

Reparación y rehabilitación del Puente Galcerán, en el Barranco de Santos (Santa Cruz de Tenerife)

Repair and rehabilitation of the Galcerán Bridge, in Barranco de Santos (Santa Cruz de Tenerife)

José Antonio Llombart Jaques^a, Emilio José Grande de Azpeitia^b

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniería Civil - Consultoría y Proyectos. ja@jallombart.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TRAZAS INGENIERÍA, S.L. egraazp@trazasing.com

RESUMEN

El Puente Galcerán, construido en el año 1926 es una obra notable por su valor histórico y arquitectónico y es representativa de una época en la que numerosos puentes españoles con la tipología de arco se construyeron con cimbra autoportante (Autocimbra). El deterioro sufrido a lo largo de los años transcurridos desde su construcción ha sido objeto de una reciente obra de reparación y rehabilitación, cuyas características fundamentales se muestran en el presente artículo. Tras la obra ejecutada, el Puente Galcerán se encuentra en condiciones de servicio y con altas expectativas de durabilidad y vida útil.

ABSTRACT

The Galcerán Bridge, built in 1926, is a remarkable work for its historical and architectural value and is representative of a period in which many Spanish arch bridges were built with self-supporting falsework ("Autocimbra"). The deterioration suffered over the years since its construction has been the object of a recent repair and rehabilitation work, the fundamental characteristics of which are shown in this article. After the work carried out, the Galcerán Bridge is in service conditions and with high expectations of durability and useful life.

PALABRAS CLAVE: Reparación y refuerzo de estructuras, arcos, carbonatación, mortero tixotrópico.

KEYWORDS: Repair and reinforcement of structures, arches, carbonation, thixotropic mortar.

1. Introducción

El Puente Galcerán ha sido objeto de una reciente obra de emergencia, iniciada tras la caída de cascotes a la vía pública en marzo de 2018, que ha tenido por objeto la reparación y rehabilitación del conjunto de la infraestructura. Se han seguido las directrices generales de un proyecto realizado en 2002 y durante el transcurso de la obra se han realizado estudios complementarios y los ensayos necesarios para determinar el estado real de la estructura.



Figura 1. Puente Galcerán. Vista general

El puente está constituido por tres vanos de 39.30 m de longitud, medidos entre ejes de pilas. La estructura de hormigón armado de cada uno de los vanos está formada por un conjunto de cuatro arcos de 36 m de luz, sobre los que arrancan unos montantes verticales que soportan el tablero en forma de losa maciza.

2. Tipología estructural. Antecedentes históricos

La historia de los puentes sobre el Barranco de Santos en Santa Cruz de Tenerife es ejemplo vivo de la evolución de los materiales y de las tipologías de construcción de estas estructuras. Si se hace un recorrido desde la costa hacia la cumbre se van encontrando los diferentes puentes que han marcado el desarrollo y la configuración de la ciudad; el de Francisco La Roche y Bravo Murillo, el Cabo, Serrador, Galcerán, Asuncionistas, Salamanca y Zurita.



Figura 2. Foto histórica de los puentes del barranco de Santos más cercanos al mar. Desde abajo aparecen los puentes de Bravo Murillo, el Cabo, Serrador y Galcerán

Una de las grandes obras de ingeniería de los años 20 del pasado siglo XX en Tenerife fue el puente Galcerán, llamado así en honor a un

hecho de armas del General Weyler. El barranco de Santos frenaba el desarrollo urbano de la ciudad hacia el sur, sobre todo en la zona del barrio de Duggi por la altura que alcanzaba su cauce.

La construcción del Puente Galcerán se realizó entre los años 1926 y 1929 gracias a un préstamo asumido por Santiago García Sanabria, alcalde por aquel entonces de Santa Cruz de Tenerife.

Se trata de una obra notable por su valor arquitectónico y es representativa de una época. Además, por sus características de tipo funcional, constituye hoy en día una pieza fundamental de la estructura viaria de la ciudad tinerfeña.

El proyecto del Puente Galcerán fue desarrollado por el Ingeniero Eduardo Torroja, en colaboración con el Arquitecto municipal Antonio Pintor.

El diseño general de la estructura de cada uno de los vanos responde a una tipología desarrollada a principios del pasado Siglo XX por el Ingeniero José Eugenio Ribera (1864-1936), que en su momento representó un gran avance en la técnica constructiva de arcos, consistente en el montaje previo de una cimbra autoportante (Autocimbra) para soportar el hormigón, durante el proceso de fraguado.

