hacia el centro del vano, por lo que el proceso preveía corregir esta situación y dejarlas prácticamente centradas, que es la posición teórica de las sillas para carga permanente.

En total, se montaron 69 péndolas por cada lado. Para colocarlas, se utilizaron polipastos de cadena que se amarraron, por un lado, a los nuevos cables y, por el otro, a las vigas transversales, introduciéndoles la carga

sioned with a hexagonal plate tensioning train, whose central hole accommodated the extension bar that was screw-bolted to the termination. In some cases, where the bolt could not be turned with the first stroke of the jack, double tensioning trains were used. Hollow, 1,000 kN and 1,400 kN hydraulic jacks were used.

The load transfer process to the new system began with the saddles in non-symmetrical positions, with the La Aldea side displaced by 2 cm and the Amposta side by 10 cm, both toward mid-span. Consequently, the process envisaged correcting this situation and centring the saddles nearly perfectly to conform to the theoretical position for saddles under permanent loads.

A total of 69 suspenders were mounted on each side. They were erected with chain blocks tied on one end to the new cables and on the other to the transverse girders. They were loaded as needed to centre the adjustment range of the suspender. The suspenders were loaded when the chain blocks were subsequently removed (Figure 24).

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 24. Nuevas péndolas y sus sistemas de unión.
Figure 24. New suspenders and joining systems.

necesaria para poder llegar a realizar la conexión de la péndola, con su regulación centrada. Una vez realizada ésta, se quitaron los polipastos y la péndola quedó cargada (Figura 24).

La colocación de estas péndolas se realizaba de forma simétrica y a ambos lados, desde el centro del vano hacia los extremos. Parte de ellas se instrumentaron colocando un extensómetro en la barra de la péndola.

Al finalizar cada una de las fases, se fueron registrando los datos de control, similares a los tomados durante la transferencia de cargas al sistema provisional. Con estos datos se comprobaban y, en su caso, se ajustaban las fases de actuación siguientes, que se habían definido en un procedimiento, elaborado por PROES, a partir de los datos del modelo de cálculo que simulaba las operaciones de transferencia de cargas.

Para poder terminar la transferencia de carga sin tirantes, fue necesario disponer de unas péndolas provisionales nuevas conectadas a los cables nuevos en una posición próxima a las péndolas provisionales largas. Estas nuevas péndolas, que tenían las mismas características y sistema de accionamiento que las péndolas del sistema provisional, cumplían una doble función, disminuir el voladizo de la viga de rigidez hasta que se conectaran los tirantes y levantar el tablero en los extremos del puente.

En esta fase de colocación de las nuevas péndolas provisionales, tesando los cables nuevos se logró el desplazamiento que se preveía de las sillas, de forma que se colocaron aproximadamente a 17,5 mm de su eje hacia los emparrillados y se destesaron los cables principales viejos, consiguiéndose, por tanto, el equilibrio del sistema.

Concluidas las operaciones de transferencia de cargas al nuevo sistema, se realizó el destesado total de las péndolas provisionales. De este modo, se consiguió transferir el 100 por cien de la carga a los cables principales nuevos (Figura 25).

A continuación se retiraron las péndolas provisionales

These suspenders were erected symmetrically on both sides, from mid-span toward the ends of the bridge. Some were instrumented with strain gauges on the suspender bar.

Control data were recorded at the end of each stage, as was done during load transfer to the provisional system. These data were checked and, as appropriate, any necessary adjustments were made to the subsequent steps. Such steps had been defined in a procedure developed by ***PROES*** *using data from a structural engineering model that simulates load transfer operations.*

To complete the load transfer operation without stays, new provisional suspenders had to be connected to the new cables adjacent to the long provisional suspenders. These new suspenders, whose characteristics and mechanisms were identical to those of the provisional system hangers, fulfilled a dual function: to reduce the cantilever on the stiffening girder until the stays could be connected, and to raise the ends of the deck.

When the new provisional suspenders were fitted and the new cables tensioned, the saddles moved, as envisaged, to a position approximately 17.5 mm back from their centreline, i.e., toward the grids. As a result, system balance was achieved as soon as the initial main cables were de-tensioned.

After the load was fully transferred to the new system, the provisional suspenders were completely de-tensioned, and the new main cables received 100 per cent of the load (Figure 25).

The short, medium-length and long provisional suspenders were then removed, as well as the initial external cables from which the bridge had been suspended during the replacement process. Prior to the above, the anti-slip systems installed on the new main cables in the saddles were removed, along with



Figura 25. Cables nuevos finalizada la transferencia de carga.
Figure 25. New cables after load transfer.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

cortas, medianas y largas, así como los cables principales antiguos exteriores, de los que se había colgado el puente durante la sustitución. Previamente, se retiraron los sistemas antideslizantes colocados sobre los cables principales nuevos en las sillas, así como las eslingas de conexión de cables antiguos con nuevos, y las perchas de tope contra el suplemento de las sillas. El sistema y los medios auxiliares para retirar estos cables fue el mismo, ya expuesto, que para los primeros cables antiguos retirados.

Retiradas las péndolas provisionales antiguas, se colocaron los nuevos cables de retenida, con un tesado parcial de 215 kN en el lado Amposta y 226 kN en el de La Aldea, y los tirantes con la regulación del terminal centrada, esto es, +/-4 cm. A continuación se destesaron parcialmente las péndolas provisionales nuevas a 316 kN (Figura 26) y se instaló simultáneamente el cable horizontal.

Los nuevos tirantes, cables de retenida y cable horizontal fueron instrumentados mediante extensómetros.

Para retirar las péndolas provisionales nuevas, se destesaron totalmente las mismas a escalones de 5 kN cada cable, de forma simétrica y controlando en todo momento que los cables principales no deslizaran, así como que las sillas no se desplazasen. Una vez descargadas, se desconectaron y se retiraron (Figura 23).

Finalmente, se colocaron las 16 perchas antivibración en los cables principales, entre la zona de la primera péndola y las pilas.

3.3.3. Rehabilitación final de las sillas y de los emparrillados de anclaje

En la segunda fase de rehabilitación de los emparrillados se retiró el chapón de anclaje de los cables de retenida, y se realizaron las mismas tareas de rehabilitación que en la primera actuación. Luego se colocaron la nueva viga armada y los rigidizadores correspondientes y, por último, el nuevo chapón de anclaje de cables de retenida.

La rehabilitación de las sillas se completó con la retirada de sus nervios laterales, así como del puntal que las arriostraba. Se les añadieron los suplementos de aumento de radio de giro laterales y las tapas laterales (Figuras 27 y 28). También se colocaron los nuevos perfiles transversales que unen ambas sillas para compensar las fuerzas horizontales desequilibradas.

