

Lecciones aprendidas en la reparación de puentes de fábrica: Astiñene y Deba

Lessons learned repairing factory bridges: Astiñene and Deba

Luis Cosano López-Fando^a, Txomin Echeveste^b, Mikel Arraiza^c, Pedro Sancho González^d, Pablo Vilchez Motino^e

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de operaciones Área reparación. Freyssinet.

^b Ingeniero Civil. Jefe de Obra. Freyssinet.

^c Arquitecto técnico. Jefe de Obra. Freyssinet.

^d Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Delegado Zona Norte. Freyssinet.

^e Ingeniero Industrial. Director Técnico. Freyssinet.

RESUMEN

El artículo presenta el retorno de experiencia desde la perspectiva del contratista especializado, de dos trabajos recientes de reparación y refuerzo realizadas con carácter de urgencia en puentes de piedra en la provincia de Guipúzcoa (España), tras asentar súbitamente una de sus pilas. En concreto se trata de las reparaciones de emergencia acometidas en el puente de Astiñene, en San Sebastián, y en el puente de Deba, en la localidad de mismo nombre.

ABSTRACT

The article presents the return of experience from main contractor point of view, of two recent repair and reinforcement emergency works carried out on stone bridges in Guipúzcoa (Spain), after suddenly settling on one of its piles. Specifically, these are undertaken at the Astiñene bridge (San Sebastián), and at the Deba bridge, in the town of the same name.

PALABRAS CLAVE: Rehabilitación, puente, patrimonio, reparación, refuerzo, recalce, atirantamiento
KEYWORDS: rehabilitation, bridge, heritage, repair, reinforcement, underpinning, staying system

1. Introducción

Pese a que, en general, los puentes de piedra son muy resistentes y duraderos, también es cierto que tienden a fallar, de forma ruinosa en no pocas ocasiones, cuando su ubicación se encuentra en terrenos donde el sustrato competente se localiza a profundidades importantes, bien por defectos de concepción, capacidad técnica en la época de construcción y/o incrementos de solicitaciones. El desplazamiento o giro impuesto por el fallo de

una cimentación en una estructura tan rígida provoca, al intentar acomodarse a la nueva geometría, la formación de rótulas mediante la aparición de fisuras, grietas y pérdida de piezas en cualquiera de sus elementos (pilas, bóvedas y tímpanos). La ausencia de respuestas resistentes de tracción y la conversión de la bóveda en un mecanismo por exceso de rótulas pueden llevar a la estructura a la ruina, pues el derrumbe de un vano ocasiona generalmente un fallo en cadena

del resto cuando las pilas pasan a un estado no compensado de empujes horizontales.

Los puentes de Astiñene en San Sebastián y de Deba en la localidad de mismo nombre, ubicadas ambas en la provincia de Guipúzcoa (España), son ejemplos de estructuras que han sufrido severos daños como consecuencia del asiento en sus pilas.

En agosto de 2017, técnicos municipales del Ayuntamiento de San Sebastián detectaron en el puente de Astiñene, un descenso en la alineación del tablero, especialmente importante en su pila 3, que se acompañaba de una evidente e importante fisuración del aglomerado en los vanos y pilas adyacentes. Las inspecciones llevadas a cabo en días posteriores pusieron de manifiesto la gravedad de los daños, y el riesgo para la seguridad del tráfico. Considerándose en consecuencia necesario, el cierre provisional de la estructura en tanto se definía un proyecto de emergencia para su reparación y refuerzo.



Figura 1. Vista aguas arriba del puente de Astiñene, San Sebastián, Guipúzcoa (España).

El puente de Deba, casi un año después repetía la cronología de los acontecimientos descritos para el puente de Astiñene. En julio de 2018, una de las pilas de la estructura del puente sufrió un súbito y fuerte asiento no uniforme -diferente aguas arriba, de aguas debajo de la pila - que, sorprendentemente, no llevó aparejado la ruina de la estructura. Sin embargo, los daños apreciables a simple vista eran importantes, tanto

en cantidad como en severidad. Las inspecciones y análisis realizados pusieron de manifiesto lo que era claramente evidente para un espectador avezado, esto es, la fragilidad de la estabilidad estructural y el riesgo patente de que la ruina se produjera en cualquier momento. Como en el caso anterior, el riesgo para la seguridad de los usuarios de la estructura aconsejó el inmediato cierre provisional de la estructura y la realización de un proyecto de emergencia de reparación y refuerzo.