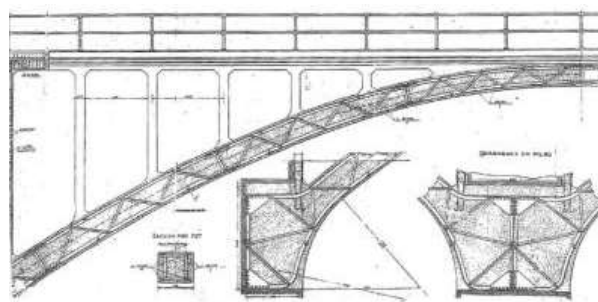


Figura 3. Autocimbra existente en los arcos del Puente Galcerán. (Figura extraída del proyecto de construcción original)



Figura 4. Foto histórica de la autocimbra del puente Galcerán, en fase de construcción

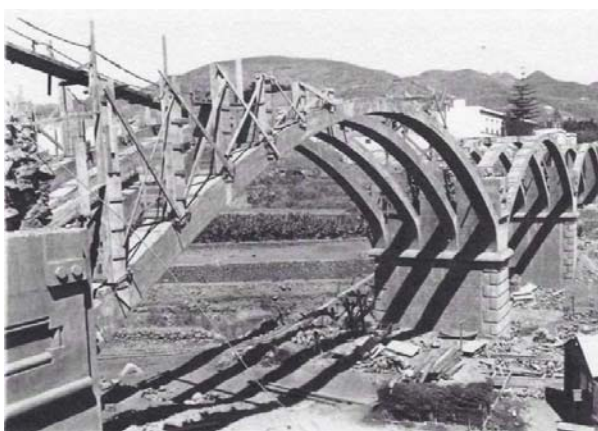


Figura 5. Foto histórica de los arcos exentos del puente Galcerán, hormigonados en fase de construcción

3. Puente Galcerán. Peculiaridades estructurales

Debido a la existencia de las autocimbras, que quedan embebidas en el interior de la masa de hormigón, los arcos del Puente Galcerán carecen de armadura adicional.

Dada la escasa separación relativa entre montantes y entre los cuatro arcos de cada tramo del puente, los esfuerzos de flexión en la losa de tablero, producidos por las cargas de tráfico, son reducidos y por tal motivo, la cuantía de armadura existente es baja.

En cuanto a los montantes, debido a su disposición, el régimen de esfuerzos resultantes corresponde al de compresión compuesta y, por

tanto, los requisitos de armadura a efectos resistentes son mínimos.

Desde el punto de vista de la conservación, se ha podido deducir que la existencia de una baja cuantía de armadura ha representado una ventaja sobre las estructuras actuales de hormigón cuyas cuantías de armadura son muy superiores, debido a que, con el tiempo, las propiedades de protección del hormigón frente a la oxidación disminuyen como consecuencia de la carbonatación y el conjunto resulta más sensible frente a la corrosión. Tal circunstancia ha resultado favorable en el Puente Galcerán, cuyo grado de deterioro superficial transcurridos cerca de 100 años desde su construcción, no ha mermado de forma significativa su capacidad estructural y ha sido posible su reparación para prestar servicio en el futuro en adecuadas condiciones, por su capacidad estructural y por su aspecto exterior, una vez finalizada la obra de rehabilitación.

3. Daños constatados

La naturaleza de las anomalías puestas de manifiesto en las inspecciones oculares, realizadas durante la obra de reparación del Puente Galcerán, se resume de acuerdo con la siguiente relación:

- Desprendimiento del material que constituye los pretils.
- Humedades en la superficie inferior del tablero, especialmente en los vuelos laterales.
- Grietas en arranque de arcos.
- Desprendimiento de masa de los arcos, dejando a la vista las cerchas interiores.
- Presencia de material de relleno inapropiado, procedente de reparaciones anteriores, no adherido a la estructura.
- Desprendimiento de material en las piezas ornamentales.