3.3.4. Ajuste del sistema de cables

Una vez terminada la instalación de los nuevos cables, se realizó un pesaje de todos los elementos principales que constituyen el sistema (cables principales, de retenida y tirantes) para comprobar su situación, y decidir las actuaciones de ajuste final del sistema.



Figura 26. Nuevos tirantes y sus terminales.
Figure 26. New stays and terminals.

the slings connecting the initial and new cables and the arrester bands designed to clamp down on the crowning element added to the saddle. The system and ancillary equipment used to remove these cables were as described above for the first initial cables removed.

Once the initial provisional suspenders were removed, the new guylines were laid and partially tensioned to 215 kN on the Amposta side and 226 kN on the La Aldea side. The stays were also positioned with their adjustment rods centred, i.e., +/- 4 cm. The new provisional suspenders were then partially de-tensioned to 316 kN (Figure 26) and the horizontal cable was simultaneously installed.

The new stays, guylines and horizontal cable were instrumented with strain gauges.

The new provisional suspenders were completely de-tensioned before removal, symmetrically and at 5 kN increments on each cable. The main cables and saddles were monitored at all times for possible slipping or displacement, respectively. Once unloaded, these suspenders were disconnected and removed (Figure 23).

Finally, 16 anti-vibration bands were installed on the main cables between the first suspender and the piers.

3.3.3. Final rehabilitation of saddles and anchorage grids

In the second stage of grid rehabilitation, the guyline anchor flats were removed and the rehabilitation tasks performed in the first stage were repeated. The new reinforced girder and respective stiffeners were then set into position, and lastly the new guyline anchor flat was installed.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 27. Una de las sillas rehabilitada, mostrando la cara de los terminales de tirantes.
Figure 27. Rehabilitated saddle: stay termination side.



Figura 28. Una de las sillas rehabilitada, mostrando la cara de los terminales de cables de retenida.
Figure 28. Rehabilitated saddle: guyline side.

A la luz de los resultados, se decidió corregir la posición de las sillas, lo que se realizó con la ayuda de los cables principales y los de retenida. Los cables principales se tesaron hasta una carga media de 1.200 kN y los de retenida a 400 kN. Con esto se logró desplazar las sillas hasta 70 mm, dejándolas aproximadamente 35 mm desplazadas hacia las cámaras de anclaje, ya que al aplicar el resto de cargas permanentes, se desplazarían esa cantidad hacia el centro del vano, quedando centradas.

Una vez posicionadas las sillas, se realizaron los últimos ajustes de fuerzas en cables (tirantes, de retenida y principales) antes de completar la carga permanente de tablero.

Tras las últimas actuaciones en los cables, el extremo del tablero del lado Amposta se encontraba unos 15 cm por debajo de su posición final, por lo que hubo que izarlo de manera que quedase a 5 cm, posición en la que ya era posible montar los nuevos apéndices metálicos de los apoyos. Para ello, se tesaron los tirantes más próximos a los pilonos, de manera que los extremos subieran lo necesario. Durante estos ajustes se controló que las sillas no se desplazasen, que no hubiese deslizamiento de cables y que ningún tirante se sobrecargase.

Saddle rehabilitation was concluded with the removal of the lateral ribs and the upright that braced them. The side supplements designed to enlarge the radius of curvature were positioned, along with the side covers (Figures 27 and 28). The two saddles were also joined transversely to offset imbalanced horizontal forces.

3.3.4. Cable adjustment system

With the new cables installed, the loads on all the main members in the system (main cables, guylines and stays) were checked to ascertain their condition and determine the final system adjustments that had to be made.

In light of the findings, the position of the saddles was corrected with the aid of the main cables and guylines. The main cables were tensioned to a mean load of 1,200 kN and the guylines to 400 kN. This moved the saddles by up to 70 mm, positioning them approximately 35 mm nearer the anchorage chambers, for when the rest of the permanent loads were applied, they would move this same distance in the mid-span direction into what would ultimately be a centred position.

With the saddles centred, the final adjustments were made to the forces on the cables (stays, guylines and main cables) before proceeding to permanently load the deck.

After the final operations involving the cables were completed, the Amposta end of the deck was around 15 cm lower than its design position and had to be hoisted 10 cm to be able to mount the new steel appendices for the supports. This involved tensioning the stays closest to the piers to raise the ends as needed. The saddles were monitored during these adjustment procedures for possible displacement, cable slipping or overloading on the stays.

The deck was paved and with the bridge permanently loaded, the horizontal cable was tensioned (Figure 29), the loads on all the (main, guyline and stay) cables were recorded, the positions of the saddles were noted and a full topographic survey was conducted.

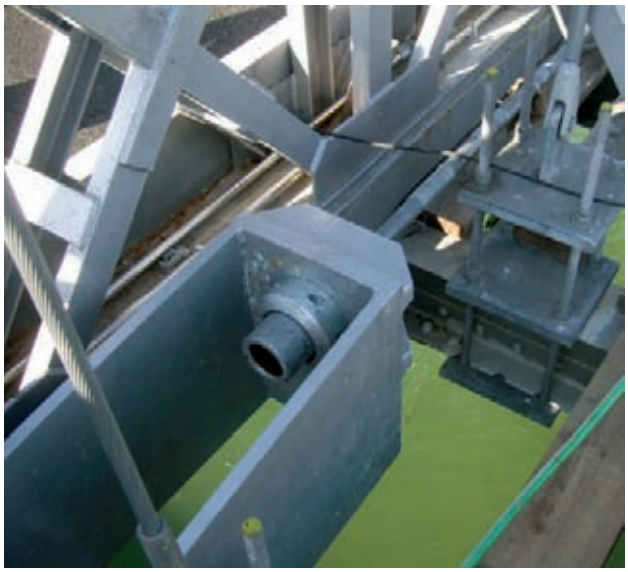

Figura 29. Nuevo cable horizontal y su terminal activo.
Figure 29. New horizontal cable and active termination.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Concluida la pavimentación del tablero y con el puente en estado de carga permanente, se tesó el cable horizontal que quedaba pendiente (Figura 29), se registraron las cargas de todos los cables (principales, de retenida y tirantes), se tomaron las posiciones de las sillas y se realizó una topografía completa.

En base a estos datos, y con objeto de reequilibrar el sistema y dejar el puente a la cota prevista, se actuó sobre el sistema de retenida del lado Amposta, así como sobre dos tirantes en los cuatro extremos.

Concluidos estos reajustes, se tomó otra topografía completa y se controlaron las sillas y las cargas en los cables, comprobando que el tablero estaba nivelado, las sillas centradas en la pila y los cables cargados como corresponde a la situación teórica de carga permanente.

