

Rehabilitación del puente arco de Ribera de Taganana (1934) en San Andrés, Tenerife

Rehabilitation of the Ribera's Taganana arch bridge (1934) in San Andrés, Tenerife

Pablo Vilchez Motino^a, Antonio Resta^b, Rubén Romero Palacio^c, José Pablo Roviralta Martín^d

^a Ingeniero Industrial. Freyssinet S.A.U. Director Técnico. pablo_v@freysinet-es.com

^b Ingeniero Civil. Freyssinet S.A.U. Ingeniero Departamento Técnico. antonio_r@freysinet-es.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Freyssinet S.A.U. Jefe de proyectos. ruben_r@freysinet-es.com

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Freyssinet S.A.U. Delegado de zona. jproviralta@freysinet-es.com

RESUMEN

El puente de Taganana se encuentra a la salida de la población de San Andrés. La estructura responde a la colección de modelos oficiales de puentes arco de hormigón armado del Ministerio de Fomento, elaborada en el 1922 por el Ingeniero Ribera.

Durante las inspecciones de 2019 y 2021 se detectaron fisuras, desprendimiento de hormigón, delaminación y corrosión del armado (con pérdidas hasta 50% en los arranques de los arcos).

Debido al estado global del puente y su importancia estratégica, para adecuarlo a la norma vigente los trabajos abarcaron el diseño, ejecución de la reparación y el refuerzo.

ABSTRACT

Taganana bridge is located at the exit of the town of San Andrés. The structure responds to the typical bridges from the collection of official models of reinforced concrete arch bridges of the Ministry of Development, prepared in 1922 by the Engineer Mr. José Eugenio Ribera.

During the inspections of 2019 and 2021, cracks were detected, including concrete detachments, delamination and corrosion of the reinforcement (with section losses up to 50% at the arches impost).

Due to the overall state of the bridge, its strategic importance and to adapt it to the current standard, the work included the design and execution of the repair and reinforcement of the bridge.

PALABRAS CLAVE: Ribera, puente arco, reparación, refuerzo, corrosión fisuración

KEYWORDS: D. José Eugenio Ribera, Arch bridge, repair, strengthening, corrosion, cracks

1. Introducción

El puente de Taganana se encuentra a la salida de la población de San Andrés, en la carretera San Andrés - Taganana (TF-12) que lleva al área montañosa de Anaga.

La carretera a Taganana fue desde siempre una demanda de la Ciudad de Santa Cruz que, por las dificultades de la orografía (las escarpadas montañas de Anaga), tardó casi un siglo en convertirse en realidad. El puente de Taganana en San Andrés representaba el enlace indispensable entre dos de los tramos de la carretera Santa Cruz - Taganana: el primer tramo desde Santa Cruz hasta San Andrés (TF-11) tardó unos 40 años (ca. 1930), mientras que el siguiente tramo, desde Santa Cruz hasta Taganana (TF-12), tardaría otros 40 años (ca. 1970).

La estructura responde a los puentes tipo de la colección de modelos oficiales de puentes de arco de hormigón armado del Ministerio de Fomento, elaborada en el año 1922 por el Ingeniero D. José Eugenio Ribera.

Por un lado, la edad de construcción de la estructura supone, de inicio, una carencia de capacidad para hacer frente a las acciones del tráfico actual. Por otro, esta limitación de capacidad se ve agravada por la corrosión que presentan el armado y los perfiles angulares del arco y por el estado de fisuración y limitada resistencia del hormigón.

Por estas razones en febrero del año 2019 una primera inspección del puente fue encargada a la Dirección de Obra debido a las fisuras que presentan algunos elementos, algunas de ellas con desprendimientos.

En mayo del año 2021, debido a la caída de cascotes por la parte inferior del Puente de Taganana, una nueva inspección del puente fue encargada a la Dirección de Obra.

Como resultado de estas inspecciones y debido, fundamentalmente, a los niveles de corrosión generalizada del armado (con pérdidas de sección de hasta un 50% en la zona de

arranque de los arcos) y al estado general de fisuración y delaminación del hormigón, se produjo la declaración de obra de emergencia y la adjudicación de los trabajos de rehabilitación y refuerzo a Freyssinet S.A.U.

