

Rehabilitación del Puente de Mendaro.

Rehabilitation of the Mendaro Bridge.

Mario Guisasola Ron

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ANTA IC. Director. mgr@anta-ic.com

RESUMEN

La rehabilitación integral del puente de Mendaro resuelve sus carencias funcionales mediante la adición de sendas vigas metálicas independientes que soportan nuevas aceras más amplias y lo dotan de adecuados sistemas de contención frente a impactos. La ampliación metálica no presenta conexión alguna con la estructura original. Se emplea una viga curva de canto variable y elevada rigidez torsional, apoyada únicamente en su directriz con un tablero en voladizo. La obra mantuvo el tráfico y las redes de servicio durante su ejecución y destaca por un cuidado diseño que se aprecia en su silueta basada en la ley de momentos y sus detalles concisos.

ABSTRACT

The rehabilitation of the Mendaro bridge addresses its functional shortcomings by adding independent steel beams that support wider sidewalks and provide adequate impact containment systems. The steel extension is entirely disconnected from the original structure. A curved variable-depth beam with high torsional rigidity was employed, supported solely along its alignment with a cantilevered deck. The project maintained traffic flow and service networks during construction and is notable for its meticulous design, reflected in its silhouette inspired by the bending moment diagram and its precise detailing.

PALABRAS CLAVE: ampliación peatonal, acero corten, empotramiento, canto variable, viga curva.

KEYWORDS: pedestrian expansion, weathering steel, fixed supports, variable depth, curved girder.

1. Introducción.

El único puente de acceso rodado a la localidad guipuzcoana de Mendaro cruza el río Deba y la línea de ferrocarril de vía estrecha que une San Sebastián y Bilbao. La estructura fue construida hace aproximadamente 50 años y presenta algunas carencias funcionales como son la anchura reducida de sus aceras y calzada, así como la ausencia de un adecuado sistema de contención frente a posibles impactos.

La obra ejecutada resuelve las carencias funcionales del puente adosando sendas vigas metálicas en cada borde que permitan disponer aceras de dos metros de anchura y un sistema de contención acorde a los estándares actuales.

La ampliación metálica de cada borde se encuentra aislada y es totalmente independiente del tablero preexistente. Se trata de una única viga cajón curva de canto variable apoyada en

cinco puntos de su eje longitudinal: dos en cada estribo y un quinto punto intermedio. El tablero que soporta la acera se dispone en vuelo desde la viga metálica hacia el antiguo puente de hormigón sin apoyarse en este. La estabilidad de la nueva estructura se logra gracias al trazado curvo de la viga. Esta presenta una sección resistente romboidal que la dota de una inercia considerable frente a giros procedentes de la torsión inherentes al trazado curvo de la estructura y a la disposición en vuelo del tablero.

El alzado de la viga metálica copia la forma del diagrama de momentos flectores. Resulta así una forma curva en planta de canto variable con un aspecto muy dinámico en cada borde del puente y este presenta un aspecto totalmente renovado.



Figura 1. Viga aguas abajo



Figura 3. Vista aérea posterior a la rehabilitación.

2. Puente existente.

El puente presenta una geometría irregular y consta de cinco vanos. Cuatro de ellos son marcos, mientras que el vano que cruza el río es un tablero de vigas de hormigón pretensado apoyado en sendas ménsulas cortas, creadas a partir de los hastiales de los marcos adyacentes. El vano isostático presenta una luz de 24,5 metros de luz y los marcos presentan luces comprendidas entre 6,6 y 9,4 metros. El tablero se encuentra abocinado en ambos estribos.

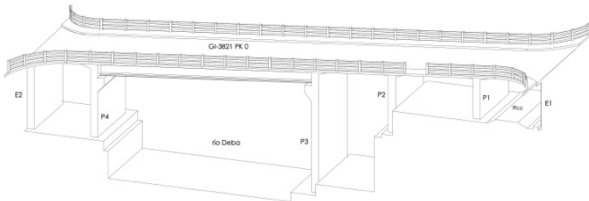


Figura 2. Axonometría previa a la rehabilitación

El puente presentaba pequeñas patologías (armaduras vistas, humedades activas, fisuración, ...). Además, su irregular geometría y un detalle mejorable de conexión del vuelo de la acera con el tablero desaconsejaban una ampliación en voladizo desde el tablero. El vuelo transversal que soportaba la acera no contribuía al trabajo resistente longitudinal del puente. La actuación realizada suprime el vuelo de la acera, elimina el foco que origina las patologías y repara sus consecuencias.