Figura 6. Desprendimiento del material que constituye los pretilos



Figura 7. Humedades en vuelos laterales



Figura 8. Grietas en arranque de arcos



Figura 9. Desprendimiento de masa de los arcos, dejando a la vista las cerchas interiores



Figura 10. Presencia de material de relleno inapropiado, procedente de reparaciones anteriores, no adherido a la estructura

5. Inspección realizada durante la fase de obra

5.1. Control geométrico

Semanalmente, se han realizado mediciones en 14 puntos representativos del puente, para determinar su posición, en 3D (x, y, z) y comparar los resultados.

A partir de los resultados de las mediciones se ha constatado la inexistencia de anomalías en el comportamiento de la estructura frente a las acciones exteriores y se ha confirmado la solidez de la cimentación, con total ausencia de asentamientos.

5.2. Ensayos

5.2.1 Adherencia

Los valores obtenidos, procedentes de un ensayo a tracción directa sobre los nuevos morteros de reparación, son asimilables a los propios de hormigones de alta resistencia, muy por encima de la del material con que está formada la estructura existente. Los resultados han constituido una garantía de continuidad y monolitismo de la masa resultante de las reparaciones.

5.2.2 Testigos

Se han extraído testigos del hormigón de los arcos. A partir de los resultados obtenidos, se ha terminado un valor de la resistencia característica ($f_{ck} = 11,4 \text{ N/mm}^2$) que se ha aplicado en las verificaciones estructurales

5.2.3 Profundidad de carbonatación

Se ha realizado el ensayo en 12 testigos extraídos en varios arcos de la estructura. La profundidad de carbonatación está comprendida entre 12 y 69 mm y el valor medio de los 12 testigos ensayados es de 40 mm.

La frontera de carbonatación se encuentra prácticamente coincidente con la superficie de los perfiles metálicos que constituyen la autocimbra y se ha advertido que este dato actual debe tenerse en cuenta con vistas a la aplicación de medidas futuras de conservación

5.2.4 Contenido de cloruros en hormigón

Los valores obtenidos en los ensayos de Laboratorio han mostrado que el contenido de cloruros es insignificante y, por tanto, carece de consideración frente al riesgo de corrosión.

6. Criterios generales seguidos en la obra de reparación

El objetivo fundamental de la obra ha consistido en restituir las características iniciales del Puente Galcerán y garantizar los aspectos relativos a la seguridad, tanto en el conjunto de la estructura, como en la reposición de los detalles.

La mayor parte de los problemas se ha localizado en la parte exterior de los distintos elementos de la estructura, especialmente en los arcos y parte ornamental. Teniendo en cuenta el conocimiento previo de la capacidad resistente del núcleo de los arcos, se ha estimado necesario

eliminar por completo la parte deteriorada de los recubrimientos. Una vez concluida esta fase y los posteriores trabajos de limpieza y pasivación de elementos metálicos vistos, se ha realizado una labor de restitución de la masa con materiales tixotrópicos de alta resistencia.

Se ha considerado de gran importancia conseguir la perfecta adherencia entre los materiales aportados y el hormigón existente, a fin de conseguir el monolitismo y la reposición de las dimensiones exteriores de las piezas. Los ensayos llevados a cabo han confirmado la existencia de las cualidades requeridas.

Con la aportación de morteros especiales se ha mejorado la capacidad resistente y las condiciones de mantenimiento futuro, incrementando considerablemente la protección en zonas con escaso recubrimiento de las partes metálicas existentes en el interior de la masa.

Finalmente, la aplicación de la pintura exterior ha tenido por objeto principal la protección del hormigón y la detención del proceso de carbonatación. Adicionalmente, la mejora estética aportada por la pintura es congruente con la importancia de la imagen a ofrecer por una obra de notable importancia por su valor arquitectónico.

7. Verificación estructural

Se ha elaborado un modelo para cálculo y análisis de un vano completo del puente, mediante proceso por ordenador.

7.1 Existencia de la Autocimbra

La construcción de los arcos del Puente Galcerán se llevó a cabo en su día mediante el procedimiento de Ribera, consistente en el montaje previo de unas cerchas metálicas autoportantes (Autocimbras) que soportaban el peso del hormigón del arco en fase de construcción.

Estas cerchas metálicas han quedado permanentemente embebidas dentro de la masa

y, por tanto, se deforman juntamente con el hormigón del arco. La rigidez del conjunto formado por el hormigón más las cerchas metálicas es igual a la suma de la rigidez unitaria de la fracción de hormigón más la correspondiente de la sección de acero multiplicada por la relación de módulos de elasticidad de ambos materiales (Coeficiente de equivalencia).