Figura 2. Vista desde aguas abajo del puente de Deba, iniciados los trabajos de reparación. Se aprecia claramente el descenso de la pila, y la pérdida de la rasante.

2. Descripción de las estructuras

2.1 *Puente de Astiñene*

El puente de Astiñene es el último de los puentes que cruza el río Urumea en la zona de Loyola, que también le da nombre. Recibe el nombre de Astiñene por haber existido en sus proximidades una taberna con mismo apelativo, si bien, también es denominado como “puente de Egia”, o “Sarasola” [1].

Se trata de una estructura de fábrica de piedra caliza que vino a sustituir a un puente de madera construido en 1840. Este, a su vez, venía a sustituir a otro inicialmente construido en 1815, y del que se refieren daños importantes tan solo siete años después. Aunque dichos daños fueron rápidamente reparados, el puente fue finalmente destruido durante la 1ª Guerra Carlista (1833-1839). El puente de 1840, reconstruido bajo la

dirección del arquitecto D. Joaquín Ramón Echeveste, fue rápidamente ejecutado por los contratistas D. Francisco Elola y D. Miguel Antonio Urquía. Dicha reconstrucción, se llevó a cabo manteniendo la tipología estructural y materiales del destruido, razón por la cual, unos años más tarde se referían los mismos problemas de mantenimiento del primigenio, esto es, unos altos costes de mantenimiento. Fue esta la razón que motivó la necesidad de ejecutar un nuevo puente, más robusto y resistente, que, aun siendo más costoso en su construcción, redujera los altos costes de mantenimiento ya referidos.[1]

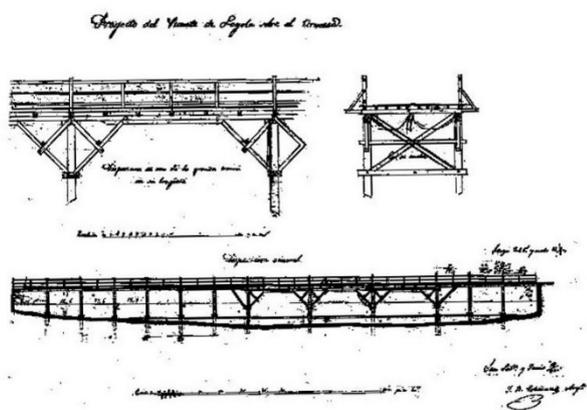


Figura 3. Planos del puente de madera construido en 1840. Fuente: Elejalde Aldama F., Behin Batean Loiolan. Pasado, presente y futuro de Loiola. <http://loiola.weebly.com/6---los-puentes.html>

Aunque parece que los papeles de la época refieren que entre las soluciones que se manejaron, también se planteó la posibilidad de realizar un puente de hierro, finalmente fue descartada debido a su alto coste, frente a la que fue finalmente ejecutada, entre 1860 y 1861, y ha llegado hasta nuestros días, y cuya dirección también recayó en el arquitecto D. Joaquín Ramón Echeveste[1].

Se trata de una estructura esviada, formada por 7 bóvedas escarzanas, con diferentes relaciones entre la flecha y la luz de las mismas, resultando arcos con un rebaje importante, bastante inusual en la época, y difícilmente comprensible, dado que en el propio proyecto ya se ponía de manifiesto que sondeado el río, no se había

encontrado próximo terreno firme, por lo que intentando evitar unos sobrecostes importantes en la ejecución de una cimentación, se proponía una solución consistente en el rebaje de un tercio de la potencia de terreno de “cascajillo de acarreo” que apoyaba sobre fangos de arcilla. En el rebaje se dispondría “hormigón” de arranque y fábrica para el levantamiento de las pilas hasta la parte inferior de los zócalos, con altura de 5 pies, contenida en todo su perímetro con tablestacado. [1]

Las pilas, de mampostería caliza, de poco canto y de altura moderada presentan una esbeltez baja. Se sabe igualmente que el puente fue remodelado tan solo unos años más tarde su puesta en servicio, en concreto en 1866, mediante la adición de voladizos de hormigón hasta alcanzar una anchura total de 7.80 m, para una calzada de 5.50 m y dos aceras de 1.15 m, que aún mantenía en el verano de 2017.

