

Actuaciones de rehabilitación en el Puente de Deusto en Bilbao

Renovation works of Deusto Bridge in Bilbao

Gonzalo Zarrabeitia Ullibarri ^a, María del Mar Mayo Martínez ^b

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. IDOM. gonzalo.zarrabeitia@idom.com

^b Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. IDOM. mmayomar@idom.com

RESUMEN

El Puente de Deusto, símbolo del patrimonio industrial de la ciudad y elemento fundamental del atractivo de la ría de Bilbao, ha sufrido durante las últimas décadas varias actuaciones de rehabilitación. En el presente artículo se describen los últimos trabajos realizados, consecuencia de la existencia de vibraciones excesivas en la junta central del vano móvil. Adicionalmente, se han realizado varios ensayos dinámicos para conocer y registrar el comportamiento de la estructura, lo que permite adoptar un mantenimiento predictivo de la misma.

ABSTRACT

The Deusto Bridge, an industrial heritage of the city and a fundamental element of the Bilbao River attractiveness, has undergone several renovation works during the last decades. This article describes the latest works carried out consequence of excessive vibrations in the central joint of the movable span. In addition, several dynamic tests have been carried out to find out and register the behaviour of the structure, which will allow the adoption of predictive maintenance.

PALABRAS CLAVE: Patrimonio, estructura metálica, inspección, rehabilitación, instrumentación

KEYWORDS: Industrial heritage, steel structure, inspection, renovation, instrumentation

1. Introducción

El puente de Deusto une la plaza de San Pío X, en Deusto, con la plaza de Euskadi, en los límites del Ensanche bilbaíno. Está formado por veintisiete vanos con una longitud total de 522 m. El trazado es sensiblemente rectilíneo, salvo en los últimos vanos en la zona del Ensanche donde la planta traza una ligera curva.

El vano principal que cruza sobre la ría es el vano móvil (Figura 1). Consiste en un puente levadizo basculante-rodante tipo Scherzer, con contrapeso inferior. Las dos hojas del puente basculan hasta alcanzar un ángulo de 70° sobre la horizontal (figura 2). Las vigas principales de

cada hoja son vigas en celosía, de canto variable, construidas mediante perfiles metálicos roblonados.



Figura 1. Vista general del tramo móvil del puente de Deusto

El vano móvil estrecha el cauce de la ría, que en ese punto es de 71 m, con sendos edificios de hormigón a cada lado, en los que está ubicada la maquinaria de elevación y los apoyos de las vigas principales. El vano móvil tiene una luz de 48 m entre paramentos de pilas y de 50 m entre puntos de apoyo cuando el puente está cerrado. La anchura del vano móvil es de 20 metros (12 m de calzada + dos aceras de 4 m).



Figura 2. Vista del tramo móvil del puente de Deusto durante su apertura (marzo 2008)

La unión entre las dos hojas se materializa mediante sendos bulones de bronce ubicados en las vigas longitudinales del puente (bulones de cerrojo). Dichos bulones actúan a modo de pasadores, cosiendo ambos voladizos y solidarizando el comportamiento del tablero.

2. Historia del Puente

La gestación del proyecto del puente de Deusto se inicia a mediados de la década de los años 20 del siglo XX [1]. El 26 de marzo de 1924 la Comisión General de Accesos de la Diputación y la Comisión de Puentes, ratificó la opinión del arquitecto municipal de Bilbao, Ricardo Bastida,

sobre la prioridad de un puente que uniera Deusto (anteparroquia anexionada por el municipio de Bilbao en 1924) con el Ensanche bilbaíno.

Unos años después, en junio de 1928, el ingeniero industrial José Ortiz de Artiñano y el ingeniero de caminos Ignacio de Rotaeché recibieron el encargo de proyectar un puente para Deusto en colaboración con Ricardo Bastida.

La idea de un vano móvil sobre la ría maduró en un viaje previo de Bastida a Estados Unidos, en donde visitó la ciudad de Chicago y sus puentes móviles. Uno de los puentes que presumiblemente vio Bastida en su viaje fue el puente levadizo del bulevar Jackson, inaugurado en 1915 y con una tipología y configuración similares a las del puente de Deusto (figura 3) [2].



