

Reparación y refuerzo del puente ferroviario de ETS sobre el río Urola de la línea Bilbao-San Sebastian en el P.K. 79/036 en Zumaia

Repair and retrofitting of the ETS railway bridge over Urola river in the Bilbao-San Sebastian line, chainage 79/036, in Zumaia

Iñaki Jaime Azpiazu^a, Alberto Martín Galán^b, Jon Corral Ansa^c, Francisco Prieto Aguilera^d, Ángela Sanchez-Arevalo Cortes^e, Itziar Amaia Fernández Hernández^f

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Injelán. ija@injelan.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores. Director de Departamento. amg@fhedor.es

^c Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Injelán. jca@injelan.com

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores. Director de Departamento. fpa@fhedor.es

^e Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. ETS. Gestora de Planificación y Proyectos. asanchez@ets-rfv.eus

^f Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. ETS. Directora de Obra. iafernandez@ets-rfv.eus

RESUMEN

El puente de ETS sobre el río Urola, puesto en servicio el 1 de enero de 1901, consta de 2 vanos hiperestáticos idénticos de 51 m de luz cada uno formados por celosías metálicas continuas de tipo Town, que fue ya reforzado en 1989 con una celosía metálica central de tipo Warren. La estructura presentaba graves corrosiones con fuertes pérdidas de sección de acero resistente, con perforaciones de chapas en elementos críticos. La solución propuesta ha consistido en el refuerzo de mamparos y riostras de estribos y pila con chapas adicionales y la sustitución completa de arriostramientos y del ala inferior de los cordones inferiores de las celosías principales, así como el chorreado y pintado general de la obra.

ABSTRACT

The ETS bridge over the Urola River, put into service on January 1th, 1901, consists of two identical hyperstatic spans of 51 m each, formed by continuous Town-type steel trusses, which was reinforced in 1989 with a central Warren-type steel truss. The structure showed severe corrosion with heavy losses of resistant steel section, with perforations of plates in critical elements. The proposed solution consisted of the reinforcement of diaphragms of abutments and pier with additional plates and the complete replacement of bracings and the lower flange of the lower chords of the main trusses, as well as the general blasting and painting of the structure.

PALABRAS CLAVE: puente, reparación, refuerzo, metálico, celosía, ferrocarril.

KEYWORDS: bridge, repair, retrofitting, steel, truss, railway

1. Introducción

El puente sobre situado en la desembocadura del río Urola constituye una obra emblemática y de claro valor patrimonial por tratarse de uno de los puentes pioneros en la tipología de celosías

metálicas en puentes ferroviarios. Se trata de una estructura ejecutada en el año 1900, formando parte del tramo Deba-Zarautz, que fue inaugurado el 1 de enero de 1901.

En el año 1989 se acometió una obra de refuerzo del puente original mediante la disposición de una celosía central para descargar a las dos celosías originales, que presentaban entonces y ahora deformaciones importantes. Posteriormente, en 2003, se procedió con el repintado general del puente y se sustituyó la mayor parte de los perfiles de los arriostramientos de la estructura, empleando tanto uniones atornilladas como soldadas en los diferentes elementos.

Euskal Trenbide Sarea (ETS) adjudicó a la UTE formada por FHECOR e INJELAN la realización de una inspección especial de la estructura, llevada a cabo en julio de 2020 (complementada en 2021 con la realización de una inspección especial subacuática de la pila), con el objetivo de determinar su estado de conservación. Este estudio sirvió de base para la evaluación estructural y la definición de propuestas de actuación, que se concretaron en el informe emitido en noviembre de 2020 en el que se exponían los graves problemas resistentes y de durabilidad que presentaba la estructura y la necesidad de intervención a corto plazo.

Así, la misma UTE realizó en 2021 un estudio de alternativas con las propuestas de reparación y refuerzo que se consideraban más adecuadas. Este estudio culminó en la redacción del proyecto de reparación que desarrollaba en detalle la alternativa finalmente seleccionada y que se entregó a ETS en febrero de 2022.

En el mismo año 2022, la UTE FHECOR-INJELAN fue la adjudicataria de la Asistencia Técnica a la Dirección de Obra de ETS, mientras que la ejecución de los trabajos de reparación y refuerzo fue adjudicada a la UTE IMESAPI-CYCASA-CAMPEZO.

Los trabajos comenzaron en febrero de 2023 y finalizaron en octubre de 2024.