Tabla 1. Características de las bóvedas del Puente de Astiñene (San Sebastián).

Bóveda	L Luz (m)	f flecha a (m)	t Canto bóveda (m)	f/l	t/L
1	6.518	0.754	0.50	1/8.6	1/13
2	7.815	1.011	0.50	1/7.7	1/15.6
3	9.495	1.195	0.70	1/7.9	1/13.6
4	11.408	1.231	0.70	1/9.3	1/16.3
5	9.361	1.220	0.70	1/7.7	1/13.4
6	7.714	1.037	0.50	1/7.4	1/15.4
7	6.324	0.860	0.50	1/7.4	1/12.6

Parece entonces razonable pensar que todos los males que aquejaban al puente en el verano del año 2017, como de hecho se puso de manifiesto tras los ensayos e inspecciones llevadas a cabo, venían motivados por la falta de capacidad resistente de la cimentación frente al giro de las pilas, agravado por la disparidad de luces, entre 6.50 y 11.40 m, que contribuyen a crear empujes diferentes a ambos lados de estas, y por tanto su tendencia al giro.

2.2 Puente de Deba

El puente de Deba, o “puente viejo”, cruza la ría del río Deba, a escasos 850 m de su desembocadura en el mar Cantábrico. Se ubica en la localidad de mismo nombre que el río que salva, Deba, sita aproximadamente a 40 Km al oeste de la ciudad de San Sebastián (España). Fue concebido inicialmente para el paso de vehículos en la conexión de la carretera nacional N-634 con la provincial GI-638, uniendo por la costa, Deba y Mutriku, provincia de Guipúzcoa, pasando en 2013, a prestar servicio como pasarela peatonal.

El cuarto vano, primero desde el lado de Mutriku, contaba en el momento de su apertura con un paso levadizo materializado con estructura metálica. En 1951 este fue sustituido por una bóveda de hormigón chapada con piedra, con el fin de mantener la estética del resto de los vanos.

Desde un punto de vista estructural se trata de un puente de planta recta y 67 m de luz total, con rasante horizontal, y constituido por 4 bóvedas: un cuarto vano de 8.69 metros de luz y el resto, muy similares, 14.65 m, 14.67 m y 14.64 m, correspondientes con el primero, segundo y tercer vano, respectivamente.

Las bóvedas descansan sobre pilas de 4.5 m de altura. En lo que respecta a los anchos, la pila sobre la que descansaba el tramo levadizo dispone de un ancho superior (5.00 m) frente a las otras dos (3.6 m). Esto viene motivado por la necesidad del diseñador de la estructura de compensar los esfuerzos horizontales descompensados que el vano adyacente al tramo levadizo provoca en la pila.

Las pilas se cimentan en el lecho del río, muy próximo a su desembocadura, y, por tanto, en terrenos con bajas capacidades portantes, mediante pilotes de madera hincados. El proyecto redactado para la ejecución de los trabajos de emergencia considera como material más probable de los mismos, en base a los testigos extraídos en el marco de los trabajos de

inspección, el roble, su diámetro 0.30 m y provistos de azuche, no esperándose que dispongan una longitud superior a los 10 m (capítulo 2.31. “Cimentaciones profundas con pilotes de madera” [2]). En la cabeza de los pilotes se dispone de un emparrillado de madera sobre la que apoya la base del plinto de la propia pila y entre este y el entarimado, la escollera que asegure el correcto apoyo del conjunto.

En lo que respecta a los estribos, el de Mutriku se cimenta sobre el afloramiento de roca existente, y el de Deba en un sistema similar al ya explicitado para las pilas.

