

Reparación de puentes de fábrica. Conservación del patrimonio histórico

Repair of masonry bridges. Conservation of historical heritage

Jorge Juan Fernández Díaz^a, Mario Martín Aguilera^b, Noemí Corral Moraleda^c

Tomás Ripa Alonso^d

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Ingeniero de estructuras.

jorgejuanfernandez@lraingenieria.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Jefe de Proyectos. mariomartin@lraingenieria.es

^c Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Directora Departamento de Rehabilitación.

noemicorral@lraingenieria.es

^d Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Socio director. tomasripa@lraingenieria.es

RESUMEN

Los puentes de fábrica constituyen una parte importante de las estructuras de nuestro patrimonio y, aun así, son muchas las incertidumbres a la hora de evaluar la gravedad de algunas patologías en la respuesta estructural y aun mayor el desconocimiento sobre las técnicas de reparación más adecuadas que aseguren el éxito de las intervenciones y el buen comportamiento de la estructura en los años siguientes a su rehabilitación. En esta ponencia se aborda el proceso de evaluación del estado de conservación y la reparación realizada en tres puentes de fábrica singulares.

ABSTRACT

Masonry bridges represent a significant part of our structural heritage. However, there are numerous uncertainties when evaluating the severity of certain pathologies and their impact on structural response. Furthermore, there is even greater lack of knowledge regarding the most suitable repair techniques to ensure successful interventions and the long-term performance of the structure following rehabilitation. This presentation addresses the assessment process of the conservation state and the repair work carried out on three unique masonry bridges.

PALABRAS CLAVE: Patrimonio, puentes de fábrica, socavación, restitución.

KEYWORDS: Heritage, masonry bridges, scour, restitution.

1. Introducción

Los puentes de fábrica, a pesar de constituir una parte importante de nuestro patrimonio y estar presentes desde tiempos inmemoriales en nuestra red de carreteras, siguen siendo una tipología prácticamente desconocida a la hora de realizar una evaluación de daños y propuesta de reparación. De hecho, son numerosos los ejemplos de puentes de fábrica que han experimentado un deterioro más acelerado

después de llevar a cabo su reparación. Ante esta situación, creemos que sólo un conocimiento profundo de este tipo de estructuras y las técnicas adecuadas de reparación pueden asegurar que las actuaciones de rehabilitación que se lleven a cabo reviertan en un incremento real de las prestaciones de estas estructuras y su capacidad para soportar las diferentes acciones a las que se ven sometidas a lo largo del tiempo.

Por ello, a la hora de evaluar el estado de conservación de un puente de fábrica y la necesidad de proceder a su reparación deberemos preguntarnos, en primer lugar, si esa actuación es necesaria y, en caso afirmativo, definir adecuadamente el alcance de dicha reparación. Aunque el ejercicio anterior pueda parecer sencillo, no lo es cuando hablamos de puentes de fábrica, ya que el mismo deterioro evaluado en estructuras de hormigón y/o acero puede ser evaluado como grave pero no tener una repercusión significativa en el caso de obras de fábrica e, igualmente, una técnica de reparación que se pueda considerar adecuada y avalada por la experiencia en estructuras de hormigón y/o acero, en el caso de puentes de fábrica puede llegar incluso a ser contraproducente.

A tenor de lo anterior, en esta ponencia se ha pretendido recoger algunas cuestiones prácticas y teóricas de la reparación de este tipo de estructuras. La exposición se realiza desde el punto de vista de la fase de redacción de los proyectos de reparación, que conforman el documento técnico de referencia para llevar a cabo posteriormente las obras de reparación [1, 2, 3]. Para ello, se ha recurrido a tres ejemplos de puentes singulares de origen romano y medieval en los que se han redactado sendos proyectos de rehabilitación: el Puente de Tudela, el Puente de Piedra de Soria o el Puente romano de Alcazarén.