Figura 3. Puente móvil del bulevar Jackson, Chicago

El proyecto inicial del puente, firmado por Rotaeché, Ortiz de Artiñano y Bastida, data de enero de 1930. Las obras comenzaron en julio de 1932 (figura 4) y, tras dos proyectos reformados, finalizaron en diciembre de 1936, iniciada ya la Guerra Civil (española).



Figura 4. Hoja lado Bilbao durante su construcción

Apenas seis meses después, la hoja lado Bilbao fue destruida para cubrir la retirada de las tropas del bando republicano (figura 5).



Figura 5. Fotografía del tramo móvil tras la voladura de la hoja del lado Bilbao

Tras la entrada en Bilbao de las tropas del bando nacional, se llevaron a cabo las obras de reconstrucción del puente, que permitieron abrirlo al tráfico ya de forma definitiva en octubre de 1939. Desde esa fecha, el puente ha prestado servicio de forma permanente.

La reconversión industrial de los años 80 inició también la transformación del entorno del puente, que fue perdiendo progresivamente su carácter portuario. La reconversión fue el origen de una reformulación urbana de la ciudad de Bilbao, que todavía hoy en día sigue en marcha. Los astilleros de Euskalduna y los muelles de contenedores de Abandoibarra desaparecieron definitivamente, recuperándose para otros usos la superficie que ocupaban. La construcción del puente de Euskalduna en la segunda mitad de los años 90 hizo que el vano móvil perdiera su función de permitir el tráfico marítimo hacia aguas arriba de la ría. De este modo, en junio de 1995 se interrumpió definitivamente el tráfico de

buques bajo el puente de Deusto. En aquel momento, el vano móvil pasó de abrirse hasta doce veces al día a abrirse únicamente unas pocas veces al año, en actos festivos o conmemorativos.

En la actualidad, el desarrollo urbanístico de la zona alrededor del puente lo ha rodeado de construcciones tan emblemáticas para la ciudad de Bilbao como el museo Guggenheim, la Universidad de Deusto, la biblioteca y pasarela del Padre Arrupe, la Torre Iberdrola, Zubiarte, el Palacio de Euskalduna y el propio puente de Euskalduna.

El entorno industrial y portuario original se ha convertido en un entorno cultural, de ocio y esparcimiento. El puente de Deusto, símbolo del patrimonio industrial de la ciudad, es una parte fundamental del atractivo de esa parte urbana de la ría.

3. Antecedentes.

Durante los meses de abril y mayo de 2008 el Ayuntamiento de Bilbao realizó una inspección del Puente de Deusto, identificándose los aspectos sobre los que era preciso actuar para preservar la seguridad y la funcionalidad del puente. Las actuaciones identificadas como urgentes se ejecutaron en el año 2009 dentro del “Proyecto de reparaciones del Puente de Deusto Fase I y Actuaciones de Emergencia” y consistieron principalmente en:

- Limpieza y reparación de tacones y retenidas de las vigas principales del vano móvil, junto con los travesaños en cabeza de bielas.
- Reposición de casquillos de alojamiento de bulones de cerrojo en el vano móvil.
- Verificación del sistema de bielas del mecanismo de basculación, con limpieza, saneado y ajuste de los cojinetes de cabeza de biela.
- Reparación de las juntas de culata de las hojas del vano móvil.

- Reconstrucción del mecanismo de cerrojo.

En abril de 2010, se redacta el Proyecto de Reparación del Vano Móvil del Puente de Deusto, Fase II, cuyas obras se acometieron en 2011. En esta fase se realizaron los trabajos que inicialmente en Fase I no fueron calificados como urgentes, como la reparación de la junta central o el pintado de la estructura metálica del vano móvil.

Posteriormente, entre mayo y junio de 2012, se redactó el Proyecto Constructivo Fase III de reparación del Puente de Deusto. Entre otras actuaciones, los trabajos consistían en el acondicionamiento y mejora de los mecanismos de giro del vano móvil, la mejora de la instalación de control de la maniobra de apertura o de los estribos. Dichas obras no han sido ejecutadas hasta la fecha.

En Julio de 2022, 10 años después de los últimos trabajos realizados en el Puente, se empezaron a registrar vibraciones excesivas en la junta central del vano móvil. Debido a ello, el Ayuntamiento de Bilbao adjudicó a IDOM el contrato de Inspección visual del vano móvil del Puente de Deusto.