2. Descripción de la estructura

El puente arco era, a principios del siglo XX, la solución óptima para salvar luces importantes. El inconveniente principal de esta tipología de puente era su construcción, pues el hormigonado del arco requería de grandes cimbras cuya ejecución era uno de los principales problemas a resolver.

Por esta razón, a comienzos de siglo Ribera patenta un sistema de construcción consistente en la utilización de cimbras metálicas embebidas en el interior de la sección de los arcos, que tenían una doble función: servir de cimbra durante la ejecución, y de armadura colaborante en la resistencia del puente durante su vida útil.

El puente es un puente arco de tablero superior de hormigón armado y tiene un único vano hiperestático constituido por dos arcos rebajados gemelos de hormigón armado de 32 m de luz (relación flecha/luz de 1/10). El tablero tiene una luz libre entre largueros de 2,10 m con voladizos de 0,95 m. El ancho total del tablero es de 6,20 m (0,10 imposta + 0,95 voladizo + 1,00 arco + 2,10 losa + 1,00 arco + 0,95 voladizo + 0,10 imposta). La plataforma dispone de dos aceras de 0,60 m y la calzada de 5 m tiene 2 carriles. La sección del arco tiene un ancho constante de 1 m y espesor variable entre 0,80 m en apoyos y 0,65 m en clave. Los arcos son independientes y están separados entre sí 2,10 m entre caras interiores. Cada arco soporta 10 tabiques o montantes de 0,25 m x 1,00 m de sección y altura variable, separados 1,75 m entre caras interiores. Las vigas (largueros), que apoyan en los tabiques, tienen una sección de

1,00 m x 0,3 m y descuelgan 0,12 m de la cara inferior de la losa. Existen 2 juntas de dilatación (en estribos) ocultas bajo el asfalto. Los estribos están formados por muros portantes verticales de hormigón en masa.

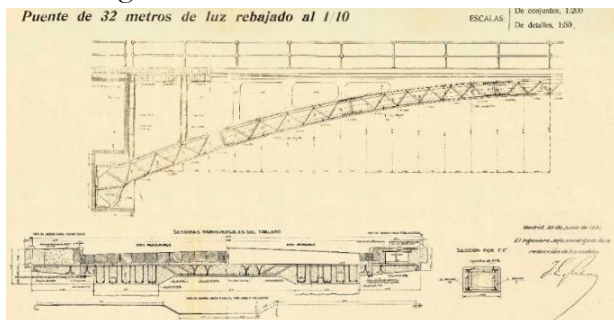


Figura 1. Planos de ejecución originales

3. Descripción de los daños

En base a el informe de la DO, a la reunión entre la DO y el Departamento Técnico de Freyssinet

S.A.U., a la documentación fotográfica recibida y a inspección visual realizada por un técnico de Freyssinet durante los cateos, se han cuantificado los daños en los diferentes elementos de la estructura.

Los principales daños detectados fueron los siguientes:

1. Arco:

- Fisuras en hormigón a lo largo de la longitud del arco: casi la totalidad de las fisuras detectadas en arcos han terminado por desprender el hormigón que recubría los angulares metálicos, y han aparecido nuevas fisuras siguiendo la misma directriz.

- Fisuras transversales en hormigón: se han detectado fisuras transversales en el arco en la zona de riñón, podría tratarse de un signo de sollicitación de flexión.



Figura 2. Estado en arco

2. Angulares de arco: Las celosías metálicas (autocimbras) estaban situadas a pocos centímetros de la superficie del hormigón, y estaban constituidas por dos perfiles L (L100x100x12) en cada una de las esquinas de los arcos.

Debido a la pérdida de recubrimientos, al tipo de ambiente de exposición y a la falta de mantenimiento, un proceso de la oxidación se ha producido degradando estos.



Figura 3. Estado en angulares

3. Larguero y losa:

- En la cara inferior del larguero y de la losa existen humedades, eflorescencias, lajaciones, desconchones y armaduras vistas, signos propios de un hormigón muy degradado por carbonatación con serios daños en la armadura interna.

- Debido a un problema de drenaje e impermeabilización del tablero, a la pérdida de recubrimiento, al tipo de ambiente de exposición, un proceso de la oxidación se ha producido la degradación del armado de los largueros y de la losa.