El puente presenta una fábrica de piedra caliza de gran calidad, siendo el ejemplo más representativo de puentes de piedra del siglo XIX en el territorio Histórico de Guipúzcoa, motivo por el cual goza en la actualidad, de la máxima protección patrimonial [3]. Presenta además la peculiaridad de formar parte del Camino de Santiago en su ruta del Norte que recorre la Cordillera Cantábrica, desde Donostia-San Sebastián (Guipúzcoa – España) hasta Ribadeo (Lugo – España).



Figura 4. Estado del puente de Deba tras el asiento de la pila en julio de 2018.

Sabemos por las crónicas del puente que al menos este ha sufrido tres incidentes relacionados con su cimentación a lo largo de su vida, por lo que podría afirmarse a priori que el problema de este vendría muy probablemente motivado por un inadecuado diseño de la cimentación, como en el caso anterior. Si bien,

las inspecciones realizadas, que incluyeron una concienzuda inspección submarina, revelaron que, sin descartar ello, en este caso el fallo se debía a la sensible pérdida de la sección resistente – y por tanto colapso por falta de capacidad resistente- de los pilotes de madera provocada por el ataque de xilófagos (*Teredo Navalis*).

3. Trabajos desarrollados

3.1 Puente de Astiñene

El proyecto de reparación contempla dos fases de intervención, consistentes en un recalce de las pilas con micropilotes. Dadas las dudas que presenta el estado de la estructura y la capacidad de la cimentación del puente para soportar las cargas de la maquinaria necesaria para acometer dicha actuación, se propone una actuación previa consistente en el atirantamiento a la altura de las bóvedas del puente.

La razón de que se propusiera la intervención en dos fases venía razonada por el hecho de que el Ayuntamiento de San Sebastián, titular de la estructura barajaba ya su sustitución por un nuevo puente en un plazo de dos años. Parecía entonces razonable valorar si resultaba conveniente o no acometer una actuación de micropilotado con alto importe de inversión, y difícil de realizar dado el estado de la estructura. La realización, por el contrario, del atirantamiento presentaba la ventaja de permitir en un corto lapso de tiempo la apertura de nuevo al tráfico, peatonal y ciclista, del puente, y el paso de embarcaciones bajo este, además de ser necesario en caso de que finalmente se decidiera llevar a cabo el trabajo de recalce de las pilas del puente con el micropilotado de las mismas. Finalmente, ambas actuaciones fueron llevadas a cabo, de las que a continuación se refieren sus datos principales.

3.1.1. Atirantamiento

La solución prevista en proyecto consiste en la colocación a nivel del arranque de las

bóvedas de dos barras pretensadas de alto límite elástico $\Phi 32$ mm, bajo cada bóveda, una a cada lado del puente (aguas arriba y aguas abajo). Las barras se cruzan en cada pila en una pieza metálica, en forma de tubo hueco conformado por dos UPN400 soldados en cajón. En cada vano, las barras se anclarán en el lado opuesto de la pila, de tal forma que en cada pila se produzca un solape entre las barras de un vano y del siguiente. El esfuerzo de las barras se transmite a las pilas a través de placas de anclaje, soldadas en la parte inferior del tubo, junto con rigidizadores metálicos, que transmiten a su vez el empuje de las barras a los paramentos de mampostería, intercalando entre ambos elementos, un mortero tixotrópico de alta resistencia que garantice un correcto asiento de las placas. El asiento de los tubos se realiza sobre mesetas de mortero tixotrópico de alta resistencia, que compensen los asientos diferenciales y los giros que presentan las pilas. En los estribos las barras se anclan en taladros ejecutados al efecto en la longitud necesaria, y se inyectan con mortero de inyección, en la zona de bulbo, asegurando una longitud libre mediante una vaina que permita el tesado de la misma. Transversalmente las estructuras de cada lado de la pila se unirán con un redondo de 25 mm de acero B500S. Las barras se colgaban en no menos de tres puntos en cada vano, para impedir el efecto catenaria de las mismas y que puedan, por tanto, entrar en carga rápidamente, ante cualquier movimiento de la estructura. Las barras van dotadas de anclaje según dimensiones especificadas en plano, con taladros avellanados, y tuerca y contratuerca. Finalmente se protegerán todos los elementos metálicos mediante una protección frente a la corrosión, que asegure su durabilidad, dado el ambiente altamente agresivo en el que se encuentra la estructura.