2. Descripción de la estructura

La estructura es recta en planta, sin pendiente en alzado, con una sección transversal de 4,00 m de

ancho en el paramento inferior. En el paramento superior la sección transversal se encuentra cerrada por una chapa superior nervada hasta alcanzar una anchura total de 5,88 m, con dos hilos para la circulación ferroviaria (vía única) y paseos laterales en ambos lados de la plataforma.

El material de vía es convencional, con traviesas de hormigón, banqueta de balasto sobre la chapa del tablero y muretes guardabalastos metálicos.

La obra de paso está formada por dos vanos hiperestáticos idénticos, de longitud total de 102,00 m entre ejes de apoyo de estribos, es decir con dos vanos de 51,00 m de luz cada uno.

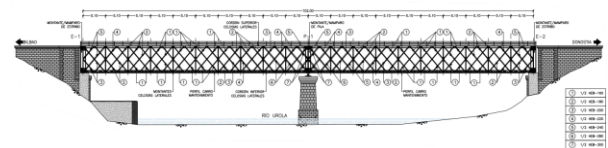


Figura 1. Sección transversal tipo del puente

El tablero está formado por dos vigas principales continuas en celosía tipo Town con su característica alma cerrada en celosía múltiple, que fueron reforzadas en una intervención posterior de la estructura principal original mediante una celosía central de tipo Warren constituida por perfiles metálicos formando una serie de triángulos isósceles, de manera que todas las diagonales tienen la misma longitud.

Las celosías principales tienen un canto máximo de 5,985 m, con una relación canto/luz de 1/8,5. Los cordones superior e inferior están reforzados en centro de vano y pila.

El tablero está constituido por un emparrillado de viguetas y largueros, resueltos como vigas armadas formadas por un alma llena y dos angulares formando cada una de las alas. La separación de las viguetas transversales es de 5,10 m, ya que coinciden con la posición de los montantes de las vigas principales.

Los cordones inferiores están conectados mediante arriostramientos en cruz de San Andrés. También hay arriostramientos en los recuadros situados bajo las viguetas transversales, con la misma tipología de cruces de San Andrés, en todos los módulos.



Figura 2. Alzado general izquierdo de la estructura antes de la reparación

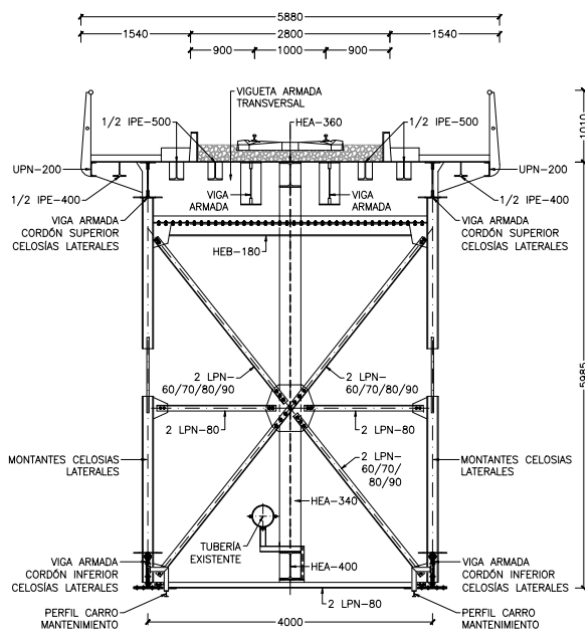


Figura 3. Sección transversal tipo del puente

La pila y los estribos son de sillería caliza. La pila tiene 3,80 m de canto, con una anchura de 9,40 m totales, volando 1,70 m por cada lado del tablero. La altura de la pila que queda libre de la carrera de marea es de 7,50 m, con una altura total de unos 12,50 m.

Los estribos tienen una altura de unos 4,50 m desde su cimentación hasta la meseta de apoyo del tablero y una anchura del estribo de fábrica original de 6,20 m. Están rematados por muros

en vuelta de la misma fábrica que el cuerpo central. Los estribos presentan unos recredos de hormigón ejecutados durante la última intervención, con lo que la anchura total actual es de 7,80 m.

Los aparatos de apoyo de las vigas principales laterales situados sobre la pila son fijos, de rótula metálica. Los situados sobre los estribos de las cerchas principales laterales y todos los de la viga principal central son apoyos elastoméricos.



Figura 4. Apoyos fijos metálicos originales

El puente soporta un poste de catenaria de la vía electrificada, con dos postes adicionales en los accesos a la estructura, sobre los muros en vuelta de los estribos. La plataforma ferroviaria está formada por la banqueta de balasto

dispuesta sobre la chapa superior del tablero, traviesas de hormigón y carril convencional de ancho métrico.