3. Inspección inicial del vano móvil del Puente de Deusto.

Durante los meses de septiembre a octubre de 2022, IDOM realizó los trabajos de Inspección de la estructura. Además de los elementos del puente cuyo deterioro pudiera estar directamente relacionado con las vibraciones del tablero, como pueden ser los cerrojos, las cremalleras o el sistema de retenida, se inspeccionaron otras partes de la estructura que podían presentar problemas de durabilidad o conservación a medio-largo plazo.

Durante la inspección, se detectó que el bulón de cerrojo ubicado aguas abajo había

reptado, quedando ubicado unos 12 cms dentro del casquillo de alojamiento (figura 6).



Figura 6. Cerrojo de aguas abajo

Es decir, se había retranqueado alrededor de 20 cms y sólo se embebía unos pocos centímetros en la hoja del lado Abando (figura 7).

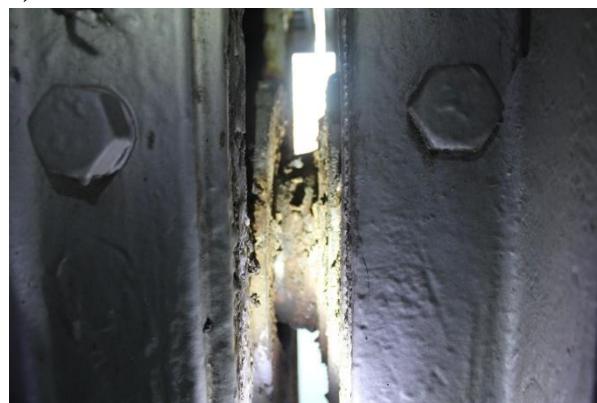


Figura 7. Cerrojo de aguas abajo. Junta central.

Por el contrario, en el lado aguas arriba no se detectó ninguna anomalía. El bulón se encontraba en su posición teórica, sobresaliendo unos 12 cms desde el paramento exterior del casquillo delantero (figura 8).



Figura 8. Cerrojo de aguas arriba.