2. Descripción de las estructuras

Los puentes de fábrica resolvían la conexión de antiguos caminos con ciudades de mayor entidad, como por ejemplo Toledo y Valladolid. También solían conformar accesos a ciudades como Soria donde contaban con torres que se empleaban como elementos defensivos y para controlar la entrada y salida de las ciudades por medio del cobro de un tributo denominado pontazgo

Aunque estas estructuras han demostrado una extraordinaria durabilidad con el paso del tiempo, también requieren la realización de actuaciones de conservación y rehabilitación puntuales que restituyan la merma de prestaciones que ha experimentado la estructura por el paso del tiempo. No obstante, la singularidad tipológica de estas estructuras, los materiales constitutivos y las técnicas constructivas utilizadas en su ejecución son factores fundamentales a la hora de plantear las labores de reparación y, por tanto, el estudio y análisis de los parámetros anteriores es un factor esencial para asegurar el éxito de la actuación. Además, también es necesario tener en cuenta criterios estéticos que permitan mantener el acabado que caracterizan estas estructuras con un alto valor patrimonial para la sociedad.

2.1 Puente de Tudela

Esta estructura medieval, cuya época de construcción se sitúa entre los siglos XII y XIII, mide aproximadamente 320 m de largo y está constituida por 17 bóvedas de fábrica (ver Figura 2). Tanto las pilas como los tímpanos y las bóvedas son en su mayoría de sillería de piedra caliza de las Bardenas, aunque se aprecian diversas actuaciones posteriores en la estructura ejecutadas con piedra arenisca de la zona media.

En cuanto a la configuración longitudinal del puente, consta de 17 bóvedas de sillería en las que, habida cuenta de las sucesivas reconstrucciones a lo largo de la historia, se aprecian diversas luces y geometrías, tanto de arcos de medio punto como apuntados.

Los tímpanos son rectos, están ejecutados en sillería y poseen alturas variables, entre un máximo junto a pilas y estribos de 5,32 m y un mínimo de 0,80 m coincidiendo con el rebaje de los tímpanos en clave de los arcos en la reparación de 1985. La anchura de las bóvedas es de 5,00 m.

En los años 1985 y 1987 se realizan las actuaciones de mayor alcance sobre la estructura: la de 1985 consistió en la consolidación de las

cimentaciones de las pilas mediante inyecciones y la ejecución de un refuerzo perimetral del hormigón armado; en la del 1987 se procedió a la ampliación del tablero para adecuar la estructura a las necesidades de tráfico del momento. Para ello, se dispusieron losas de hormigón de 11 m de ancho, por lo que quedó así definido el ancho del tablero actual. Para esto también fue necesaria la ejecución de un zuncho longitudinal de hormigón en la parte superior de la estructura donde se apoyarían las losas. Este zuncho se revistió posteriormente con chapado de piedra artificial, como se puede apreciar en la siguiente imagen:



Figura 1. Zuncho longitudinal revestido (a la vista en Vano 10)

2.2. Puente de piedra de Soria

Se trata de un puente medieval que, aunque no se conoce la fecha de su construcción se tiene constancia de su existencia, según la documentación existente, desde mediados del siglo XII. Originalmente, la estructura contó con dos torres, la primera se localizaba en el extremo oeste del puente y la segunda torre se encontraba en la mitad de la estructura. Estas torres sirvieron por un lado como elementos defensivos y también como forma de controlar la entrada y salida de la ciudad de Soria por medio del cobro de un tributo denominado pontazgo. Ambas torres fueron derribadas durante el siglo XIX.

Existen muestras de reparaciones realizadas a lo largo del tiempo de existencia de la estructura como por ejemplo la sustitución de sillares que provenían de la entonces Iglesia de Santa Cristina en la primera mitad del siglo XVI.

Se trata de una estructura de planta recta de 111,2 metros de longitud, que se encuentra distribuida en 8 vanos de 7,00 + 9,20 + 8,80 +

12,20 + 17,30 + 15,00 + 14,40 + 5,00 m de luz. (Ver Figura 3)

El puente está formado por ocho bóvedas de sillería de 5,70 metros de anchura, con una relación canto/luz de 1/2 que corresponde a la forma de un arco de medio punto. En las pilas se encuentran tajamares de directriz y anchura variable entre ellos, tanto aguas arriba como aguas abajo. El gálibo en clave varía entre 3 metros, en los vanos extremos, hasta 6 metros en vanos centrales.

Los tímpanos son rectos y están ejecutados en sillería. Presentan una altura de entre 5,70 y 6,90 m en arranques y de entre 1,00 y 2,00 m en clave, salvo en el vano V-5 donde la zona de boquillas se encuentra muy próximo al canto de hormigón.