Figura 5. Plataforma previa a las obras de reparación

El acero original era el equivalente a un S235, mientras que el del primer refuerzo (1989) era un S255 y el del segundo (2003) un S275. El acero empleado en los refuerzos ha sido S275.

3. Descripción de daños

3.1 Celosías laterales y central

Las celosías laterales, que eran los elementos portantes originales, presentaban el mayor nivel de daño de toda la estructura en forma de corrosión y pérdida de sección, especialmente en el ala inferior del cordón inferior y en los mamparos de estribos y, sobre todo, pila.



Figura 6. Corrosión y pérdida de sección en cordón inferior de celosía lateral

Así, los cordones inferiores presentan fuertes pérdidas de sección resistente, concentrándose los daños por corrosión en los bordes del ala inferior y en la unión entre el alma y el ala inferior de cordón, donde el agua tiende a acumularse.



Figura 7. Acumulaciones de agua en el ala inferior del cordón inferior de las celosías exteriores

Los daños más importantes en la celosía central se localizaban en el ala superior del cordón inferior, con fuertes corrosiones con pérdidas de sección que alcanzaban los 10 mm.



Figura 8. Corrosión y pérdida de sección en cordón inferior de celosía central

En todos los casos, se trata de deterioros con clara afección a la durabilidad y capacidad resistente de la estructura.

3.2 Mamparos de estribos y pila

Junto con los cordones inferiores, eran los elementos más dañados por corrosión. Destacaban especialmente los graves daños que presentaban los mamparos de la pila, con

corrosiones tan importante que habían provocado la perforación de las chapas en distintos puntos, como el encuentro con las cartelas del cordón inferior.



Figura 9. Perforaciones en las chapas del mamparo de pila del lado aguas arriba

Sin duda, se trataba de daños con clara afección a la capacidad resistente, especialmente en un punto con acumulación de esfuerzos, sobre los apoyos de la pila.

3.3 Arriostramientos y chapa ortótropa

Los arriostramientos presentaban también daños por corrosión, aunque no de manera generalizada, sino localizada en las cartelas de los nudos de las cruces de San Andrés con los cordones inferiores.



Figura 10. Corrosión en cartelas de unión de arriostramientos inferiores con el cordón inferior

La chapa ortótropa no presentaba sin embargo daños relevantes, tan sólo corrosiones puntuales.

3.4 Estribos y pila de fábrica

Los estribos y pila se encontraban en buen estado, sin daños graves, con humedades, pátinas negras, eflorescencias y costras calcáreas puntuales, junto con abundante suciedad en el entorno de los apoyos. Además, los sillares de borde de los dos estribos y las piezas de la pila más expuestas al flujo del río presentaban arenizaciones y pulverizaciones



Figura 11. Daños leves en estribos y pila

3.5 Elementos de equipamiento

Aunque no afectaban a la capacidad resistente de la estructura, se pueden citar como daños más relevantes las roturas en traviesas, la contaminación del balasto y corrosiones en los muretes guardabalasto y postes de catenaria.



Figura 12. Rotura de traviesas bajo carril

4. Nivel de seguridad

La evaluación estructural realizada tras los trabajos de campo de inspección sirvió para constatar que el nivel de seguridad de la estructura no cumplía con los requerimientos de la normativa vigente, a pesar de los refuerzos llevados a cabo en el año 1989 con la disposición de la celosía central. Estas comprobaciones se realizaron aplicando los trenes de carga específicos de ETS, que son ligeramente inferiores a los tradicionales de la IAPF-07.

Los elementos más comprometidos eran los cordones inferiores de las celosías laterales, con un déficit de capacidad resistente que en algunos casos alcanzaba un 25%. Adicionalmente, los elementos de arriostramiento horizontal y vertical (cruces de San Andrés) presentaban problemas de estabilidad por pandeo en algunos casos.

Además, las corrosiones, pérdidas de sección de acero y perforaciones de algunos elementos localizados implicaban la necesidad de plantear sustituciones y parcheos localizados para mejorar la capacidad resistente y durabilidad.

Otro aspecto fundamental con relación a la seguridad estructura era el análisis del proceso constructivo, ya que la necesidad de mantener el tráfico ferroviario durante la mayor parte de las tareas de refuerzo, suponía la sobrecarga puntual de algunos elementos metálicos cuando los colindantes eran sustituidos, lo que llevaba a su vez al refuerzo de perfiles metálicos derivados del proceso constructivo.