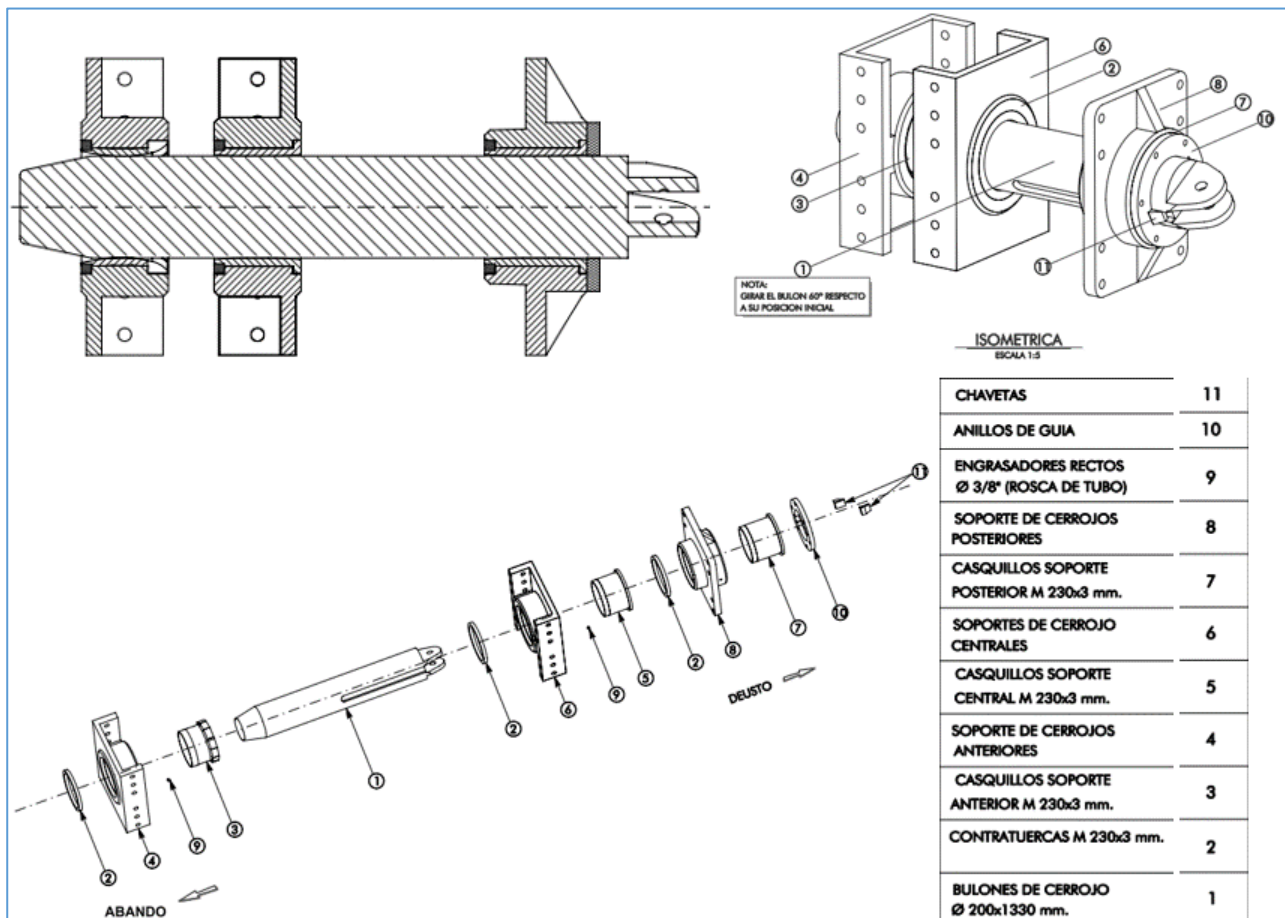


Figura 9. Despiece del conjunto cerrojo

En la figura 9 se incluye un despiece del conjunto cerrojo que ayuda a comprender el funcionamiento del sistema

Adicionalmente, durante los trabajos de inspección, se realizó un ensayo dinámico del puente al paso del tráfico habitual de vehículos y peatones. El objetivo era cuantificar el valor de las deformaciones y aceleraciones existentes en la estructura. De esta forma, se podría obtener información adicional sobre el origen de las patologías y tener una referencia con la que comparar una vez se ejecutaran los trabajos de rehabilitación y reparación de los cerrojos

La descripción de los ensayos realizados y el análisis de los resultados obtenidos se incluye en los siguientes apartados.

Como resultado de la inspección realizada y de los resultados de la instrumentación, se concluyó que la causa más probable de las aceleraciones y desplazamientos de la junta

central era la reptación del bulón ubicado aguas abajo, lo que provocaba un desajuste entre el casquillo y el propio bulón induciendo vibraciones en el bulón de aguas arriba.

Esta actuación se categorizó como imprescindible y urgente, tanto para solucionar los problemas de vibración de la estructura como para evitar patologías más graves que puedan poner en riesgo la funcionalidad de la estructura.

Por otro lado, dentro de las labores de mantenimiento de la estructura se preveía la inspección y en su caso la sustitución de los casquillos de alojamiento cada 5 años. Sin embargo, desde la fecha de instalación en 2009 no se había realizado ninguna actuación. Por este motivo, y aprovechando la necesidad de recolocar y ajustar la posición de los bulones de los cerrojos, se concluyó que también era necesario realizar una sustitución de todos los casquillos de los bulones de la junta central.

Además, se debía inspeccionar el sistema de accionamiento de los cerrojos ya que no había funcionado como tope evitando la reptación del bulón.

4. Trabajos de Rehabilitación de los cerrojos

Los trabajos consistieron en dos actuaciones diferenciadas:

- Recolocación de los bulones y fijación provisional para evitar su reptación.
- Inspección del sistema de accionamiento de los cerrojos.

La recolocación de los casquillos no pudo acometerse en esta fase debido al poco espacio existente y a la geometría y disposición de los casquillos delanteros, que sólo permitían su sustitución desde el lado Deusto, lo que obligaba a accionar el mecanismo de apertura del puente.