Figura 4. Estado en largueros

4. **Tabiques:** se presentan fisuras horizontales en bases y capiteles de tabiques, característicos de esta tipología de puentes.



Figura 5. Estado en tabiques

4. Desarrollo de los trabajos

El alcance del trabajo abarcaba el diseño y ejecución de la reparación y el refuerzo del puente para su adecuación a la norma vigente, aunque limitando el tráfico a la sobrecarga máxima equivalente a un carril 2 de la IAP-11 (y el resto de cargas y combinaciones previstas en norma, excepto el carril 1), debido a la gran diferencia entre las cargas normativas actuales y las de diseño originales. La limitación de carga acordada para el tablero de 25 toneladas se ha materializado por medio de la correspondiente señalización. Por otra parte, para satisfacer la necesidad planteada por la DO/AT de permitir la coexistencia independiente de los tráficos peatonal y de vehículos, y a la vez centrar la sobrecarga, se desarrolló una solución donde el ancho del tablero (6,2 m, como el original), se distribuía en dos aceras de 1,1 m y un carril central reversible de 3,11m, separados por pretilas urbanas de división.

El estudio se desarrolló en tres fases fundamentales:

- Fase preliminar
- Fase de diseño
- Fase de ejecución

4.1 Fase preliminar: Inspección y ensayos

La fase preliminar de los trabajos de reparación y refuerzo de la estructura ha permitido identificar las patologías existentes y recopilar los datos principales para definir las medidas necesarias de reparación y refuerzo. Para ello se realizó:

- Inspección detallada de los daños realizada de manera conjunta entre AT/DO y el personal de Freyssinet.
- Caracterización de los materiales existentes (resistencia, propiedades físicas y

químicas) mediante ejecución de catas, extracción de testigos y ensayos de laboratorio para verificar los datos originales.

- Determinación mediante mediciones y pruebas in situ del recubrimiento, profundidad de carbonatación del hormigón, corrosión de la armadura, etc.
- Investigación histórica de la información contenida en los Modelos de Puentes arco de hormigón armado de J. Eugenio Ribera, relativos a geometría, armado y principios de diseño para su comparación con los datos reales recogidos en obra.

4.2 Fase de diseño: Estudio de la propuesta de reparación y refuerzo

Para poder definir el estado actual del puente y estudiar una solución de reparación y refuerzo se modelizó el puente con el software SAP2000 mediante elementos finitos tipo barra (arco y tabiques) y shell (losa, larguero y voladizo) de la geometría replanteada in situ, con los datos reales de resistencia de los materiales, corregidos en base a la estimación de daños actuales en los diferentes elementos.

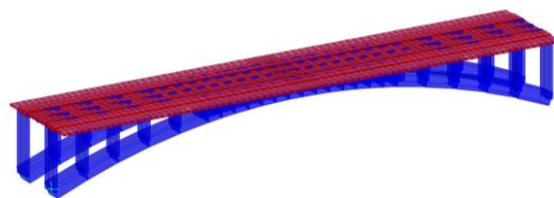


Figura 6. Vista 3D del modelo FEM del Puente

Una vez desarrollado el modelo FEM del puente se siguieron los siguientes pasos:

- Definición de combinaciones de carga conforme a la Instrucción IAP-11 y comprobación de los estados últimos y de servicio de todos los elementos evaluándolos en estadio inicial.
- Análisis de los resultados y del comportamiento del puente bajo las cargas de diseño y definición de la solución de reparación y refuerzo.

4.2.1. Resultados del análisis

El análisis mediante modelización con elementos finitos ha permitido evaluar los esfuerzos en los diferentes elementos que componen el puente bajo las cargas de diseño, para poder evaluar el comportamiento global de la estructura y definir, si fuera necesario, una solución de reparación y refuerzo.