Los resultados y conclusiones anteriores de la evaluación estructural llevaron a ETS a encargar a la UTE FHECOR-INJELAN un proyecto de reparación que definiera en detalle todas las actuaciones de refuerzo y reparación, cuya ejecución fue adjudicada a la UTE IMESAPI-CYCASA-CAMPEZO y que supuso un desafío por la complejidad de las actuaciones y su compromiso estructural.

5. Ejecución de las actuaciones de reparación más relevantes

5.1 Actuaciones previas

El primer paso para la ejecución de las obras fue la disposición de un andamio completo en toda la estructura con 3 niveles para poder acceder a todas las partes del puente, ejecutado por ULMA.



Figura 13. Andamio de tres niveles

Adicionalmente, una de las actuaciones iniciales más relevantes fue comprobar la soldabilidad del acero original, para lo cual se extrajeron varias probetas de acero en puntos no críticos, con resultado positivo en todos los casos, lo que permitía ejecutar uniones soldadas o atornilladas tanto para el acero original como el nuevo.

5.2 Refuerzo de diagonales y arriostramientos

Tras el montaje del andamio, las obras comenzaron por el refuerzo de los perfiles de los arriostramientos de las cruces de San Andrés horizontales y verticales, ya sea con perfiles de mayor calibre o con la adición de chapas atornilladas o soldadas. En algunos casos, se sustituyeron perfiles por otros de igual calibre dado que el motivo de la intervención era la fuerte corrosión pero no un déficit de capacidad resistente. Estas actuaciones de refuerzo se realizaron con tráfico ferroviario, mientras que

las reposiciones de perfiles se llevaron a cabo sin tráfico en bandas de mantenimiento nocturnas.

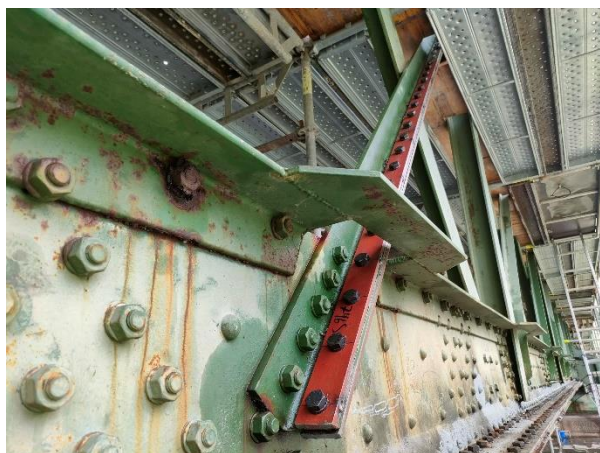


Figura 14. Refuerzo con chapa metálica atornillada en diagonal de celosía exterior

5.3 Refuerzo de mamparos

Dado que los mamparos de los estribos y pila constituían elementos resistentes fundamentales, su refuerzo estaba previsto sin tráfico ferroviario por ser necesario desmontar parcialmente los mamparos para proceder con su reparación y adición de chapas de refuerzo. En la fase de proyecto estaba previsto el corte total de la línea sólo durante el mes de agosto de 2023, con disposición de autobuses de respaldo. Sin embargo, la reparación de los desprendimientos en el túnel cercano de Meagas obligaron al corte total de la línea durante varios meses, lo que fue aprovechado para realizar los refuerzos estructurales más comprometidos sin tráfico, en especial, los mamparos y cordones inferiores.

El refuerzo de los mamparos fue de gran complejidad técnica dado que fue necesario disponer forros metálicos y chapas adicionales de refuerzo sin sacar de su plano las diagonales y contradiagonales que se atornillaban a los mamparos. Así, fue necesario despiezar y cortar *in situ* todas las chapas en el taller metálico que la UTE constructora montó a pie de obra.

Dado el gran tamaño de algunas de las chapas y su elevado peso, fue necesario llevarlas al tajo en partes que posteriormente se atornillaban y soldaban *in situ*.