Para proceder a la sustitución de todos los casquillos sin que fuese necesario abrir el puente, se optó por aplazar la sustitución y mecanizar dos nuevos casquillos especiales, modificando su diseño original de tal manera que permitan su colocación sin que sea necesaria la apertura de las hojas del vano móvil. Para ello se invirtieron las posiciones de tuerca y pestañas de los casquillos originales. En la imagen inferior, extraída de los planos del conjunto cerrojo, se indica la problemática existente (figura 10).

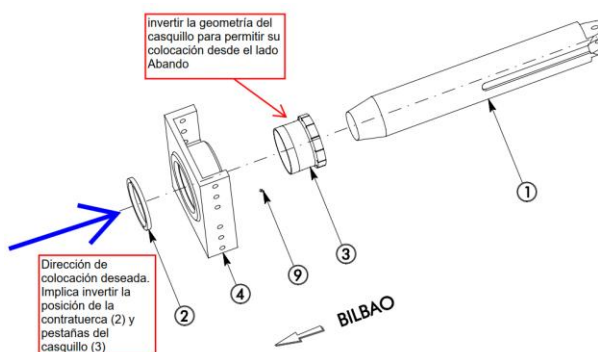


Figura 10. Modificaciones a realizar en los casquillos lado Abando.

4.1 Recolocación de bulones y fijación provisional

Los trabajos de recolocación de los bulones se realizaron en horario nocturno para minimizar la afección al tráfico y evitar vibraciones y movimientos durante las operaciones de colocación de los bulones. De esta forma, se incrementaba la seguridad y se mejoraban las condiciones de trabajo debajo de la estructura.

En primer lugar, se recolocó en posición el anillo de guía del bulón aguas abajo (marca 10 de la figura 9) limpiando roscas y colocando tornillos nuevos (figura 11).



Figura 11. Anillo de guía antes y después de su reposición.

Una vez hecho esto, se retiró el pasador que fijaba husillo y bulón para poder recolocarlo en su posición. Posteriormente, con el bulón ya correctamente situado, se coloca de nuevo el pasador que une husillo y bulón y se suelda una chapa a la viga del puente a modo de tope que impide la reptación del bulón (figuras 12 y 13).

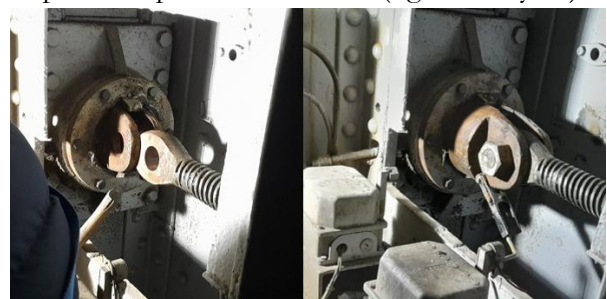


Figura 12. Reposicionamiento del bulón y fijación de husillo y bulón.



Figura 13. Posición del bulón aguas abajo antes y después de la actuación.

Finalizados los trabajos, se realizó un ensayo dinámico para evaluar las aceleraciones y desplazamientos verticales de la junta central. Posteriormente, los resultados obtenidos se compararon con la situación inicial. Dichos análisis, así como la descripción de los propios ensayos se describen en los siguientes capítulos.

4.2 Inspección del sistema de accionamiento de los cerrojos

Tras la inspección se determinó que la avería estaba localizada en la parte interior del sistema de traslación (figura 14).

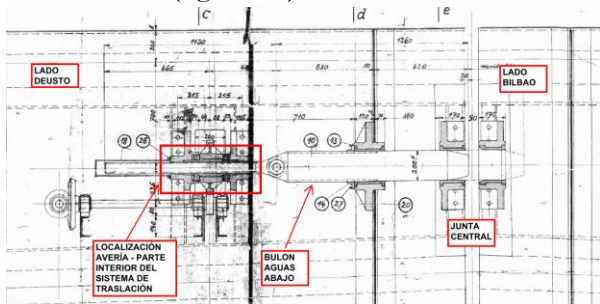


Figura 14. Bulón aguas abajo. Localización de la avería del sistema de accionamiento (vista en planta)

Según los planos originales de la estructura, la pieza averiada es de bronce fosforado, material más frágil que el acero del husillo, lo que hace que sea la parte más deteriorada. En concreto, se preveía que fueran los filetes de esta pieza los que se hayan desgastado, dejando de funcionar como tope y permitiendo el retroceso del bulón. El procedimiento de reparación de dicho

mecanismo se realizó en actuaciones posteriores y no es objeto del presente artículo.