Al suprimir el vuelo de hormigón del tablero y no conectar la estructura de ampliación a este se reducen tanto las solicitaciones cargas permanentes como de sobrecargas mejorando ligeramente su seguridad estructural. En el nuevo borde se dispone un goterón continuo de acero galvanizado sellado con una banda de neopreno para evitar que las humedades discurran por la cara inferior del tablero.

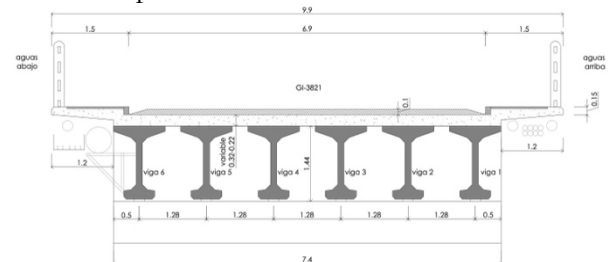


Figura 4. Sección transversal del tramo sobre el río Deba previa a la rehabilitación.

Las reparaciones realizadas son las que se indican a continuación:

- Eliminación de vegetación en paramentos.
- Limpieza energética de la superficie de estribos y tablero con agua a presión.
- Saneamiento de paramentos de hormigón deteriorados.
- Cepillado y pasivado de armaduras expuestas.
- Reconstitución de las superficies de hormigón.
- Inyección de fisuras existentes.

3. Ampliación metálica.

La solución adoptada trata de resolver las carencias funcionales del puente existente adosando sendas vigas metálicas en cada borde que permitan disponer aceras de dos metros de anchura y un sistema de contención adecuado.

La nueva estructura metálica no se conecta con el dintel existente. Además, los dos vuelos del puente actual se eliminan, reduciendo la carga muerta del núcleo central resistente. El peso de las nuevas aceras descansa sobre la nueva estructura y esta, además, soporta el posible impacto sobre el pretil metálico de contención. De este modo la estructura existente ve reducido su trabajo resistente.

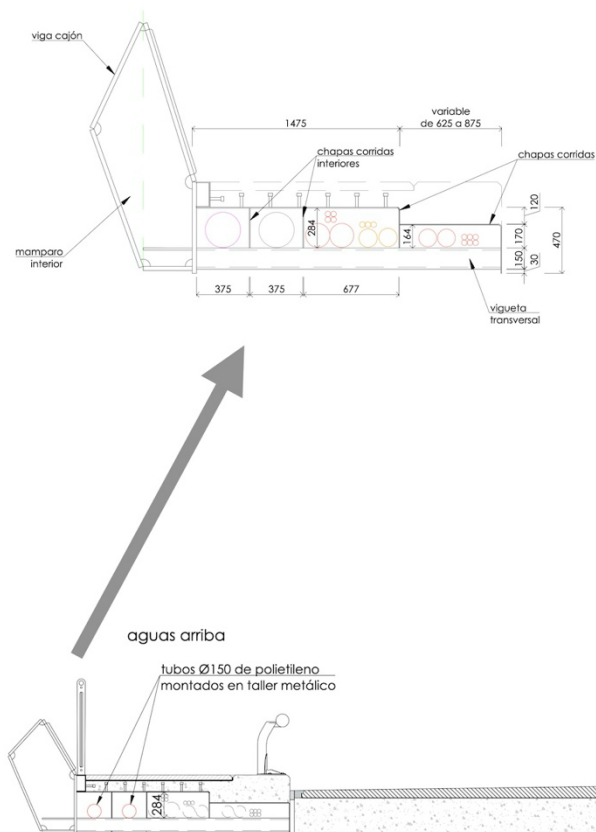


Figura 5. Sección transversal rehabilitada.

La ampliación metálica de cada borde consta de una única viga cajón con una serie de costillas en vuelo dispuestas bajo la nueva acera. La estructura se apoya en cinco ejes de apoyo: dos en cada estribo y uno en eje de pila 2. De esta manera se genera una viga continua de 81 metros de longitud y cuatro vanos de 3,24, 45,36,

25,92 y 3,24 metros. La viga es recta en su tramo central y se curva en sus extremos para adecuar su trazado a la geometría abocinada del puente actual.

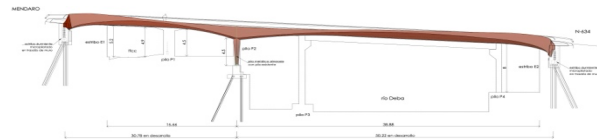


Figura 6. Alzado de la viga metálica aguas abajo.