3.1.2. Recalce de las pilas

En cada una de las pilas se decide la implantación de 6 pares de micropilotes, hasta

lograr su empotramiento necesario en la matriz rocosa ubicada bajo los rellenos de fondo del cauce del río.[2]

Los micropilotes finalmente ejecutados, presentan un encamisado que nace desde la zona de rellenos y hasta sobrepasar ampliamente la mampostería del puente.

Como se aprecia en la figura adjunta, las longitudes de cada micropilote son variables y su diámetro fue de 127,1 x 9 mm espesor, reforzados con 6 redondos de 16 mm de acero B500S en la zona de pilas (Perforación de 220 mm). La longitud total micropilotada fue de 2.498,81 m.

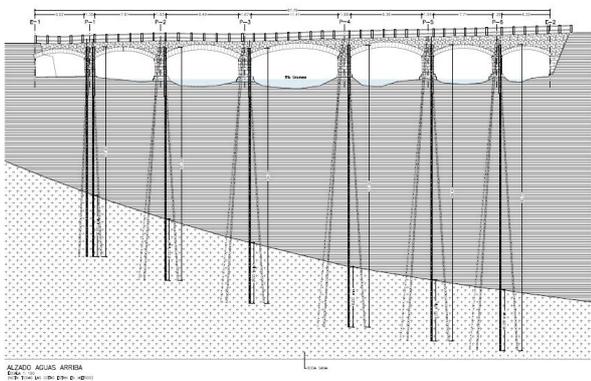


Figura 5. Plano del proyecto de recalce de la cimentación del Puente de Astiñene. Fuente: proyecto redactado por SESTRA.

3.2 Puente de Deba

Como en el caso anterior, y tras todos los trabajos de inspección y análisis realizados, se convino como mejor solución acometer los trabajos de reparación de la estructura en dos fases. La primera tendría por objeto asegurar la estabilidad de la estructura y evitar en la medida de lo posible su ruina, la segunda, una vez asegurada esta, conllevaría la reconstrucción del puente a su estado previo al incidente, en lo que sea posible [4].

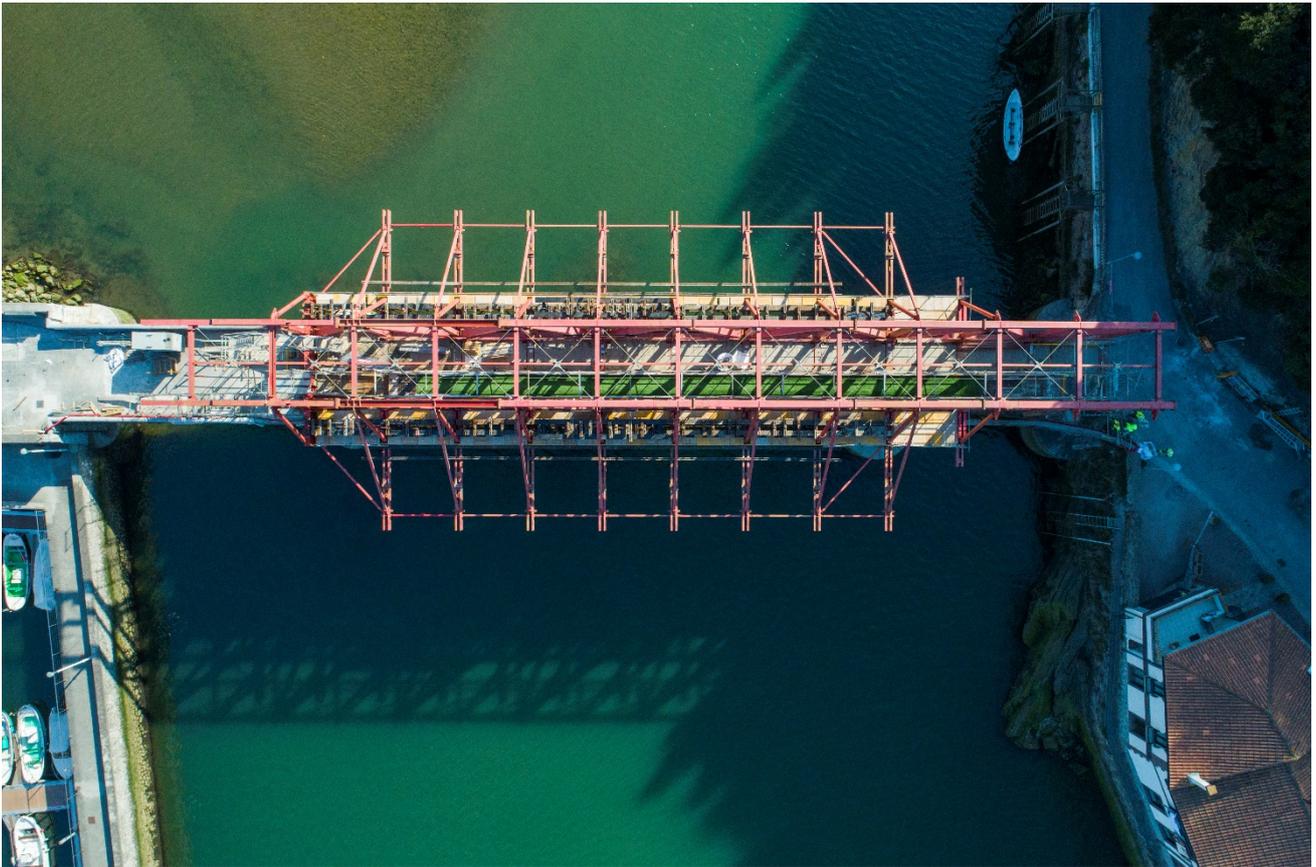
La primera de las fases, y única ejecutada hasta la fecha, ha consistido tras los trabajos previos habituales -desvío de servicios afectados y caracterización del terreno mediante 5 sondeos