5. Sustitución de los casquillos

Durante los trabajos de rehabilitación de Fase I en 2008 se sustituyeron los casquillos de los cerrojos. Para ello, se fabricaron en Acetal homopolímero (POM-H) (figura 15), un termoplástico fácilmente mecanizable, con bajo coeficiente de fricción y con una resistencia similar a la del bronce rojo (material original) (figura 16).



Figura 15. Casquillos fabricados en 2008 (POM-H)



Figura 16. Casquillos originales del puente (bronce)

En esta nueva actuación, se volvieron a sustituir los casquillos central y posterior de ambos márgenes, utilizando los nuevos casquillos fabricados en la anterior fase.

Sin embargo, como se ha indicado en el apartado anterior, para poder sustituir los

casquillos delanteros fue necesario mecanizar nuevas piezas. Debido a la falta de disponibilidad de POM-H en los diámetros necesarios, se decidió usar la poliamida PA6G+MOS2 (figura 17), un material deslizante con una dureza similar al POM-H.



Figura 17. Nuevos casquillos delanteros

Durante la sustitución de los casquillos delanteros se observó que el casquillo sustituido del lado de aguas arriba (lado en el cual el bulón se encontraba en buena posición) presentaba una importante pérdida de sección en algunas zonas. En la figura 18 se observa la heterogeneidad de espesores. El hecho de haber estado sometido a impactos importantes durante el periodo en el que bulón aguas abajo se encontraba retranqueado puede haber generado dicha pérdida de sección.

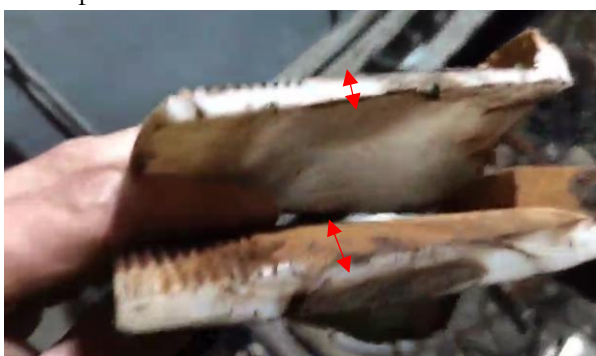


Figura 18. Espesores diferentes en los trozos del casquillo delantero casquillos delanteros

6. Ensayos dinámicos

Se realizaron un total de 4 ensayos dinámicos en el puente:

- Ensayo 1. Octubre de 2022, dentro de los trabajos de inspección inicial del puente y con anterioridad a la realización de ninguna actuación de reparación
- Ensayo 2. Marzo de 2023, una vez reposicionado el bulón de aguas abajo y fijado provisionalmente a la estructura del puente mediante un tope soldado.
- Ensayo 3. Junio de 2024, antes de realizar los trabajos de sustitución de casquillos.
- Ensayo 4. Agosto de 2024, una vez finalizados todos los trabajos.

En todos los ensayos se ha seguido el mismo procedimiento. Se instalaron sensores en el puente y se estuvieron registrando datos en continuo durante un periodo aproximado de una hora al paso del tráfico habitual de vehículos y peatones. La instrumentación consistió en (figura 19):

- Dos extensómetros en la junta central para medir desplazamientos verticales relativos entre las dos hojas de vano móvil (marcados con rectángulos 1 y 2 en el esquema inferior).
- Ocho acelerómetros para medir aceleraciones, tanto en estribos como en la junta central (marcados con círculos 1 a 8 en el esquema inferior).

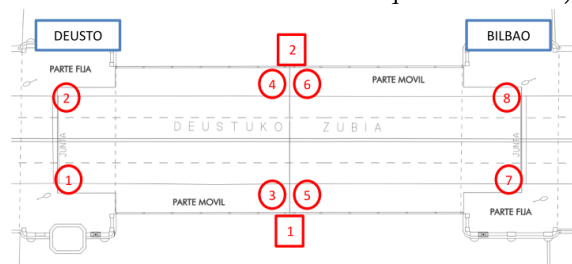


Figura 19. Esquema de instrumentación instalada (vista en planta).