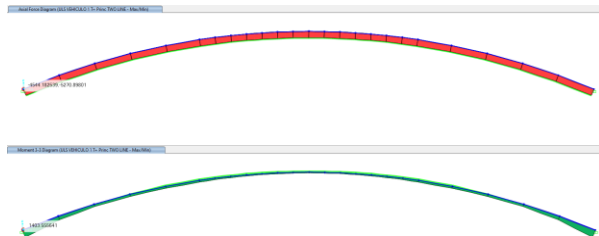


Figura 7. Esfuerzos en el arco zona arranques (Axil y Momento)

Con los resultados de los esfuerzos en los diferentes elementos de la estructura se han desarrollado dos estudios:

1. Estudio de los elementos estructurales en su estado actual con daño, evaluado conjuntamente con la DO, conforme al análisis de la inspección y los resultados de los ensayos.

2. Estudio de los elementos estructurales que presentan daño y falta de capacidad resistente con la solución de reparación y refuerzo empleada.

Para cada estudio, las siguientes comprobaciones de cálculo se han realizado conforme con la norma vigente española EHE-08:

1. Estado límite último de flexión con axil
2. Estado límite último de cortante
3. Estado límite de servicio característica para evaluar el estado tensional en el hormigón y en el acero
4. Estado límite de servicio frecuente para la comprobación de la abertura máxima de fisura.

A continuación, la tabla resumen de los resultados de comprobaciones en ELU en estado inicial y en estado final con solución de reparación y refuerzo.

Tabla 1. Resumen comprobación en ELU Estado Inicial VS Estado Final con refuerzo.

Elemento puente	Esfuerzo	Estado inicial con daño: Combinación ELU/ELS Carril 2 IAP-11	Estado final con solución de reparación y refuerzo: Combinación ELU /ELS- Carril 2 IAP-11
Arco en zona de arranque	Momento	✗	✓
	Cortante	✗	✓
Arco en zona clave	Momento	✗ NOTA: No cumple ELS característica	✓
	Cortante	✓	✓
Arco en zona riñones	Momento	✗ NOTA: No cumple ELS característica	✓
	Cortante	✓	✓
Larguero	Momento	✗	✓
	Cortante	✗	✓
Losa	Momento	✗	✓
	Cortante	✗	✓

4.2.2. Solución propuesta de reparación y refuerzo

Los resultados del estudio del puente en su estado inicial con daños mostraban una deficiencia de capacidad frente a las cargas definidas en la IAP-11 y a causa de los daños encontrados (ver el resumen en la Tabla 1), por esta razón se propuso una solución de reparación y refuerzo (ver el resumen en la Tabla 1).

A continuación, la tabla resumen con el tipo de refuerzo elegido en cada elemento estructural del puente.

Tabla 2. Tipo de refuerzo.

Elemento puente	Tipo de refuerzo
Arco en zona de arranque	Mortero proyectado en el perímetro del arco con resistencia mínima 40 MPa con armadura de refuerzo B500

Arco en zona clave	Mortero proyectado en cara inferior con resistencia mínima 40 MPa con armadura de refuerzo B500
Arco en zona riñones	Mortero proyectado en cara inferior y superior con resistencia mínima 40 MPa con armadura de refuerzo B500
Larguero	Mortero proyectado en cara inferior con resistencia mínima 40 MPa y hormigonado superior con resistencia mínima 30 MPa con armadura de refuerzo B500
Losa	Hormigonado superior con resistencia mínima 30 MPa con armadura de refuerzo B500

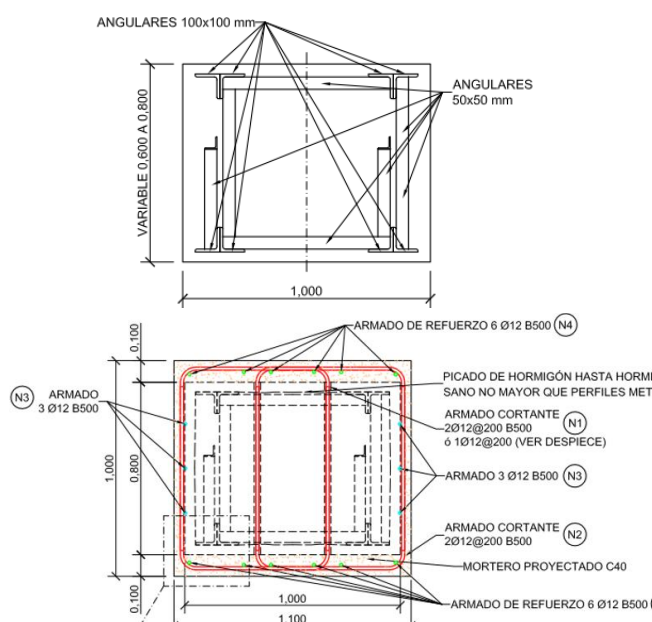


Figura 8. Sección inicial arco (izquierda) y sección con refuerzo empleado en zona de arranque arco (derecha)