4. COLOCACIÓN DEL NUEVO SISTEMA DE APOYOS

4.1. Construcción de las nuevas cámaras y colocación de los apoyos-bloqueadores

Para la instalación del sistema de apoyos, fue necesario construir nuevas cámaras para alojarlo, situadas en parte bajo los pilonos y en parte bajo la calzada en la zona de estribos. Dadas las dimensiones y posición de los huecos que debían realizarse en los estribos, algunos sillares del pilono quedaban en voladizo durante la ejecución de las excavaciones, por lo que fue necesario sustentarlos provisionalmente por medio de una estructura auxiliar metálica, hasta la realización de los nuevos forjados.

Una vez instaladas estas sujeciones provisionales, se inició la ejecución de los nuevos huecos, con la demolición-excavación de aproximadamente 1,8x1,8 m en planta y 1,5 m de altura.

Posteriormente, finalizada la demolición, se construyó la solera. En ella se dejaron embebidos los perfiles metálicos que formarían parte de la plataforma volada de tramex que permitirá el acceso a las cámaras. También se dejaron cuatro huecos en la misma para alojar las patas de los apoyos POT (Figura 30). Luego se hormigonaron los muros laterales de los huecos y se demolió la zona de la calzada que se reemplazaría por una nueva losa continúa junto con los techos de estos huecos.

A continuación, se presentaron sobre la solera los aparatos tipo POT con bloqueadores, sin fijarlos a la solera, operación que se realizaría más tarde. Completado el montaje de los apéndices metálicos de los apoyos, se colocó la última losa prefabricada de calzada, correspondiente a los extremos del puente, y se continuó con el ferrallado, encofrado y hormigonado de la losa continua que forma el techo de la cámara de apoyo del lado derecho, de la calzada entre patas del pilono y de la losa del techo de la cámara del lado izquierdo. Al mismo tiempo, se armó y hormigonó la junta entre los últimos tramos prefabricados de la losa de calzada y se terminaron los bordillos.



Figura 30. Interior de las cámaras de los apoyos durante su construcción.
Figure 30. Support chamber interiors during construction.

On the basis of these data, the Amposta side guyline system and two stays on the four corners were adjusted to re-balance the system and set the bridge at its design elevation.

When all these readjustments were concluded, another full topographic survey was conducted and the saddles and loads on the cables were monitored to ensure that the deck was level, the saddles centred on the pier and cables loaded as appropriate pursuant to the theoretical permanent load.

4. ASSEMBLY OF THE NEW SUPPORT SYSTEM

4.1. Construction of new chambers and installation of absorber-supports

New chambers had to be built to house the new system *of supports. They were sited partly underneath the piers and partly under the carriageway in the abutment. As a result of the size and position of the openings that had to be made in the abutments for this purpose, some of the pier ashlar stones cantilevered during the excavation and had to be provisionally propped up by an ancillary steel structure until the new slabs could be built.*

With these provisional supports in place, demolition-excavation proceeded on the new openings, which measured approximately 1.8x1.8 m square by 1.5 m high.

The demolition work was followed by construction of the floor slab. The steel grids that would form part of the cantilevered platform from which the chambers were to be accessed were embedded in this slab. Four openings were also made to house the POT bearing legs (Figure 30). The side walls for these openings were then cast in concrete and the area of the carriageway that would be replaced by a new continuous slab was demolished, along with the ceilings over the openings.

POT-type bearings lock-up device were then positioned on the slab for permanent attachment at a later stage. With the steel appendices for the supports assembled, the last, i.e., the

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 31. Apéndice metálico y aparato de apoyo POT con bloqueador.
Figure 31. Steel appendix and POT bearing with lock-up device.

4.2. Construcción de los nuevos apéndices metálicos

Para la trasmisión de las cargas del tablero a los apoyos, **PROES** propuso una alternativa a la solución de proyecto, que lograba minimizar la afección a los pilonos y mejoraba el funcionamiento estructural. Esta nueva solución fue ejecutada finalmente en obra, y consistió en disponer bajo la viga de rigidez y en prolongación de la misma, una estructura en celosía que se introduce dentro de las cámaras y materializa el apoyo del tablero en los aparatos POT con bloqueadores (Figura 31).

Para la instalación del apéndice en celosía fue necesario el refuerzo local de las vigas de rigidez, que se realizó mediante platabandas soldadas a los elementos metálicos ya existentes.

Los trabajos de instalación de los apéndices incluyeron la sustitución de las dos últimas vigas transversales del puente, en cada extremo, debido a su estado de deterioro. También se reforzaron las últimas cruces de San Andrés bajo tablero, disponiendo perfiles HEM soldados al ala superior de las vigas transversales, necesarias para el correcto funcionamiento de la estructura de los apéndices. Venían montadas parcialmente de taller y se instalaron en su lugar mediante uniones soldadas a las estructuras ya existentes. Tras los ensayos de sus soldaduras, se pintó toda esta estructura metálica con capa de imprimación y acabado, al igual que el resto del puente.

4.3. Puesta en carga del sistema de apoyos

Los apoyos requieren una carga mínima vertical para garantizar su correcto funcionamiento, por lo que se pusieron en carga transfiriendo 190 kN a cada uno de ellos.

Para materializar esta transferencia de carga, se elevó el puente lo necesario de forma que el estribo y el tablero quedaran a la misma cota en la zona de la junta, actuando con gatos hidráulicos en los apéndices. Una vez alcanzada la cota deseada conjuntamente con la carga prevista, se fijaron los apoyos vertiendo un mortero de relleno bajo el mismo. Pasados unos días se retiraron los gatos hidráulicos, dejando el puente correctamente apoyado.

end, precast carriageway slab, was laid. Work progressed on the steel reinforcement, formwork and concrete casting for the continuous slab that would form the ceiling over the right support chamber, the carriageway between the pier columns, and the left chamber ceiling slab. At the same time, the joint between the last two precast sections of the carriageway slab were reinforced and cast and the kerbs were completed.

4.2. Erection of the new steel appendices

***PROES** proposed an alternative to the design solution for transferring loads from the deck to the supports that would minimize the impact on the piers and improve structural performance. This new solution, which was ultimately adopted, consisted in placing a lattice structure under and outward of the stiffening girder that would extend into the chambers and materialize the support provided for the deck by the POT bearings fitted with shock absorbers (Figure 31).*

Installation of the lattice-type appendix necessitated local reinforcement of the stiffening girders by welding steel plates to the existing members.

Due to the deterioration observed on the two end transverse girders, they were replaced during installation of the appendices. The end wind braces underneath the deck were also reinforced by welding heavyweight wide flange shapes to the top flange of the transverse girders, to ensure satisfactory performance of the appendix structure. These braces were delivered from the shop partially assembled and were welded to the existing structures in the specified positions. After its welds were tested, the entire steel structure was painted with a primer and a finish coat, as in the rest of the bridge.

4.3. Loading the support system

Since the supports needed a minimum vertical load to perform satisfactorily, 190 kN was transferred to each.