en diferentes puntos de la estructura-, en el refuerzo de las cimentaciones de las pilas 1 y 3 mediante micropilotado; la realización de unos encepados de apoyo provisionales sobre dichas pilas que recogieran a estos y sobre los que apoyar una cimbra autolanzada; en el lanzamiento y disposición de la cimbra apoyada en los encepados mencionados; y en la disposición de un sistema de apeo de las bóvedas mediante un sistema de cuelgue de tirantes materializado con barras de alto límite elástico, así como un sistema de vigas HEB-300 y HEB-450 dispuestas bajo las bóvedas junto a un conjunto de paneles de encofrado.

Adicionalmente se ha aprovechado la estructura de la cimbra para disponer sobre ella una pasarela peatonal provisional que restituya el paso suspendido por riesgo de caída de la estructura.

4. Retorno de experiencia

Más allá de las complicaciones que plantea intervenir en estructuras en las proximidades de las desembocaduras de los ríos, y por tanto sometidas a la carrera de marea, con las dificultades que esto entraña, además de en un estado precario de estabilidad, con los riesgos que supone ello para la seguridad de todas las personas que intervienen en ellas, podemos afirmar que, ambas intervenciones ponen de manifiesto, en primer lugar, que se constata que por muy sólidas y seguras que puedan parecernos estas estructuras, es necesario comunicar la urgente necesidad de aumentar la inversión en labores de inspección y mantenimiento preventivo, que nos permitan detectar y adelantarnos a los deterioros que puedan conllevar sucesos catastróficos, máxime en estructuras con un alto valor patrimonial y/o en corredores esenciales.



En este sentido es importante recalcar que las labores de inspección, auscultación y de mantenimiento son actividades a tener en cuenta en la vida útil de cualquier estructura con el fin de alargar al máximo su durabilidad.

En lo que se refiere a los trabajos acometidos, podemos indicar que:

- De todos los sistemas que hemos empleado a la fecha, consideramos que el mejor procedimiento para realizar cimentaciones en un puente de piedra es intervenir con un equipo a rotación hasta traspasar la pila y luego, seguir con un equipo ordinario de roto percusión. Los equipos que emplean demasiadas cantidades de agua pueden fragilizar el propio relleno del puente (por el lavado de estos), los rejuntados,

si existen, provocar el movimiento de sillares, sillarejos o mampuestos y generar algún socavón si el material que atraviesan es poco resistente. El agua, además, puede provocar algunos “daños colaterales”, como oquedades que obliga a inyectar más volumen de la simple perforación, para la correcta materialización del micropilote.