La estructura se encuentra empotrada en estribos. El empotramiento se establece disponiendo dos ejes de apoyo en cada estribo: uno en compresión y otro en tracción. El apoyo en tracción corresponde a una articulación de doble bulón, que impide los movimientos verticales, y permite los horizontales.



Dado que la estructura presenta una única viga curva, la misma ha debido ser dotada de una importante rigidez torsional. A tal fin, presenta una sección resistente romboidal de 0,7 metros de anchura. El canto de la viga metálica es variable y se adapta a los esfuerzos de flexión

4. Cálculo

El modelo de cálculo se realiza con Sofistik y consiste en un modelo híbrido de emparrillado espacial y elementos finitos. Está formado por elementos barras, o BEAM según la terminología Sofistik, (las dos vigas principales longitudinales y las viguetas transversales) y elementos finitos tipo lámina, o QUAD utilizando la denominación Sofistik (losa de 12 centímetros de espesor).

La sección de las vigas principales es un polígono romboidal de cuatro lados de dimensiones variables. La distancia horizontal entre los distintos vértices no varía, pero sí la distancia vertical, generando una variación de canto muy elevada.

En su mayor parte las secciones de las vigas principales son de clase 3. La tasa de utilización máxima obtenida para momentos negativos asciende a 0,8 y a 0,9 para momentos positivos. Dado que las vigas se acompañan con la ley de flectores, la tasa de utilización presenta valores constantes en amplias zonas.

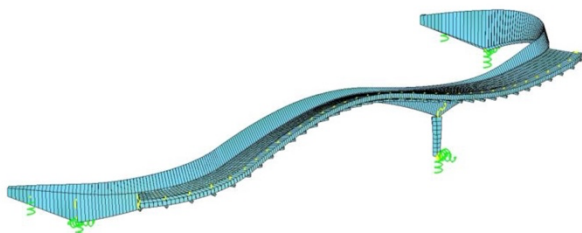


Figura 11. Primer modo de vibración vertical: 1,8 Hz.

La prueba de carga estática realizada en cada borde de ampliación permitió verificar que las deformaciones calculadas en fase de proyecto se ajustaban de la realidad de la obra construida.

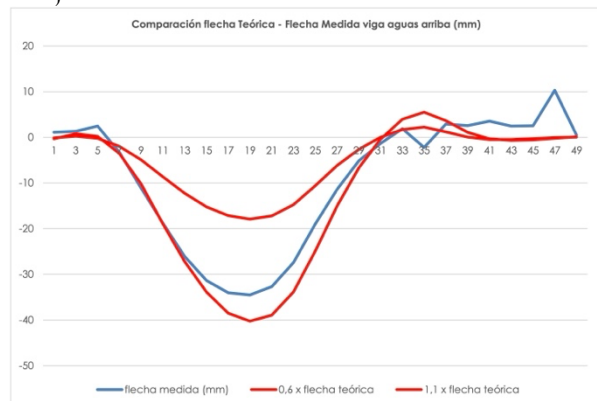


Figura 12. Resultados de la prueba de carga estática.

Se realizaron igualmente sendas pruebas de carga dinámicas que corroboraron el valor de las frecuencias naturales (1,8 Hz) y testificaron un grado de confort máximo pues las aceleraciones verticales medidas resultaron ser inferiores a $0,5 \text{ m/s}^2$.



Figura 13. Prueba de carga dinámica.

5. Construcción

El puente es el único acceso rodado al casco urbano de Mendaro, donde además se ubica un hospital comarcal. Por tanto, durante las obras fue necesario mantener en todo momento el tráfico con circulación alterna semaforizada. Además, los trabajos sobre el ferrocarril debieron ser realizados en horario nocturno aprovechando una franja limitada de tiempo en la que no había circulación y era posible cortar la corriente de la catenaria.

Por otra parte, debe mencionarse que por el puente circulaba un importante número de servicios que debieron ser desviados provisionalmente y posteriormente ser reubicados en la estructura de ampliación.

Los trabajos se realizaron según la siguiente secuencia:

- Corte semaforizado del carril aguas arriba.
- Desvío provisional de las redes de servicio existentes: ejecución de las redes existentes aguas arriba sobre la calzada.
- Retirada de las superestructuras aguas arriba.



Figura 14. Vuelo aguas arriba cortado.