This involved raising the bridge as necessary with hydraulic jacks from the appendices so that at the joint, the abutment and deck were at the same elevation. Once the desired elevation and specified load were jointly attained, the supports were secured with mortar. When the hydraulic jacks were removed a few days later, with the bridge supports effectively in place, the transverse block system could be safely removed from the bridge.

4.4. Access platform construction

Platforms cantilevering out from the new support chambers were built on each side and underneath the bridge, to provide access for inspecting the support and blocking devices through manholes located in the walkways.

These platforms were built by extending the cantilevered shapes that constitute the access floor to the support chambers. The platforms have grid flooring, a perimetric railing and a stairway (Figure 32).

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Una vez dispuestos los apoyos definitivos, se pudo retirar el sistema de bloqueo transversal del puente.

4.4. Construcción de las plataformas de acceso

Se construyeron bajo el puente, en cada extremo, unas plataformas voladas desde las nuevas cámaras de apoyo, que permiten acceder a inspeccionar los aparatos de apoyo y bloqueo bajando por un paso de hombre situado en las aceras.

Estas plataformas se materializaron mediante la prolongación de los perfiles en voladizo que constituyen el suelo del acceso a las cámaras de apoyo. Las plataformas se completan con un suelo de tramex, una barandilla en su perímetro y una escalera de acceso a este nivel (Figura 32).



Figura 32. Exterior de las cámaras de apoyos y sus accesos.
Figure 32. Support chamber exteriors and accesses.

5. REHABILITACIÓN DE LAS CÁMARAS DE ANCLAJE Y DE LOS PILONOS

Tras la sustitución de los cables, el siguiente paso fue la rehabilitación de los recintos de las cámaras de anclaje, reparando también los deterioros producidos durante las obras. En esas cámaras, como en las de los apoyos, se instalaron luminarias, puntos de luz y tomacorrientes.

Con el fin de solucionar los problemas de acumulación de agua que había habido anteriormente, se construyeron unas cunas de drenaje, con una primera capa de cascotes cerámicos que absorbe el agua, bajo una segunda capa de gravilla (Figura 33).

Los pilonos se limpiaron mediante chorro de agua y arena (Figura 34).



Figura 33. Interior de las cámaras de anclaje rehabilitadas.
Figure 33. Rehabilitated anchorage chamber interiors.

6. EJECUCIÓN DE LOS ACABADOS

Como acabado de la estructura metálica se realizó la aplicación de una pintura, de color RAL 9006 Aluminio Blanco, pulverizada con pistola (*airless*) en general, o con rodillo o brocha en casos particulares.

En estos trabajos de pintura se incluyó la reposición de la impermeabilización, con un material de dos componentes a base de resinas epoxi y brea. Además, se repuso el relleno del cordón inferior de la viga de rigidez con un mortero sin retracción, para garantizar una buena conservación de esta zona.

A continuación se realizó la impermeabilización del tablero prevista en el proyecto y se pavimentó el puente con una mezcla bituminosa del tipo S12 de 5 cm de espesor. Se fresaron y pavimentaron también las dos zonas adyacentes de acceso al puente (Figura 35), y se pintó la señalización horizontal. Luego se colocaron los tubos de desagüe de los sumideros y sus rejillas (Figura 36) y la junta de dilatación en cada extremo del puente (Figura 37).

5. ANCHORAGE CHAMBER AND PIER REHABILITATION

After the cables were replaced, the anchorage chamber enclosures were rehabilitated and the damage generated during the works was repaired. Luminaires, spots and electrical outlets were installed in these chambers, as well as in the support chambers.

Drainage cradles were built consisting in an under layer of clay-based rubble to absorb the water, and an over layer of gravel to solve the water ponding problems identified prior to bridge rehabilitation (Figure 33).

The piers were cleaned with sand-containing hydro-jet technology (Figure 34).

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 34. Pilono una vez rehabilitado.
Figure 34. Rehabilitated pier.



Figura 35. Trabajos de pavimentación.
Figure 35. Paving operations.

Colocadas las cuatro losas extremas de la acera, se montaron las barandillas; además, se limpió y pintó la barandilla exterior al tablero, que rodea a los pilonos, y que se encontraba en buen estado de conservación.

Para proteger los cables en la zona por donde entran a las cámaras de anclaje, se pusieron unas vallas antivandálicas a lo largo de todo el perímetro de estos huecos.

Se instaló la iluminación peatonal y la nueva iluminación monumental del puente. En las aceras se dispusieron luminarias de tipo LED y para la iluminación monumental se instalaron una serie de focos orientables a fin de destacar el sistema de cables del puente y sus pilonos.

La instrumentación montada sobre los cables nuevos, utilizada para controlar el proceso de sustitución, finalmente quedó instalada de forma permanente en el puente, para poder realizar un seguimiento de su comportamiento a lo largo de la vida útil del mismo. Consta de un total de 76 extensómetros: en los cables principales entre las cámaras de anclaje y las sillas (8), entre las sillas y el centro del vano (8), en todos los cables de retenida (8), en los dos cables horizontales (2), en todos los tirantes (20) y en las péndolas (30). Aproximadamente la mitad de estos dispositivos pueden realizar a la vez un registro de la temperatura concomitante con la lectura de deformación.

6. FINISHES

The finish on the steel structure was RAL 9006 white *aluminium paint, generally sprayed but also applied with a roller or brush in specific areas.*

This finish included the replacement of the initial weather-proofing with an epoxy resin and tar-based two-component material. In addition, the cover on the bottom chord of the stiffening girder was replaced with non-shrink mortar to ensure good conservation in this area.

The deck was also weather-proofed as provided in the design and paved with a 5 cm layer of S12 hot mix asphalt and the two areas adjacent to the bridge approaches were milled (Figure 35) and horizontally signed. The sumps were then fitted with drain pipes and grids (Figure 36) and an expansion joint was built on each end of the bridge (Figure 37).

Once the four end walkway slabs were set in place, the railings were erected. The outer deck railing that circles the piers, which was found to be in a good state of repair, was simply cleaned and painted.

Anti-vandalism fences were built around the entire perimeter of the anchorage chambers to protect the cables.



Figura 36. Detalle de sumideros y bordillo.
Figure 36. Detail of sump and kerb.



Figura 37. Junta de la calzada.
Figure 37. Carriageway joint.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 38. Prueba de carga.
Figure 38. Load test.

Además, se han instalado 12 extensómetros en los cordones de las vigas longitudinales y un LVTD en cada silla para registrar sus desplazamientos.

La plataforma que originalmente se montó bajo el puente para realizar los trabajos de rehabilitación, también quedó finalmente instalada como parte integrante del mismo, con el objeto de facilitar futuros trabajos de inspección y mantenimiento, lo que obligó a su adaptación.

7. EJECUCIÓN DE LA PRUEBA DE CARGA

La preceptiva prueba de carga tuvo lugar el martes 24 de marzo de 2009. Debido a la singularidad de esta estructura, los controles realizados no se limitaron a la comprobación de las deformaciones (flechas del tablero) sino que también se controlaron los incrementos de tensión en los cables y los movimientos de las sillas.