El estado tensional del hormigón del arco sometido a la acción conjunta de esfuerzos Axiles y Flexión depende directamente de los valores estáticos A (Área) e I (Inercia) de las secciones homogeneizadas al sumar los correspondientes valores de las secciones de hormigón y acero; estas últimas multiplicadas por el coeficiente de equivalencia.

El valor de A (Área) en el caso de existir autocimbra es superior entre un 13% y 17% al de la sección simple de hormigón. El valor de I (Inercia) es superior entre un 24% y un 26%.

Con el objeto de obviar la existencia de un grado de incertidumbre acerca de la integridad al 100% de la autocimbra, en el modelo de cálculo que determina las tensiones longitudinales del hormigón se ha prescindido de la consideración de existencia de la autocimbra, lo que representa una medida conservadora que queda del lado de la seguridad, ya que las tensiones existentes en el hormigón son realmente inferiores a las calculadas, con una diferencia que razonablemente puede estimarse del orden del 15%. Este margen de seguridad adicional no se ha recogido en los resultados numéricos del cálculo realizado, en que se han considerado las secciones simples con la sola existencia del hormigón.

7.2 Modelo de cálculo

7.2.1 Criterios generales

Se ha realizado un análisis del modelo en 3D, en hipótesis de comportamiento elástico y lineal del material para determinar esfuerzos y tensiones

resultantes, con su evaluación dentro del Estado Límite de Servicio (ELS). Posteriormente se han verificado las secciones para el Estado Límite Último (ELU), con las cargas afectadas por los coeficientes de mayoración.

7.2.2 Acciones consideradas

Al igual que en el proyecto inicial de rehabilitación, en la verificación estructural se ha seguido la IAP-98 para determinar los citados estados de Carga y las magnitudes del tren de carga. De acuerdo con la IAP, la Variación Térmica uniforme (ΔT) considerada es 28,3° C.

Las acciones de la Norma IAP-98, tenidas en cuenta en el Proyecto de reparación y rehabilitación redactado en el año 2002, se han considerado adecuadas para valorar la capacidad estructural existente del Puente Galcerán, que si bien fue construido en otra época en que las sobrecargas a considerar en los proyectos eran mucho menores, sin embargo el grado de seguridad exigible frente al paso de vehículos actuales debe ser el propio de todo puente de carretera, proyectado de acuerdo con la citada Norma.

La Norma IAP-98 ha sido sustituida por la IAP-11 (Año 2011). La redacción de esta nueva versión de la Norma ha sido motivada por la existencia de un criterio de adecuación y congruencia con los Eurocódigos Estructurales, que paulatinamente están siendo adoptados por diversos países europeos como códigos técnicos para el proyecto de puentes.

Una de las modificaciones de la nueva versión de la Norma ha consistido en la determinación de las cargas de tráfico a aplicar, que han aumentado considerablemente. En la IAP-98, las cargas verticales a considerar están constituidas por un vehículo de 60 toneladas más una carga uniforme de 0.4 toneladas extendida en la superficie del tablero en la situación más desfavorable. En la nueva Norma, para un puente con calzada de 9.00 m de ancho debe considerarse la acción simultánea de 3 vehículos

de 60, 40 y 20 toneladas más una sobrecarga uniforme de distintas intensidades en función de la posición de los vehículos y que en su conjunto, también es mayor que la de la IAP-98.

La existencia de la nueva Norma IAP-11 no significa que todos los puentes construidos según proyectos desarrollados antes del año 2011, de acuerdo con la IAP-98, tengan un defecto de seguridad, ni precisen ser reforzados, aunque en el caso de que se realizase una revisión de los cálculos, la mayor parte de ellos no cumplirían estrictamente con la IAP-11. Sin embargo, sigue en vigor la consideración de que el grado de seguridad frente al paso de los vehículos actuales es suficientemente amplio si cumple con lo establecido en la anterior IAP-98, tenida en cuenta en fase de proyecto.

Por tal motivo, se considera que la verificación del Puente Galcerán de acuerdo con la IAP-98 proporciona datos suficientemente representativos de la adecuada seguridad estructural para las cargas actuales de tráfico y, por tanto, no se han realizado verificaciones adicionales con la consideración de las cargas de la IAP-11.