- El control topográfico es una actividad importante que siempre se debe considerar para hacer seguimiento de cualquier movimiento de la estructura, ya sea durante las propias actuaciones como tras su finalización a fin de confirmar que la estructura ha sido adecuadamente estabilizada.



- La ingeniería de hoy y los medios auxiliares empleados con fines distintos como por ejemplo la autocimbra, permiten también “salvar” puentes de piedra centenarios. Es por tanto necesario mantener una mente abierta ante los retos que presentan estas estructuras, más aún, cuando sufren daños importantes.
- Si bien todos los proyectos están sujetos a cambios, estos por las particularidades que presentan aún más. En Deba, por ejemplo, fue necesario replantear la solución inicial de proyecto, modificando los puntos de apoyo de la cimbra, inicialmente previsto en estribo 2, dado que se encontraba apoyado sobre terreno rocoso y pila 1, ya que era materialmente imposible encontrar una cimbra que solventara adecuadamente todos los requerimientos estructurales y pudiera ser, a su vez lanzada, dado que el lanzamiento presentaba limitaciones

de espacio a ambos lados, ladera de la montaña en estribo 2, y vía del FF.CC. en estribo 1). En Astiñene, mucho se debatió al respecto de la conveniencia o no de tesar las barras, para finalmente optar por una solución intermedia, que consistió en darles una pequeña fuerza que las enderezara y ayudara a corregir la posible catenaria, sin inducir esfuerzos en las pilas.

Por último, resaltar que dos estructuras con muchos nexos de unión: apenas una década de diferencia en su construcción, ambos cimentados en la desembocadura de sus ríos, ambos con problemas de cimentación que debieron ser tratados mediante un recalce con micropilotes, afrontan un fin distinto. Mientras el primero será demolido, al segundo, Dios mediante, se le tratará de devolver al estado en el que se encontraba previamente al incidente. Esto no hace sino poner de manifiesto que no existe una doctrina universal aplicable a todos los casos, “porque la casuística es infinita e infinitos son también los enunciados y posiciones”. [4]



Agradecimientos

No quisiéramos terminar este artículo sin agradecer, al menos mediante la simple mención, a las personas que en mayor medida han estado involucradas en la ejecución de los trabajos.

En el puente de Astiñene, por el Ayo. de San Sebastián D. Juan Ortíz de Zárate, y en proyecto y Dirección de Obra D. Álvaro Arrieta Bakaikoa D. Raúl Villaron y D: Santiago Uría de SESTRA, y D. Javier León González de FHECOR.

En el puente de Deba, por la Diputación Foral de Guipúzcoa, D. Josu Maroto Peñagarikano y Dña. Ainara Iroz Zalba en la parte técnica y D. Denis Itxaso González, en calidad de Diputado de Cultura, Turismo, Juventud y Deportes. En la Dirección de Obra, D. Javier León González y Francisco Prieto Aguilera por FHECOR Ingenieros Consultores y Iñaki Jaime Azpiazu, por INJELAN.

Referencias

- [1] Elejalde Aldama F., Behin Batean Loiolan. Pasado, presente y futuro de Loiola. <http://loiola.weebly.com/6---los-puentes.html>
- [2] ATC Asociación Técnica de Carreteras, Comité de Puentes, Grupo de trabajo de “Puentes de fábrica” Cimentaciones de fábrica en puentes. 2008.
- [3] Nuñez J., Catálogo de Puentes de Gipuzkoa anteriores a 1900, 1994, 243 p. <http://catalogo.bne.es/uhtbin/cgisirsi/?ps=46uUN4pd6u/BNMADRID/271240831/9;> <http://www.gazteaukera.euskadi.eus/publicaciones-patrimonio-cultural/r58-801/es/>
- [4] León, J. ; Primer Foro Patrimonio Cultural de la Obra Pública, Libro de Actas. “Intervenciones en el puente de Deba. Argumentos para decidir”. 2019.