Para el desarrollo de la prueba se utilizaron ocho camiones de cuatro ejes, cargados cada uno con 380 kN, y para realizar los controles de tensión en los cables y de movimientos en las sillas, se realizaron con la instrumentación dispuesta en los distintos elementos (cables principales, de retenida, tirantes, péndolas y sillas), mientras que las deflexiones del tablero se controlaron topográficamente.

La primera medición se hizo con el puente descargado, repitiéndose después de cada estado de carga una vez estabilizado el mismo.

Se inició la prueba cargando el puente con cuatro camiones de manera asimétrica, es decir, disponiéndolos en uno de los extremos del puente, pero centrados en la calzada. Para el siguiente estado de carga se introdujeron en el puente, por el otro extremo, otros cuatro camiones centrados en la calzada, dando lugar a un estado de carga simétrico (Figura 38).

A continuación se retiraron los cuatro primeros camiones, obteniendo así un segundo estado de carga asimétrico, y posteriormente, para finalizar, se retiraron la totalidad de los camiones.

Pedestrian lighting as well as new monumental lighting for the bridge were installed. The walkways were fitted with LED-type luminaires, while the monumental lighting consists in a series of adjustable spotlights to highlight the bridge's cable system and piers.

The instruments initially mounted on the new cables to control the replacement process were left as permanent fixtures on the bridge to monitor its performance throughout its service life. The system comprises a total of 76 strain gauges: on the main cables between the anchorage chambers and the saddles (8), between the saddles and mid-span (8), on all the guylines (8), on the two horizontal cables (2), on all the stays (20) and all the suspenders (30). Approximately half of these devices can record the temperature at the same time as strain values.

In addition, 12 strain gauges were installed on the chords of the longitudinal girder and one LVTD was positioned on each saddle to record displacements.

The platform initially erected under the bridge for the rehabilitation work was also ultimately left as an integral part of its structure to facilitate future inspection and maintenance, although with certain adaptations.

7. LOAD TESTING

The mandatory load test was conducted on Tuesday, 24 March 2009. In light of the singularity of this structure, the controls were not confined to checking deformation (deck deflection). Rather, increases in stress on the cables and possible saddle displacements were also monitored.

The test was conducted with eight four-axle lorries, each loaded to 380 kN. Stress on the cables and saddle movements were monitored with the instruments installed on the various members (main cables, guylines, stays, suspenders and saddles), while deck deflection was monitored topographically.

The first measurement was made with the bridge unloaded, and successive readings were taken on the stabilized bridge after each loading state.

The test was begun by loading the bridge asymmetrically with four lorries, i.e., placing them from one side of the bridge to mid-span, centred over the carriageway. The following load state consisted in driving the other four lorries onto the opposite side of the bridge, likewise centred on the carriageway to induce symmetric loading (Figure 38).

The four first lorries were then removed to generate a second asymmetric load state, and finally all the lorries were removed.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 39. Tablero terminado.
Figure 39. Finished deck.

Con la prueba de carga se comprobó el correcto comportamiento del puente, ya que los resultados de los controles coincidieron prácticamente con las previsiones teóricas, destacando que la recuperación del tablero fue del 99 por ciento del valor previsto.

8. RESUMEN DE LAS ACTUACIONES: DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA REHABILITADA

Tras su rehabilitación, el puente de Amposta conserva, por una parte, sus características estéticas y, por otra, sus fundamentos de funcionamiento estructural. La tecnología actual ha permitido mejorar algunos de sus elementos, lo que permitirá, sin duda, prolongar su vida útil sin necesidad de importantes inversiones. A continuación se resume la configuración del puente una vez finalizadas las obras de rehabilitación.

8.1. Tablero

El tablero, con sus 134 m de longitud, está formado por dos vigas longitudinales (vigas de rigidez), derecha e izquierda, constituidas por las celosías metálicas originales, a las que se incorporaron dos platabandas de refuerzo de 160x20 mm, dispuestas en el cordón superior en la parte central del vano y en las zonas intermedias del cordón inferior.

Salvos las dos primeras y las dos últimas vigas transversales, que fueron sustituidas por nuevas vigas metálicas,

The load test confirmed satisfactory bridge performance, for the findings were practically concurrent with the design forecasts: deck recovery was an excellent 99 per cent of the expected value.

8. SUMMARY OF ACTION TAKEN: DESCRIPTION OF THE REHABILITATED STRUCTURE

After rehabilitation, Amposta Bridge has conserved both its aesthetic features and its structural fundamentals. The improvements made in some of its members thanks to today's technology will indisputably extend its service life with no need for major investment. Bridge configuration upon conclusion of the rehabilitation works is described below.

8.1. Deck

The 134 m deck comprises two longitudinal (stiffening) girders, on the right and left. The initial steel lattices were reinforced with one 160x20 mm steel plate positioned on the top chord at mid-span and two in intermediate areas on the bottom chord.

With the exception of the first two and last two transverse girders, which were replaced by new steel members because they formed part of the deck support system, all the other 105 variable depth steel transverse girders, set at intervals of approximately 1.25 m, were conserved, with only occasional local reinforcement of some of the top flanges. The steel structure was also reinforced with new wind bracing on the underside consisting in UPN 100x50x6 angle shapes. These braces, spanning five transverse girders each. replaced the initial elements that were attached to the bottom flanges of the transverse girders.

The carriageway slab was demolished and rebuilt with a series of HP-35/P/20/IIIa precast concrete plates 14 cm thick, 1.10 long and a width that concurred with the distance between the stiffening girders, 5.60 m. These slabs were built to rest on the transverse girders and joined by cast-in-place concrete. The slab was post-tensioned with nine 4T15 cables to ensure permanent compression and thereby improve durability, for the initial deck was one of the members that exhibited the greatest deterioration. A kerb with a New Jersey type barrier was cast in place along the edges of the carriageway to protect the longitudinal girders from possible vehicle impact (Figure 39).

The original walkways were replaced by new wider members made of HA-30/P/20/IIIa precast concrete slabs 1.50 m wide and 3.70 m long with a maximum thickness of 21 cm in the area resting on the transverse girders and a minimum of 9 cm at the cantilevered edges (Figure 40). They have built-in tubing and collection boxes for service ways, plates to attach the railings and manholes to access the support chambers.

8.2. Cable system

The main support system now consists in a total of eight 72-mm "galfanized"[1] steel locked coil main cables, each measur-

[1] Galfanizing: zinc and aluminium alloy coating with higher corrosion resistance than galvanizing

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

ya que formaban parte del nuevo sistema de apoyo del tablero, el resto de las 105 vigas metálicas transversales de canto variable, que se encuentran separadas aproximadamente 1,25 m, se conservaron y sólo se realizaron algunos refuerzos locales en las alas superiores de algunas de ellas. La estructura metálica se completa con el arriostramiento en su parte inferior mediante unos nuevos perfiles angulares UPN 100x50x6 dispuestos en Cruz de San Andrés, que abarcan cinco vigas transversales. Éstos sustituyeron a los originales, que unían las alas inferiores de las vigas transversales.