En la parte superior de la estructura de fábrica se realizó entre los tajamares, en ambos márgenes, una ampliación que se compone de voladizos de hormigón armado de 0,20 metros de canto y 1,1 metros de vuelo.

2.3 Puente Mediana de Alcazarén

Este histórico puente estaba en el antiguo camino de Toledo a Valladolid conocido por “Camino de los Caballos”, que tuvo un intenso tránsito en una época donde el centro de la Península –Castilla- era el corazón administrativo del Imperio Español. El desarrollo de los caminos en este territorio estuvo muy vinculado al desarrollo político, económico y social de Castilla.

Durante el siglo XVI hubo muchos intentos de mejora de los caminos, la mayoría de herradura - los carreteros eran escasos - pues solían estar mal estado. Su conservación era precaria y la mayoría de sus puentes eran de madera de escasa resistencia y durabilidad. Un buen número de cruces de los ríos se hacía, con evidentes riesgos, por vados. En 1534 los Procuradores de las Cortes en Madrid suplicaron que se ordenara por parte del Monarca <<... que se hicieren los puentes y se aderezaran los caminos y calzadas de que hay gran falta en estos reinos>>. A lo

largo del siglo son repetidas estas peticiones en las que se priorizaba la construcción de puentes pues por malos que sean los caminos se podían transitar a pie y a caballo, pero los cruces de los ríos por vados eran peligrosos.

El puente Mediana se halla en el trazado de un camino recogido en el conocido Repertorio de Caminos de Pedro Juan de Villuga publicado en 1546. Es la primera obra de este tipo editada en Europa.

Se trata de una estructura de planta recta de 67,0 metros de longitud por el lado de aguas arriba del río Eresma y de 57,7 metros aguas abajo.

El puente está formado por dos bóvedas de sillería de 10,00 metros de luz y 5,70 metros de anchura, con una relación canto/luz de aproximadamente 1/2 con una directriz apuntada. (ver Figura 4)

En la pila se encuentra un tajamar de directriz triangular con una anchura de 3,60 metros y una altura de 3,00 metros que se encuentra rematado por un sombrerete piramidal de 70 centímetros de altura. Por otro lado, se dispone de un espolón de dimensiones y directriz similar al del tajamar, aguas abajo.

En los siguientes epígrafes se describen los deterioros más relevantes identificados en las estructuras anteriores y que constituyen patologías habituales en puentes de fábrica y, seguidamente, se describen las técnicas de reparación empleadas en dichas estructuras. Por la similitud de los deterioros identificados en las estructuras y las técnicas de reparación empleadas, la descripción se realiza de forma conjunta.



Figura 2. Vista del puente de fábrica situado en el municipio de Tudela



Figura 3. Vista del puente de fábrica situado en el municipio de Soria



Figura 4. Vista del puente de fábrica situado en las proximidades del municipio de Alcazárén

3. Patologías habituales existentes en puentes de fábrica

El emplazamiento de estas estructuras, que salvan el cruce del río, es un factor determinante en el proceso de deterioro, ya que es el propio curso de agua junto con las eventuales avenidas lo que constituyen el principal mecanismo de deterioro. De esta forma, el lavado de tierras y el arrastre de sedimentos provocan la aparición de fenómenos de socavación en las cimentaciones y, a su vez, pueden propiciar la aparición de otras patologías tales como fisuras, grietas o pérdida de piezas como consecuencia de los movimientos que experimentan las estructuras. En este sentido, si bien las grietas y la pérdida de piezas pueden ser una consecuencia de los fenómenos de socavación, también pueden responder a cualquier otro proceso que haya supuesto una descompresión de los arcos de las bóvedas, como por ejemplo actuaciones sobre el relleno. Igualmente, es posible observar fisuras longitudinales en las bóvedas que no tengan una afección estructural relevante, sino más bien al contrario, que se trate de “defectos” que se han formado como consecuencia de movimientos de la estructura que le han permitido adaptarse a un nuevo estado de equilibrio y que no son problemáticas por tratarse de un proceso ya estabilizado.