- Corte del borde del tablero aguas arriba:
 - Cortes transversales cada aproximadamente dos metros con hilo de diamante.
 - Corte longitudinal del borde del tablero con hilo de diamante.
 - Retirada del vuelo cortado aguas arriba.
- Ejecución de estribos, pilas y muros aguas arriba
- Construcción de la estructura metálica en taller.
- Reparación de la parte central del tablero, pilas y estribos.
- Montaje de la viga metálica de ampliación aguas arriba en 4 tramos.
- Disposición de las redes de servicio en su posición definitiva aguas arriba.
- Ejecución de la nueva losa de hormigón aguas arriba.
- Ejecución de las nuevas superestructuras aguas arriba.
- Apertura del carril aguas arriba y corte semaforizado del carril aguas abajo.
- Repetición de las operaciones realizadas aguas arriba para el borde aguas abajo.
- Prueba de carga y apertura al tráfico peatonal.

La construcción de la estructura de acero en taller comenzó con la disposición de unas cunas de armado tridimensionales sobre la que primeramente se dispuso el ala inferior de las vigas y los mamparos transversales.



Figura 15. Secuencia de montaje en taller.

Los mamparos interiores fueron forrándose con el resto de las chapas que constituyen la sección resistente romboidal. Las superficies de chapa son regladas y los mamparos transversales son el patrón que origina la forma final de las vigas. Las chapas de espesor superior a 12 mm debieron ser curvadas antes de su ubicación definitiva. Las chapas de espesor inferior pudieron ser armadas sin pliegues previos.

El montaje en obra de cada viga se llevó a cabo en 5 tramos transportables por carretera:

- Tramo 1: apoyado en los ejes de apoyo del estribo margen derecha y en un apoyo vertical provisional.
- Tramo 2: apoyado en el tramo 1 y en un apoyo vertical provisional.
- Tramo 3: apoyado en la pila y el apeo provisional.
- Tramo 5: apoyado en los ejes de apoyo del estribo margen izquierda y en un apoyo horizontal que impedía su vuelco.
- Tramo 4: apoyado en los tramos 3 y 5.

Antes de proceder al montaje de cada tramo, las uniones de los tramos precedentes fueron completadas.

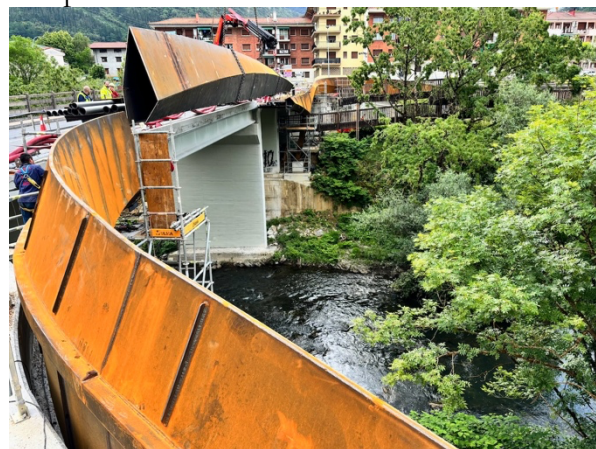




Figura 17. Puente de Mendaro rehabilitado.

6. Conclusiones

La ampliación metálica dota al puente de nuevas y amplias aceras, así como de un sistema de contención adecuado sin comprometer su seguridad estructural al independizarse de la estructura preexistente.

La solución técnica, basada en una viga curva aislada de canto variable empotrada en estribos, presenta una estética atractiva y dota al puente de una nueva vida en la que el uso peatonal se intensifica.

El peso de cada viga de acero corten de 81 metros de longitud asciende a 65 toneladas.

Agradecimientos

El promotor de la obra es el Departamento de Infraestructuras Viarias de la Diputación Foral de Gipuzkoa. Las directoras de Proyecto fueron Cecilia Barranco y Maider Apaolaza, ocupándose asimismo de la Dirección de las Obras.

La ejecución de las obras se realiza a lo largo del año 2024 por la empresa Construcciones Mariezcurrena. El taller encargado de la construcción metálica es Estrumar.

El proyecto fue redactado por la UTE ANTA-INTEMAC y la asistencia técnica a la dirección de obra fue confiada ANTA con un equipo dirigido por Mario Guisasola en el que destacan Lore Mutiloa y Esther Azcona.

Referencias

- [1] Guisasola Ron, Mario (2021) *Design Philosophy Based on the Span's Internal Forces*. Suiza, Structural Engineering International.
- [2] Guisasola Ron, Mario (2021) *Legarreta Bridge Pedestrian Enlargement in Villabona, Spain*. Suiza, Structural Engineering International.
- [3] Sétra (2006) *Footbridges. Assessment of vibrational behaviour of footbridges under pedestrian loading*. Francia, Sétra / AFGC.