La losa de la calzada fue reconstruida, después de su demolición, utilizando una serie de placas prefabricadas de hormigón HP-35/P/20/IIIa, de 14 cm de espesor, 1,10 m de largo y 5,60 m de ancho, que es la distancia entre las vigas de rigidez. Estas placas se apoyan en las vigas transversales y se unieron mediante hormigonado "in situ". La losa se postesó con nueve cables de 4T15, para garantizar que está permanentemente comprimida y, por tanto, mejorar las condiciones de durabilidad del tablero, que es uno de los elementos que más se habían deteriorado de la estructura original. En los bordes de la calzada se ha construido un bordillo "in situ", con perfil similar al de una barrera tipo "New Jersey", a fin de proteger las vigas longitudinales del posible impacto de los vehículos (Figura 39).

Las aceras originales fueron reemplazadas por otras más anchas, a base de losas prefabricadas de hormigón HA-30/P/20/IIIa, de 1,50 m de ancho y 3,70 m de largo, con un espesor máximo de 21 cm en la zona en que apoyan en las vigas transversales y mínimo de 9 cm en los extremos de la parte volada (Figura 40). Incorporan tubos y arquetas para la canalización de servicios, placas para la fijación de las barandillas y también los huecos para los pasos de hombre de acceso a las cámaras de los apoyos.

8.2. Sistemas de cables

El sistema de sustentación principal está ahora constituido por un total de ocho cables principales de acero galfanizado* de 72 mm de diámetro nominal y sección cerrada (en "Z"), con una longitud total de aproximadamente 240 m cada uno. Cuatro de estos cables discurren por el lado derecho y otros cuatro por el lado izquierdo. Recorren toda la estructura, pasando por encima de los pilonos a través de unas sillas, cuyas características geométricas han sido mejoradas con un suplemento que las dota de un radio de curvatura de 1.250 mm, y se anclan a los macizos de anclaje, que también han sido adaptados para recibir a los nuevos terminales o mazarotas (Figura 41).

En la actualidad, la parte central del tablero cuelga de 138 péndolas, 69 a cada lado, que transmiten la carga recibi-

ing approximately 240 m long. Four of these cables run along the right and four along the left side of the bridge. They cover the entire structure, rising over the piers where they rest on saddles whose radius of curvature was raised to 1 250 mm thanks to the addition of a special supplement. They are anchored to the original massive concrete anchorage blocks, adapted to receive the new terminations or sockets.

The central part of the deck now suspends from 138 hangers, 69 on each side, that transfer the load to the main cables. The two types of suspenders used are: type I (forty on each side made of 16 mm diameter galvanized braided cable) and type II (twenty nine on each side, made of 20 mm diameter steel bar).*

The suspenders are connected to the main cables across bands consisting in two solid steel elements bolted together, whose design aims to minimize their effect on the cables. The bottom end of the suspenders is attached to the transverse girders by means of a series of steel plates and threaded rods.

The areas of the deck closest to the piers are presently braced by a total of twenty slanted stays, five on each side and end of the bridge, which transfer the deck load to the piers across the saddle. The 40 mm, locked coil cables forming these stays are made of galfanized steel.

The stays are anchored directly to new steel terminations built into the secondary horizontal beams for this purpose.

The two secondary beams on each side are joined by a 40 mm diameter, locked coil horizontal galfanized steel cable.



Figura 40. Nueva acera terminada.
Figure 40. Finished walkway.

* Galfanizado: revestimiento de mayor resistencia a la corrosión que el galvanizado, a base de una aleación de cinc y aluminio.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

da a los cables principales y que corresponden a dos tipos: el tipo I (cuarenta a cada lado con cable trenzado galfanizado de diámetro 16 mm) y el tipo II (veintinueve a cada lado con barra de diámetro 20 mm).



Figura 41. Sistema de cables definitivo.
Figure 41. Permanent cable system.

Las péndolas están conectadas a los cables principales a través de perchas de nuevo diseño, que están formadas por dos elementos macizos de acero, unidos mediante tornillos, y diseñados con el fin de minimizar la afección a los cables a los que se unen. En la parte inferior, las péndolas se unen a las vigas transversales a través de un conjunto de placas de acero y varillas roscadas.

Las zonas del tablero más próximas a los pilonos están atirantadas actualmente por un total de veinte tirantes, cinco a cada lado y extremo del puente (tirantes inclinados), que transmiten la carga del tablero a los pilonos por medio de la silla. Los cables que forman los tirantes inclinados son de acero galfanizado, tienen un diámetro de 40 mm y sección cerrada (en "Z").

Estos tirantes inclinados se encuentran anclados directamente a las vigas secundarias horizontales mediante nuevos terminales de acero, que se han integrado en la estructura para fijar adecuadamente estos anclajes.

Las dos vigas secundarias de cada lado están unidas por un cable horizontal de acero galfanizado, con un diámetro de 40 mm y también sección cerrada (en "Z").

Los otros ocho cables, dos por silla, que completan el sistema, son los de retenida, que parten de cada pilono hacia el macizo de anclaje; su misión es compensar los esfuerzos horizontales que introducen en la silla los tirantes inclinados y el diferente ángulo de salida de los cables principales. Son cables de acero galfanizado, con un diámetro de 40 mm y sección cerrada (en "Z").

Todos estos cables son de acero con una tensión de rotura superior a 1.570 N/mm^2, las péndolas de barra son de acero de 275 N/mm^2 de límite elástico. Además, todos los cables permiten regulación.

8.3. Instrumentación permanente y plataforma auxiliar de inspección

La instrumentación permanente del puente consta de una serie de dispositivos para controlar deformaciones

Lastly, the system comprises eight guylines, two per saddle, that run from each pier to the anchorage block. Their mission is to offset the horizontal forces generated on the saddle by the difference between the slanted stay and main cable angles. These are also 40-mm diameter, locked coil galfanized steel cables.

All these cables are made of steel with an ultimate strength of over 1,570 N/mm^2. The bar suspenders are made of steel with a modulus of elasticity of 275 N/mm^2. All the cables are adjustable.

8.3. *Permanent instrumentation and ancillary inspection platform*

The instruments permanently installed on the bridge consist in a series of devices to monitor strain and the displacement of certain structural members, as described in section 6.

The system is computerized to record and store the data. Specific software is at hand to access the information and check the performance of the members instrumented (Figure 42).

Moreover, the ancillary suspended platform, initially built for the rehabilitation works, has been left permanently in place on the underside of the deck for inspection and maintenance.