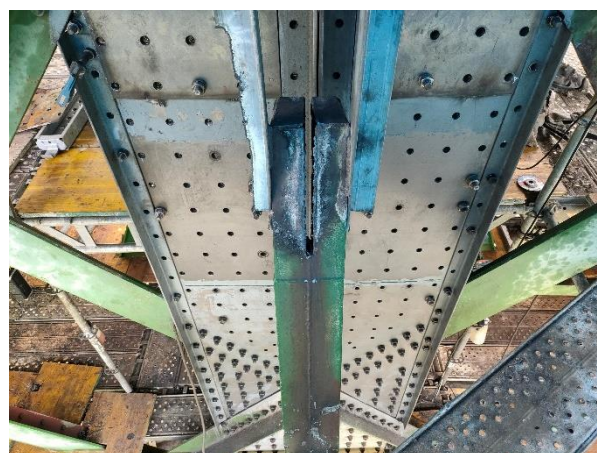


Figura 15. Proceso de refuerzo de mamparo de pila

5.4 Sustitución de cordones inferiores

Junto con las intervenciones en los mamparos de estribos y pila, la actuación estructuralmente más relevante fue la sustitución completa del ala inferior de los cordones inferiores de ambas celosías exteriores sin tráfico ferroviario, con graves pérdidas de sección de acero y falta de capacidad resistente.

Frente a actuaciones más habituales de parcheos localizados en zonas con pérdidas de sección, se decidió ya en fase de proyecto que la mejor opción desde un punto de vista estructural y de durabilidad futura era la retirada y sustitución por chapas del espesor necesario para dotar a las celosías exteriores de la capacidad resistente necesaria.

La intervención comenzó con la retirada de las antiguas chapas del ala inferior, retirando los roblones originales sin dañar los angulares de unión del ala inferior con el alma del cordón.

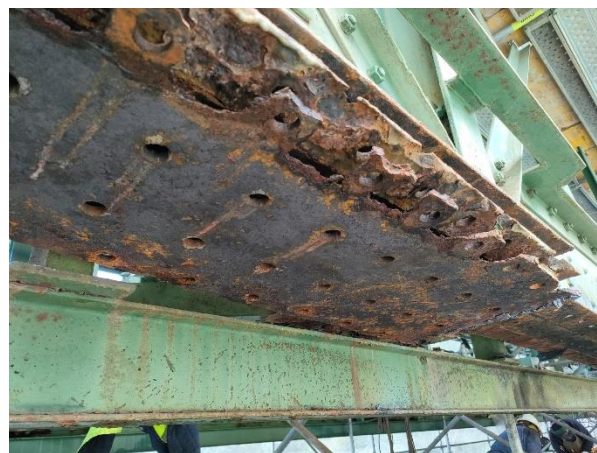


Figura 16. Retirada de ala inferior del cordón inferior

La ejecución se moduló en tramos de 5,10 m, coincidente con la separación entre montantes verticales, pero decalada ligeramente para evitar los nudos de unión montante-cordón. Así, las chapas nuevas de refuerzo fueron despiezadas con la geometría real medida en campo y teniendo en cuenta que las soldaduras de las nuevas chapas debían ser decaladas longitudinalmente.



Figura 17. Decalaje longitudinal de chapas de refuerzo

Las chapas del cordón inferior más próximas a los apoyos de pila se repararon exteriormente sin sustituirlas dada la enorme dificultad de acceso y que se encontraban en buen estado.



Figura 18. Paquete de chapas nuevas de refuerzo en ala inferior del cordón inferior

5.5 Gateo de tablero y cambio de apoyos

Se sustituyeron todos los antiguos apoyos de neopreno de los estribos (celosías exteriores e interiores) y pila (celosía central) con el izado del

tablero con gatos hidráulicos y con la disposición de chapas anti-reptado.



Figura 19. Nuevo apoyo de neopreno sobre pila en celosía central

5.6 Actuaciones en la plataforma

Durante el período de corte de tráfico se ejecutaron todas las actuaciones en la plataforma, comenzando por la retirada de todos los elementos de vía anteriores y el montaje de una estructura auxiliar encapsulada que permitió en chorreado, limpieza y repintado de toda la plataforma.



Figura 20. Plataforma ferroviaria desmontada

Posteriormente se procedió con la impermeabilización de los muretes de guarda y chapa de fondo, reposición del balasto, traviesas, carriles, encarriladoras en los accesos, euroloop, sistemas de señalización y seguridad, postes de catenaria y la propia catenaria.