6.1 Desplazamientos

En el primer ensayo realizado durante los trabajos de inspección (octubre 2022) se registraron valores máximos de 30 mm en el lado

aguas abajo y 10 mm aguas arriba. Además, los desplazamientos inducidos máximos (debidos a desplazamientos máximos en el lado contrario) en el lado aguas abajo eran de 10 mm en el lado aguas abajo y 7 mm en el lado aguas arriba.

Durante los sucesivos ensayos realizados tras las distintas actuaciones los valores de deformación máxima han disminuido hasta los 4 mm y las deformaciones inducidas máximas son del orden de 2 mm (figura 20).

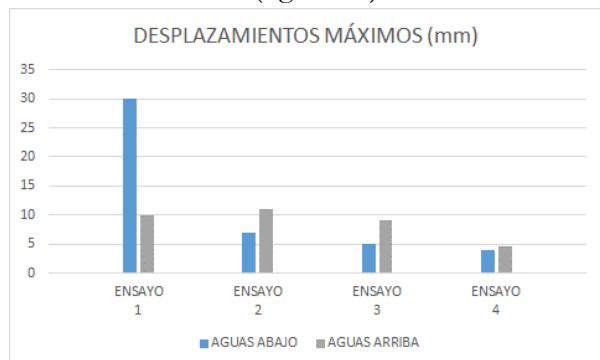


Figura 20. Gráfico resumen de desplazamientos máximos (mm)

De la misma forma que la recolocación del bulón (ensayo 2) supuso una disminución importante en los desplazamientos máximos del lado aguas abajo, la sustitución de los casquillos delanteros (situados en el lado Abando) también ha supuesto una mejora notable en el comportamiento global. Estos casquillos situados más cerca de la junta central soportan esfuerzos mayores que los traseros y su nivel de deterioro y pérdida de sección era mayor, lo que implicaba una mayor holgura y desplazamiento vertical al paso de los vehículos.

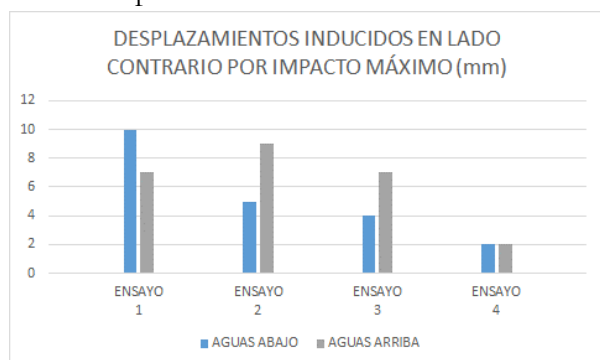


Figura 21. Gráfico resumen de desplazamientos inducidos en lado contrario

En la figura 21 se aprecia el descenso de los desplazamientos inducidos por impactos máximos en el lado contrario del tablero (desplazamientos en el bulón de aguas abajo para impactos máximos en aguas arriba y viceversa).

6.2 Aceleraciones

La recolocación de los bulones redujo la magnitud de las aceleraciones verticales en la estructura, lo que se traduce en una mejora en la funcionalidad y el confort. En la figura 22 se muestra para el acelerómetro 5 (junta central) el histograma de aceleraciones superiores a 0.01g en ambos ensayos (H1 ensayo inicial, H2 segundo ensayo), donde se aprecia lo expuesto anteriormente.

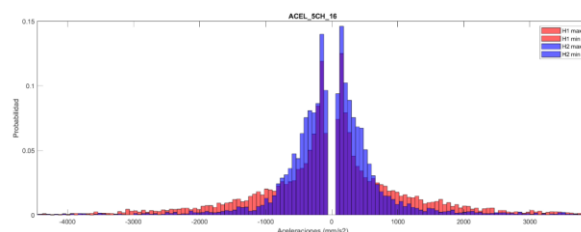


Figura 22. Histograma de aceleraciones (mm/s²) en el acelerómetro central. Ensayos 1 y 2.

En el ensayo 3, realizado antes de la sustitución de los casquillos y de la reparación del sistema de accionamiento, se observa una disminución significativa de los picos máximos de aceleración. Las aceleraciones más bajas se dan en este último ensayo (percentiles centrales de la muestra) (figura 23).