8.4. *Support system*

The new support system consists in four steel appendices positioned at the ends of the deck, with the same lattice-like structure as the longitudinal girders and extending from these girders into the new support chambers. The steel structure consists in 250x250 mm, 30 mm thick reinforced girders welded to the longitudinal girders and resting on POT-style bearings.

These bearings are housed in new chambers built partly in the lower part of the piers and partly under the carriageway. They consist in unidirectional POT bearings with lock-up device (shock absorbers) that accommodate forces of up to 1 400 kN (in the longitudinal direction) and displacements of

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 42. Sistema de instrumentación. Gráfico de control.
Figure 42. Instrumentation system. Monitoring graph.

y desplazamientos de determinados elementos de la estructura, tal como se detalla en el apartado 6.

El sistema está informatizado, de forma que se pueden registrar y almacenar los datos obtenidos, teniendo la posibilidad de acceder a la información deseada y comprobar el funcionamiento de los elementos instrumentados a través de un programa específico (Figura 42).

Además, para realizar las inspecciones y los trabajos de mantenimiento de la cara inferior del tablero, se ha conservado definitivamente la plataforma suspendida auxiliar, que fue colocada inicialmente para ejecutar los trabajos de rehabilitación.

8.4. Sistema de apoyos

El nuevo sistema de apoyos consta de cuatro apéndices metálicos dispuestos en los extremos del tablero en prolongación de las vigas longitudinales, manteniendo la configuración en celosía de la estructura de la viga y se introducen en las nuevas cámaras de apoyos. La estructura metálica está compuesta por vigas armadas de 250x250 mm y 30 mm de espesor, que se unen mediante soldadura a las vigas longitudinales y se apoyan sobre los aparatos tipo POT.

Para alojar los aparatos de apoyo, se han construido unas nuevas cámaras en parte bajo los pilonos y en parte bajo la calzada. Los aparatos de apoyo dispuestos son del tipo POT unidireccionales, con bloqueadores de impacto que admiten fuerzas de hasta 1.400 kN (en la dirección longitudinal del puente) y desplazamientos de +/-100 mm. La acción del bloqueador impide el movimiento natural del puente cuando actúan determinadas sobrecargas (acciones rápidas), evitando problemas funcionales del tablero que afectarían, por una parte, a los usuarios y, por otra, a la vida útil de algunos elementos, en particular de las juntas.

8.5. Cámaras de anclaje y pilonos

Las cámaras de anclaje han sido rehabilitadas, pero no se han reformado, por lo que conservan su configuración original. Los emparrillados han sido modificados después de su rehabilitación para poder anclar correc-

+/- 100 mm. The absorbers constrain natural bridge movements under certain live loads (rapid action), preventing functional deck problems that would affect both users and the service life of certain elements, joints in particular.

8.5. Anchorage chambers and piers

The anchorage chambers were rehabilitated but not remodelled, to maintain their original design. The grids were modified after rehabilitation to be able to anchor the new cables.

The piers were simply cleaned and rehabilitated. They underwent no change nor were they affected by the works, and all



Figura 43. El puente con su iluminación monumental.
Figure 43. Bridge with monumental lighting.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

tamente los nuevos cables.

Los pilonos sólo se han limpiado y rehabilitado, sin sufrir ningún cambio ni afección por las obras, por lo que conservan sus decorados históricos. De la misma forma, no se ha realizado trabajo alguno que afectara a las cimentaciones originales del puente.

8.6. Acabados

Los acabados del puente han sido muy cuidados, ya que en gran medida serán los que condicionarán el correcto funcionamiento y la durabilidad de las estructura.

Por ello, se ha realizado una impermeabilización completa del tablero mediante una membrana y se ha dispuesto una capa de rodadura de 5 cm de espesor de pavimento asfáltico del tipo S12. Completando estos acabados, se instalaron ocho sumideros a cada lado, con sus correspondientes conductos de desagüe.

Las juntas de dilatación en ambos extremos del puente son del tipo armado, con una carrera total de 230 mm.

En ambos lados de cada acera se han colocado barandillas, con montantes verticales constituidos por una chapa de 15 mm de espesor, anclados en las losas de las aceras, separados 2,50 m y con un tubo pasamanos de 100 mm de diámetro y una altura total de 1,10 m, que se completa con cuatro cables, entre el pasamanos y el suelo, de 18 mm de diámetro.

Se ha dotado al puente de iluminación peatonal y también de iluminación monumental (Figura 43).

9. CONCLUSIONES

Desde los inicios de este más que interesante trabajo, con la inspección especial realizada al puente, continuando con la redacción del proyecto de rehabilitación y finalizando exitosamente con la ejecución de la obra, siempre hemos considerado necesaria la aplicación a nuestra tarea del "*buen sentido*" a que apelaba Don Eugenio Ribera en el artículo que escribió para sus alumnos en el momento de su jubilación "*En mi última lección, establezco mi balance profesional*" en el que manifestaba:

"Aunque sepáis mucha matemática, no incurráis en pedantería, pues más que problemas científicos, tendréis que poner a contribución el buen sentido. Más que sabios, deberéis ser gerentes.

Sed valerosos, cívica y profesionalmente, pues un ingeniero no debe ser nunca pusilánime; no temáis, pues, las responsabilidades, cuando están fortalecidas por honradas convicciones y el austero cumplimiento de vuestros deberes, ya que no sólo es punible el delito, sino la pereza o la cobardía que lo consiente.

Antes que ingenieros y antes que funcionarios, habréis de ser hombres y ciudadanos."

Deseamos y confiamos en que las actuaciones realizadas, permitan la conservación durante muchos años de esta destacada obra, patrimonio de la ingeniería española.

their initial adornments are intact. The original bridge foundations were likewise unaffected by the works.

8.6. Finishes

Particular care went into the finishes on the bridge, for the satisfactory performance and durability of the structure will largely depend on their quality.

In this regard, a fully weather-proof membrane was laid on the deck, which was paved with a 5 cm thick S12 type asphalt wearing course. In addition, eight sumps with their respective drain pipes were installed on each side.

The reinforced expansion joints at both ends of the bridge can accommodate dimensional changes of up to 230 mm.

Railings were erected on both sides, with 15 mm sheet steel uprights anchored in the walkway slabs at 2.50 m intervals and a 100 mm diameter handrail 1.10 m high. Four 18 mm diameter cables were strung between the handrail and the ground.

The bridge was fitted with pedestrian as well as monumental lighting (Figure 43).

9. CONCLUSIONS

Throughout this highly interesting project, from the special inspection of the bridge to the drafting of the rehabilitation design and finally to the successful conclusion of the works, the authors were guided by one of Eugenio Ribera's principles: good sense. In an article written on his retirement and addressed to his students titled, "En mi última lección, establezco mi balance profesional" (my last lesson and a balance sheet of my career), he asserted:

"Despite all your mathematical knowledge, don't be pedantic, for rather than solving scientific problems, you'll have to draw on your common sense. More than scholars, you'll have to be managers.