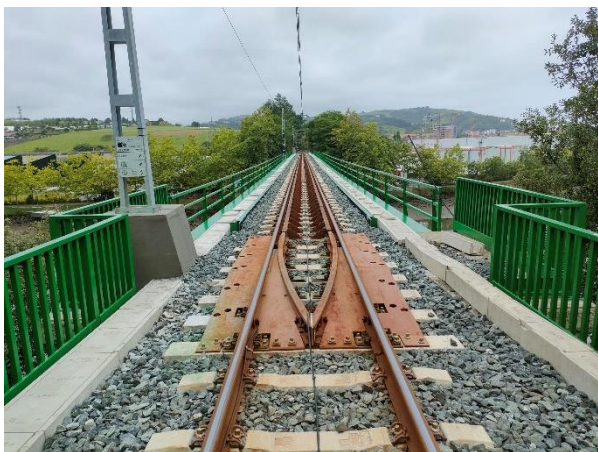


Figura 21. Estado final de la plataforma ferroviaria

5.7 Intervención en fábrica de estribos y pila

Se repararon todas las piezas de fábrica de estribos y pila afectadas por arenización, vesiculación y pérdida de masa, empleando mortero mixto de cal y cemento blanco, así como mallas y barras de fibra de vidrio donde los espesores de mortero superaban los 3 cm.



Figura 22. Barras de fibra de vidrio en fábrica



Figura 23. Pruebas de pigmentación en mortero

Para imitar lo mejor posible el color de la fábrica original se realizaron múltiples pruebas con pigmentos y machacando la propia piedra original, con resultados muy satisfactorios.

5.8 Chorreado y pintura de protección

Tras los refuerzos estructurales se procedió con el chorreado completo de toda la estructura metálica, el sellado de las juntas y huecos entre perfiles y la aplicación de la pintura de protección para un ambiente de alta agresividad. En este caso, se recurrió al empleo de una imprimación que permitía repintar con la capa de acabo sin respetar un tiempo máximo, lo que daba más versatilidad a los rendimientos en obra.



Figura 24. Comprobación del espesor de la capa de imprimación

Para estos trabajos resultó fundamental el empleo de un encapsulado de un vano completo (zona de trabajo) para evitar vertidos en la desembocadura del río Urola, que presenta una especial importancia medioambiental.



Figura 25. Encapsulado del andamio por vanos

5.9 Pasarela de mantenimiento

Para garantizar la adecuada ejecución de los trabajos de inspección y mantenimiento futuro se ejecutó una estructura metálica auxiliar soldada o atornillada a las celosías para soportar un trámex situado aproximadamente en la mitad del canto del tablero.

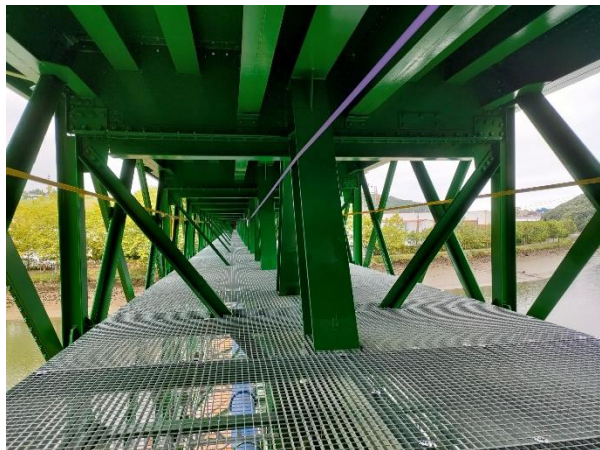


Figura 26. Plataforma de mantenimiento con trámex

Adicionalmente, las cestas manuales de mantenimiento que colgaban de los cordones inferiores de las celosías fueron sustituidas por nuevas cestas eléctricas dispuestas sobre en la misma ubicación, que permiten un recorrido de inspección completo por los cordones inferiores.

Agradecimientos

Agradecemos a ETS la confianza depositada, tanto en la etapa de redacción del proyecto, como durante la ejecución de los trabajos, así como a todos los involucrados en los trabajos (UTE IMESAPI – CYCASA - CAMPEZO, ULMA, Ayuntamiento de Zumaia).



Figura 27. Aspecto del puente de ETS sobre el río Urola en Zumaia con la reparación terminada

Referencias

- [1] R. Martínez Lasheras. *Proyecto de reparación. Puente metálico sobre río Urola P.K. 79/036 de la línea Bilbao-donostia*. Mayo de 1989
- [2] R. Martínez Lasheras. [3] *estudio del comportamiento resistente y de los refuerzos del puente metálico sobre el río urola. P.k. 79/036 de la línea bilbao-donostia*. Septiembre de 2003
- [3] Ministerio de Obras Públicas, Transportes y

Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Política Territorial y Obras Públicas. Propuesta de Recomendación para la Evaluación de Puentes Metálicos antiguos de carretera.