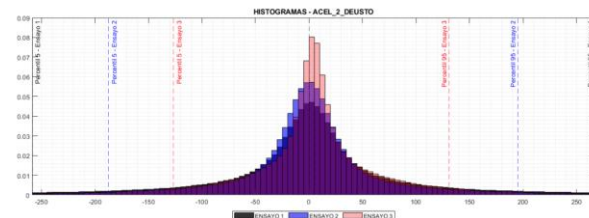


Figura 23. Histograma de aceleraciones (mm/s²) para el acelerómetro central. Ensayos 1, 2 y 3.

Por último, en el último ensayo realizado se aprecian algunas variaciones en las aceleraciones obtenidas, tanto en centro luz como en estribos. En centro luz los valores registrados son similares en los acelerómetros

situados aguas arriba. Sin embargo, en los ubicados aguas abajo se observa un aumento de la probabilidad de eventos con aceleraciones más altas, aunque siempre dentro del rango bajo (figura 24).

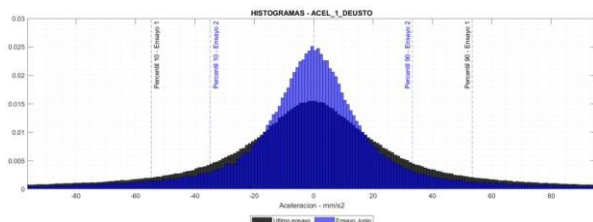


Figura 24. Histograma de aceleraciones (mm/s²) en el acelerómetro central aguas abajo. Ensayos 3 y 4.

Este incremento de eventos con aceleraciones superiores puede estar asociado a la mejora en el enclavamiento de las dos hojas del puente. Tras la sustitución de los casquillos se ha mejorado la vinculación entre tableros atenuando la amplitud de los movimientos, pero dado que la fuente de excitación es la misma, se podrían generar más eventos con aceleraciones superiores.

6.3 Frecuencias

En los dos primeros ensayos se obtuvo la misma frecuencia fundamental para las dos hojas del puente, 3.15 Hz. Además, en el Ensayo 2 se registró un descenso en la presencia de frecuencias bajas en el rango entre 1.25 y 4.60 Hz (rango crítico de vibraciones verticales para el confort de los peatones), por lo que se considera que ha mejorado el confort de los peatones tras este segundo ensayo.

En los ensayos 3 y 4 se produce un ligero desplazamiento de la frecuencia fundamental, hasta valores de 3.4-4.0 Hz. Esta variación, probablemente esté relacionada con una mayor fijación de los bulones tras la sustitución de los casquillos. No obstante, la temperatura también puede afectar a estas mediciones, ya que ciertos parámetros sufren un comportamiento cíclico asociada a variaciones estacionales.

7. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos en el último ensayo dinámico se concluye que las últimas actuaciones han mejorado el comportamiento de la estructura.

Las deformaciones del tablero se han reducido hasta valores del orden de 4 mm, minimizando de manera considerable las deformaciones inducidas en el lado contrario. Esto se traduce en una mejora en el comportamiento transversal del puente y en consecuencia en un mayor grado de confort para los peatones. Por lo tanto, las actuaciones prioritarias que se derivaron de la Inspección realizada en octubre de 2022 han resuelto el problema inicial de deformaciones excesivas de la junta central.

Dada la importancia del puente y con el objeto de evitar problemas similares en el futuro, es imprescindible realizar inspecciones periódicas de la estructura, así como un correcto mantenimiento.

Así mismo, la instalación de sistemas de monitorización en continuo facilitaría la detección de problemas similares en etapas tempranas. Estos sistemas, además de proporcionar información detallada sobre el estado de una estructura, permiten relacionar variables básicas de comportamiento (frecuencias, aceleraciones, deformaciones, tensiones) con terceras variables como la temperatura. Disponer de toda la información posible, no sólo permite anticiparse a cualquier deterioro en la estructura, sino que es fundamental en la toma de decisiones sobre cualquier actuación futura.

Referencias

- [1] Diputación Foral de Vizcaya. Departamento de Cultura. "El Puente de Deusto". Serie "Patrimonio Industrial de Bizkaia", número 4. 1997.
- [2] Catálogo de puentes históricos en Estados Unidos. <http://www.historicbridges.org>.