Be brave, both personally and professionally, for an engineer should never be fainthearted; don't fear responsibility when strengthened by honest conviction and austere fulfilment of duty, for the negligence or cowardice that consents an offence is as punishable as the offence itself.

First be men and citizens, for then and only then may you be engineers and civil servants."

Hopefully, the action performed will ensure a long life for this prominent sample of Spain's engineering heritage.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

BIBLIOGRAFÍA

[1] RIBERA DUTASTE, José Eugenio. "Puente colgado sobre el río Ebro en Amposta (Tarragona)". *Revista de Obras Públicas*, 1914, volumen 62, tomo I, n.º 2039, p. 527-532.

[2] RIBERA DUTASTE, José Eugenio. "Puente colgado sobre el río Ebro en Amposta (Tarragona)". *Revista de Obras Públicas*, 1914, volumen 62, tomo I, n.º 2040, p. 539-545.

[3] RIBERA DUTASTE, José Eugenio. "Puente colgado sobre el río Ebro en Amposta (Tarragona)". *Revista de Obras Públicas*, 1914, volumen 62, tomo I, n.º 2041, p. 551-555.

[4] RIBERA DUTASTE, José Eugenio. "En mi última lección, establezco mi balance profesional". *Revista de Obras Públicas ROP*. Año 1931, n.º 258, p. 394-401.

[5] RIBERA DUTASTE, José Eugenio: Ingeniero de Caminos 1864:1936. Catalogo de la exposición celebrada en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, junio de 1982.

[6] CHÍAS, Pilar; ABAD, Tomás. "Puentes de España". FCC Fomento de Construcciones y Contratas, S.A, Madrid, 1994.

[7] GIMSING, Niels. "Cable Supported Bridges. Concept & Design". John Wiley & Sons, Chichester, 1998.

[8] VIRLOGEUX, M. "Recent evolution of cable-stayed bridges. Engineering Structures", 1999, 21, 737-755.

[9] WALTHER, R. Ponts Haubanés, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne (Switzerland), 1988.

[10] POZO VINDEL, Florencio del; ARRIETA TORREALBA, José María; CEREZO MACÍAS, Jorge Alberto; VELANDO CABAÑAS, Concepción. "Estudios, inspección especial y proyecto de rehabilitación del puente de Amposta" Hormigón y acero, 2006, n.º 241, p. 5-41.

[11] VENTOSA, Javier R. "Puente de Amposta: colgado sobre el Ebro" Revista del Ministerio de Fomento, 2004, n.º 531, p. 70-75.

[12] VELANDO CABAÑAS, Concepción; POZO VINDEL, Florencio del; ARRIETA TORREALBA, José María. "Ribera. Ideas de ayer para puentes de hoy e ideas de hoy para puentes de ayer". Estética e ingeniería civil. Arctecnium. 2006, p. 71-82.

[13] MIRANDA, Óliver. "Rehabilitación del Puente Colgante de Amposta (Tarragona). Una reconstrucción con mucha historia". CIC Arquitectura y Construcción, mayo 2008, n.º 451, p. 128.

[14] LÓPEZ, Albert. "Un puente nuevo de 1921". Revista de la Construcción Tanitpress, enero-febrero 2009.

REFERENCES

[1] RIBERA DUTASTE, José Eugenio. "Puente colgado sobre el río Ebro en Amposta (Tarragona)". Revista de Obras Públicas, 1914, volume 62, I, n.º 2039, p. 527-532.

[2] RIBERA DUTASTE, José Eugenio. "Puente colgado sobre el río Ebro en Amposta (Tarragona)". Revista de Obras Públicas, 1914, volume 62, I, n.º 2040, p. 539-545.

[3] RIBERA DUTASTE, José Eugenio. "Puente colgado sobre el río Ebro en Amposta (Tarragona)". Revista de Obras Públicas, 1914, volume 62, I, n.º 2041, p. 551-555.

[4] RIBERA DUTASTE, José Eugenio. "En mi última lección, establezco mi balance profesional". Revista de Obras Públicas ROP, 1931, n.º 258, p. 394-401.

[5] RIBERA DUTASTE, José Eugenio: Ingeniero de Caminos 1864:1936. Catalogo de la exposición celebrada en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, june 1982.

[6] CHÍAS, Pilar; ABAD, Tomás. "Puentes de España". FCC Fomento de Construcciones y Contratas, S.A., Madrid, 1994.

[7] GIMSING, Niels. "Cable Supported Bridges. Concept & Design". John Wiley & Sons., Chichester, 1998.

[8] VIRLOGEUX, M. "Recent evolution of cable-stayed bridges. Engineering Structures", 1999, 21, 737-755.

[9] WALTHER, R. Ponts Haubanés, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne (Switzerland), 1988.

[10] POZO VINDEL, Florencio del; ARRIETA TORREALBA, José María; CEREZO MACÍAS, Jorge Alberto; VELANDO CABAÑAS, Concepción. "Estudios, inspección especial y proyecto de rehabilitación del puente de Amposta" Hormigón y acero, 2006, n.º 241, p. 5-41.

[11] VENTOSA, Javier R. "Puente de Amposta: colgado sobre el Ebro" Revista del Ministerio de Fomento, 2004, n.º 531, p. 70-75.

[12] VELANDO CABAÑAS, Concepción; POZO VINDEL, Florencio del; ARRIETA TORREALBA, José María. "Ribera. Ideas de ayer para puentes de hoy e ideas de hoy para puentes de ayer". Estética e ingeniería civil. Arctecnium. 2006, p. 71-82.

[13] MIRANDA, Óliver. "Rehabilitación del Puente Colgante de Amposta (Tarragona). Una reconstrucción con mucha historia". CIC Arquitectura y Construcción, may 2008, n.º 451, p. 128.

[14] LÓPEZ, Albert. "Un puente nuevo de 1921". Revista de la Construcción Tanitpress, january-february 2009.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

RELACIÓN DE PARTICIPANTES
LIST OF PARTICIPANTS

– **Propiedad:** *Owner:*	Ministerio de Fomento *Ministry of Public Works* Dirección General de Carreteras *Directorate General of Roads* Demarcación de Carreteras de Cataluña *Catalonian Division*
– **Ingeniero Director:** *Engineer-in-chief*	D. Alberto Hernández
– **Proyecto de Rehabilitación:** *Rehabilitation design*	PROES consultores, S. A.
– **Empresa Constructora :** *General contractor*	UTE AMPOSTA (FPS-GEOCISA-ZUT)
– **Asistencia Técnica a la Dirección de Obra:** *Engineering support for site supervision*	PROES consultores, S. A.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026