7.2.3 Estructura evolutiva

Se ha tenido en cuenta la circunstancia propia del proceso constructivo del puente y la generación de esfuerzos en las distintas partes a medida que la estructura fue evolucionando en fase de construcción.

En una primera fase de construcción, el arco aislado soportó íntegramente la carga de su peso propio, más el de los montantes verticales y el del hormigón fresco del tablero en fase de fraguado.

Transcurrida esta fase y una vez concluido el fraguado del hormigón de tablero y por tanto, el monolitismo del conjunto formado por arco – montantes – tablero, el conjunto de la estructura responde a un esquema estático distinto. Por tanto, se ha efectuado el análisis con la consideración de los dos esquemas estáticos

citados y la suma de esfuerzos en los componentes de estructuras con esquemas distintos.

A efectos del análisis estructural, se han considerado dos estados diferentes de la estructura:

1. Situación durante el hormigonado del tablero: El efecto del peso propio del tablero responde a cargas aisladas sobre montantes. Durante su construcción no existió interacción estructural entre la cabeza superior de los montantes.

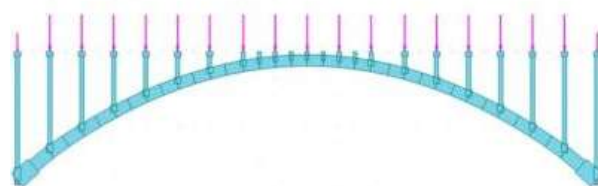


Figura 11. Modelo correspondiente a la Fase 1 de construcción: Arco aislado y montantes que soportan su peso propio y el tablero en fase de hormigonado

2. Situación posterior al fraguado del hormigón del tablero: Existe monolitismo e interacción de los montantes con el tablero:

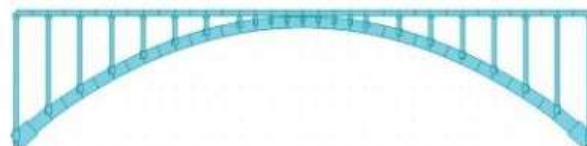


Figura 12. Modelo correspondiente a la Fase 2 de construcción: Estructura completa, con el tablero unido monolíticamente con los montantes

La verificación estructural se ha realizado mediante el cálculo por separado de los dos esquemas estructurales citados y se han sumado posteriormente los esfuerzos resultantes.

7.2.4 Verificación de la estructura completa

La estructura completa de un vano se ha discretizado en un modelo 3D, formado por 416 Nudos y 611 Elementos.

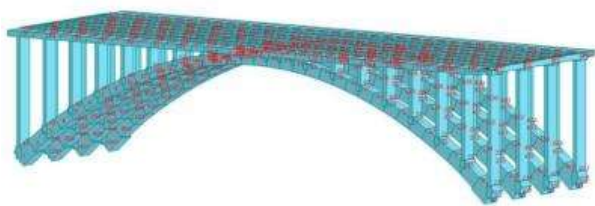


Figura 13. Modelo de la estructura completa

7.2.5 Resultados del análisis estructural

En la situación del puente en su estado actual, sin la existencia de cargas exteriores y sometido únicamente a la acción del peso propio, los arcos se encuentran en un estado de compresión compuesta en su totalidad, con tensiones moderadas en condiciones óptimas desde el punto de vista estructural. La máxima tensión (2.81 N/mm^2) está localizada cerca de los arranques.

En la fase de servicio de la estructura, con cargas normales de tráfico, las tensiones resultantes con las de adición al peso propio, son moderadas. Es representativo el resultado en la situación teórica consistente en aplicar acciones extremas propias de la combinación de existir una sobrecarga uniforme en toda la superficie del tablero, más un vehículo especial de 60 t colocado en el centro, simultáneamente con variaciones instantáneas de temperatura. Los arcos permanecen en situación de compresión, prácticamente en su totalidad. El valor máximo puntual es de 5 N/mm^2 y el valor medio de las tensiones está alrededor de los 3 N/mm^2 .

La combinación con la carga asimétrica (Sobrecarga uniforme en la mitad del tablero, más un vehículo especial de 60 toneladas sobre riñones) constituye la hipótesis más desfavorable, por tratarse de una estructura en arco. Se trata de una situación teórica excepcional impuesta por la Norma, que no es representativa de una situación real de tráfico. Sin embargo, la respuesta estructural es del todo aceptable y la máxima tensión localizada es de 5.90 N/mm^2 , en una zona próxima al arranque.