Con el objetivo de cumplir con ratios normativos para el carril 2 de IAP-11, evitar la carga en voladizos y repartir uniformemente la carga en los dos arcos del puente era necesario centrar la carga y para ello se han dispuesto barreras tubulares (pretil urbano) sobre la zona de los largueros.

El pretil urbano se ha instalado sobre un zuncho armado posicionado sobre la zona de los

largueros, procediendo a la restauración y reutilización de la barandilla existente.

Esta geometría permitirá la reducción del tráfico a un solo carril y se generarán 2 aceras peatonales separadas del tráfico. Esta barrera se ha considerado adecuada, conforme a lo establecido por la DO, por las condiciones de tráfico y al tratarse de una zona urbana.

Adicionalmente se ha previsto realizar una serie de actividades complementarias encaminadas a restablecer la funcionalidad original de la estructura:

1. Fresado y repavimentación de la plataforma con pendiente del 2% para evacuación de aguas.
2. Sistema de drenaje: imbornales al margen de la calzada y la ejecución de trépanos oblicuos con la caída hacia el interior de los largueros.
3. Sistema de impermeabilización del tablero.
4. Reconstrucción o recuperación de la imposta (tipo prefabricada) donde poner la barandilla existente.
5. Recuperación y restauración de bordillos originales.
6. Por último, se ha sustituido las juntas en la zona de estribo con una junta compuesta por un aglomerante bituminoso con elastómero que garantiza una total adherencia al soporte, la estanqueidad y la elasticidad del puenteo.

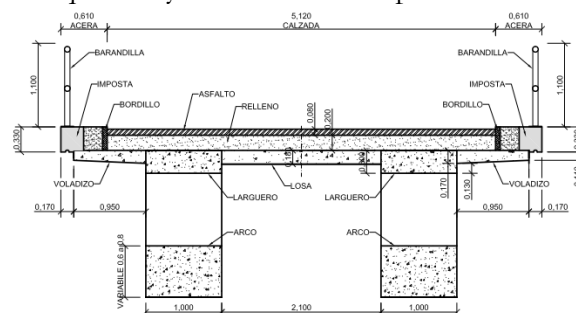


Figura 9. Sección transversal estado original

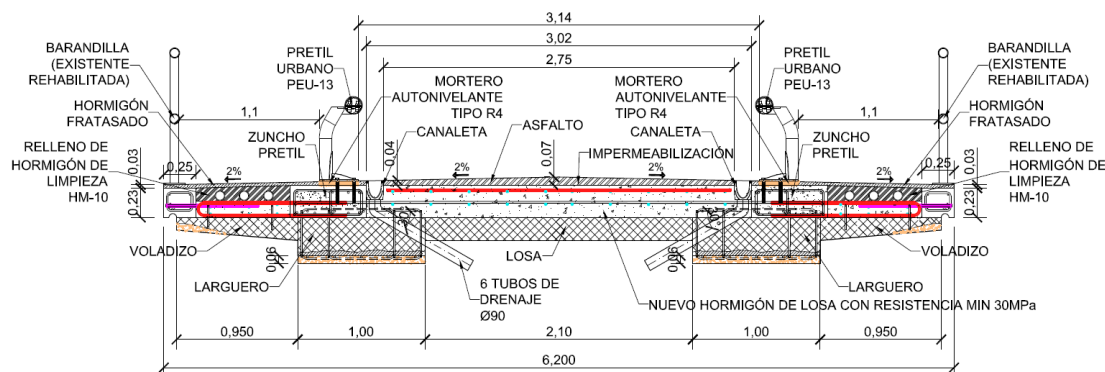


Figura 10. Sección transversal estado final

4.3 Fase de ejecución: Descripción de los trabajos. Inspección y ensayos

Conforme con los planos del proyecto de reparación y refuerzo, la secuencia de actuaciones del proyecto de reparación/refuerzo fue la siguiente:

- Picado y demolición de las superficies de hormigón deterioradas para conseguir una superficie rugosa y limpia.
- Limpieza de la superficie con chorro de agua / arena a alta presión para eliminar suciedades, partes sueltas de hormigón deteriorado, incluso, eliminación del óxido de armaduras corroída.
- Aplicación de pasivante en armaduras expuestas.
- Reparación y refuerzo del arco en toda su longitud, incluyendo detalles particulares en zona arranques, con mortero proyectado R-4, según UNE 1405 y armaduras B500S.
- Refuerzo de cara inferior de largueros con mortero proyectado y adición de armaduras B500S.
- Aplicación de inhibidor de corrosión y protección anticarbonatación.
- Sellado de fisuras mediante instalación de inyectores cada 30 cm e inyección con resina epoxi de baja viscosidad, empezando desde los puntos más bajos hasta completar inyección de estos.

- Implementación de detalle de entalladura en tabiques para permitir rotaciones con control de fisuración.

- Refuerzo de cara superior de losa y largueros mediante recrecido y formación de nueva losa de 25 cm de hormigón armado de resistencia mínima de 30 MPa.

- Colocación de pretil urbano que, además de asegurar el centrado de la carga de tráfico vial para no sobrecargar la zona de voladizos, dota al paso superior de un sistema de contención de vehículos que antes no existía.

- Obras complementarias sobre el tablero: impermeabilización, drenaje, repavimentación, reposición de juntas de dilatación, imposta, barandilla, acerado y señalización.

5. Conclusiones

Es importante subrayar que el proyecto, desde su declaración de obra de emergencia hasta la terminación de los trabajos, presentaba numerosos puntos críticos que fueron estudiados para elaborar soluciones que fueran capaces de satisfacer a las diferentes entidades implicadas en la infraestructura.

A continuación, se describen los **puntos principales**:

Obra de emergencia: necesidad de ejecutar los trabajos en el plazo más breve posible. Para entender la importancia del desarrollo rápido y técnicamente viable del proyecto es fundamental reconocer que este

puente es una infraestructura de vital importancia para conectar dos poblaciones y poder trasladar entre ellas cubas de agua, o que puedan llegar bomberos y ambulancias al pueblo de Anaga ubicado en la cumbre. Su corte obligaba a los habitantes a caminar más de 2 h. La celeridad de la ejecución era crucial para poder gestionar cuanto antes la reapertura del tráfico de vehículos sin restricciones, y la de peatones en condiciones de total seguridad. El proyecto y su ejecución se desarrollaron en menos de 5 meses.

Normativa actual de diseño: la IAP-11 define sobrecargas de uso mucho más severas que las contempladas en el proyecto de la época de Ribera. Por ello, el diseño de la reparación y el refuerzo se hizo cumpliendo con la norma vigente, y así poder garantizar el paso de guaguas de turistas, cubas y otros vehículos pesados que hasta ahora no podían hacerlo.

Los trabajos de reparación y refuerzo han permitido lograr los objetivos del proyecto en términos de durabilidad, seguridad estructural e incremento de la capacidad estructural frente a

vehículos pesados de 25 toneladas en condiciones normales, hasta un valor máximo de 40 toneladas en caso de situaciones de emergencia (carril 2 IAP-11), sin alterar la estética original del puente, punto fundamental considerando su valor histórico.

La colocación del **pretil**, además de centrar la carga permitiendo un comportamiento estructural más optimizado, permite segregar las aceras peatonales del tráfico vehicular, lo cual aumenta la seguridad del peatón, y a la vez ofrece protección pasiva para los vehículos que circulan a su lado (con las limitaciones de un pretil urbano).

Las obras de **impermeabilización, drenaje y repavimentación** fueron de vital importancia para garantizar la durabilidad, dada su exposición al ambiente marino, y contener el desarrollo de las patologías encontradas.



Figura 11. Estado inicial y final del puente

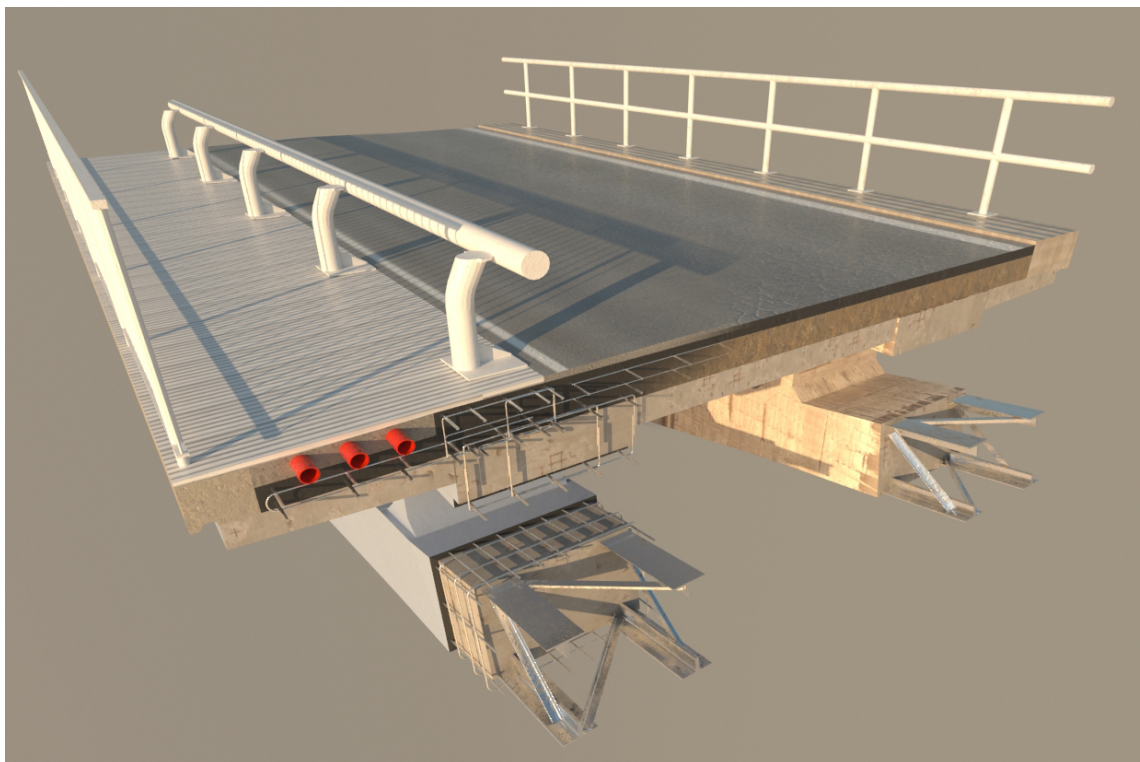


Figura 12. infografía de: Estado inicial (mitad derecha) y final (mitad izquierda) del puente

6. Agradecimientos

Los autores del artículo quieren manifestar su agradecimiento a todos los que hicieron posible, con su esfuerzo, compromiso y dedicación, llevar a cabo en tiempo y forma esta obra de rehabilitación estructural de un puente histórico, y de forma especial al Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife y al ingeniero D. Ivan Solla Veloso.

7. Referencias

- [1] Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera IAP-11 (2011).
- [2] Instrucción de hormigón estructural EHE-08 (2008).
- [3] Eurocódigo 2 Parte 2 (2005). Proyecto de estructuras de hormigón - Puentes de Hormigón
- [4] Ministerio de Fomento, Dirección general de obras públicas (1925). Modelos de puentes de hormigón armado I.
- [6] Millanes Mato, F. y Gómez García, M. E. Inspección, evaluación estructural y rehabilitación de varios puentes arco de la colección de D. J. Eugenio Ribera.
- [7] Nuevas Técnicas de Evaluación Estructural, Rehabilitación y Refuerzo. Grupo Español de IABSE, Madrid, 1999.
- [8] Millanes, F.; Matute Rubio; L; Pulido Sánchez, I., Inspección y rehabilitación de varios puentes arco de la colección oficial del profesor J. Eugenio Ribera.
- [9] Tanner, P y Ortega Basagoiti, L. Rehabilitación de puentes del pasado. Una tarea del futuro Hormigón y Acero nº 216, 2º trimestre 2000.