La comparación de los valores anteriormente citados de las tensiones de compresión con la resistencia característica ($f_{ck} = 11.4 \text{ N/mm}^2$) muestra un alto grado de la seguridad de la capacidad última de los arcos. Los valores máximos de las tensiones de compresión son netamente inferiores al de la resistencia característica minorada tras la aplicación de los coeficientes habituales utilizados en los cálculos de las estructuras actuales de hormigón.

También cabe mencionar que en la determinación de los valores de las tensiones se han tenido en cuenta las secciones simples de hormigón, como si no existiese la autocimbra. Dada la existencia real de las autocimbras embebidas en la masa de hormigón, se estima que el valor efectivo de las tensiones podría ser inferior al calculado, disminuido en un 15% aproximadamente. Puede afirmarse, por tanto, que el grado de seguridad efectivo es mayor que el deducido a partir del cálculo realizado.

Para evaluar apropiadamente la capacidad resistente de la estructura en su totalidad ha sido necesario considerar las consecuencias de estados parciales de tracción que se producirían en algunas secciones bajo el efecto de las sobrecargas de tipo asimétrico, colocadas sobre los riñones del arco. Para ello, se han tomado los valores de los esfuerzos mayorados para la verificación en Estado Límite Último (ELU) de dichas secciones, sometidas a flexión compuesta.

La verificación se ha realizado en la forma habitual de cálculo de secciones de hormigón armado, teniendo en cuenta, para este caso, una resistencia característica de hormigón de 11.4 N/mm^2 (resistencia de cálculo $f_{cd} = 7.60 \text{ N/mm}^2$) y un acero para la armadura de tracción con un límite elástico propio del acero tipo A37 ($f_{yd} = 322 \text{ N/mm}^2$), con el que están compuestas las Autocimbras. Para el caso más desfavorable de la sección más solicitada, la sección de acero de la autocimbra es notablemente superior a la cuantía de acero necesaria, con lo que queda

ampliamente asegurado el correcto funcionamiento de la sección conjunta, en el caso hipotético de que se produjesen los esfuerzos derivados de la carga asimétrica de la Instrucción. Asimismo, teniendo en cuenta las características resistentes del hormigón, las secciones han quedado verificadas frente al cortante, con su valor mayorado.

En cuanto a la verificación del Estado Límite de Deformaciones, la gran rigidez del puente Galcerán, constituido por una estructura en arco, supera ampliamente las exigencias de la Norma, que limita la flecha máxima a $1/1000$ de la Luz bajo la actuación de una sobrecarga con el valor frecuente.

7.2.6 Conclusiones

A partir del análisis de los resultados, procede afirmar que el Puente Galcerán, mantenido en su estado actual, tras la obra de rehabilitación concluida, dispone de la capacidad estructural propia de un puente de carretera, con el adecuado grado de seguridad frente a la aplicación de las cargas especificadas en la Instrucción IAP-98.

8. Resumen final

En el momento de inicio de la obra de emergencia, la estructura del Puente Galcerán se encontraba en un proceso de degradación generalizado, acusado especialmente en los arcos que constituyen la parte más importante.

En la obra de reparación se han restituido por completo las formas a su situación original. Los nuevos materiales aplicados han aportado considerables mejoras en el grado de protección del hormigón existente frente a la corrosión, refuerzo de la capacidad estructural y un grato resultado en el aspecto estético.

Como consecuencia de la información proporcionada por los ensayos complementarios y el análisis estructural llevado a cabo, puede afirmarse, con el respaldo que nos proporciona

la técnica del día de hoy, que, una vez finalizada la obra de rehabilitación, el Puente Galcerán, construido en 1926, se encuentra en las condiciones de servicio equivalentes a las que son normalmente exigibles para cualquier puente de carretera de construcción actual y con altas expectativas de durabilidad y vida útil para su servicio como vía pública y como muestra de una magnífica obra, exponente de la ingeniería de principios del pasado siglo XX.



Figura 14. Puente Galcerán. Estado actual, tras la finalización de la obra de rehabilitación

9. Realización

La obra ha sido promovida por el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife y llevada a cabo por la Empresa Constructora OHL bajo la Dirección de Obra de TRAZAS INGENIERÍA.