Así pues, para evaluar la gravedad de un determinado deterioro en una estructura de fábrica es fundamental conocer, en la medida

que sea posible, el origen de dicho deterioro y, sobre todo, evaluar su afección en el comportamiento de la estructura. Así, una grieta longitudinal en la bóveda de fábrica cuya abertura no se ha incrementado en inspecciones sucesivas y que, además, no muestra fenómenos de socavación acusados, podremos afirmar que se trata de un deterioro con una afección poco significativa al comportamiento estructural. En este punto, también cabría evaluar los posibles mecanismos de colapso por formación de rótulas en la estructura objeto de análisis, si bien lo anterior no es objeto del alcance de la presente ponencia.

Así pues y en virtud de lo anterior, se considera especialmente relevante en este tipo de estructuras la realización de inspecciones periódicas que permitan conocer la evolución de determinadas patologías y la realización de inspecciones de las cimentaciones, habitualmente realizadas por buzos y destinadas a conocer el grado de socavación de los elementos.

Otro tipo de deterioros, habitualmente infravalorado, es la aparición de vegetación enraizada en huecos existentes entre las piezas de sillería o mampostería que conforma la estructura. Estas patologías son producidas por la retención de agua en las juntas existentes entre las piezas de fábrica que propicia el enraizado y que podría provocar una pérdida progresiva de piezas por la degradación de sus juntas. Este tipo

de deterioros se pudo observar en gran abundancia en el puente Mediana.



Figura 5. Vegetación enraizada en el puente Mediana sobre el río Eresma.

Los agentes atmosféricos, por otro lado, también pueden producir acciones erosivas en las piezas de fábricas, ya sea de forma local o extendida. Dicha acción erosiva origina la aparición de deterioros como la degradación de juntas o lavado de llagas, en caso de que exista un relleno en las juntas. Estos agentes atmosféricos también pueden provocar la fragmentación y erosión de las piezas de fábrica que puede agravarse hasta producir pérdida de un porcentaje elevado del espesor de la pieza.

En las fases iniciales del proceso de degradación anterior se produce una afección a la durabilidad que puede llegar a convertirse en una afección resistente en tanto que implica una pérdida de sección resistente en zonas localizadas.

Además, el proceso de pérdida de estas piezas aumenta de forma exponencial a medida que se pierden piezas de la sección, puesto que el reparto de los esfuerzos se ve mermado y las piezas que aún se mantienen en la sección sufren una sobrecarga cada vez mayor.



Figura 6. Lavado de llagas bajo puente de fábrica en el municipio de Tudela.



Figura 7. Erosión de sillares en puente de fábrica situado en el municipio de Soria.

4. Técnicas de reparación aplicados en puentes de fábrica

A continuación, se describen las distintas actuaciones de reparación más habituales en puentes de fábrica a partir de nuestra experiencia en los proyectos de rehabilitación de las estructuras utilizadas como ejemplo en la presente ponencia: el puente de piedra situado en el municipio de Soria, el puente de fábrica situado en el municipio de Tudela (Navarra) y el puente Mediana ubicado en las proximidades del municipio de Alcazarén (Valladolid).

Antes de realizar dicha descripción, cabe indicar la existencia de reparaciones frente a la erosión de sillares mediante morteros cementosos. Por nuestra experiencia, este tipo de intervenciones con morteros cementosos no son, por lo general, una solución acertada, dado que los morteros de cemento generan sulfatos dañinos para la piedra y además impiden la transpiración. Por este motivo, se recomienda su retirada, siempre que no comprometa la integridad estructural del puente.

3.1 Reparación de socavaciones

En primer lugar, frente a patologías de socavación, una técnica de reparación propuesta por LRA para la rehabilitación del puente situado en el municipio de Tudela (Navarra) consiste en el recalce de las pilas para recuperar la geometría mediante colocación manual de hormigón en sacos.

Para ello, se iniciaría con una primera inspección subacuática con el fin de confirmar en qué pilas existe socavación en el momento de la operación. Además, durante dicha inmersión, se recomienda tomar muestras de los materiales existentes en el fondo del cauce para su análisis, ya que deberán ser retirados y gestionados adecuadamente durante la actuación.

Una vez verificadas las zonas de actuación en cimentación de pilas, se lleva a cabo la limpieza del fondo del cauce en las zonas de trabajo. Esta limpieza consta de dos fases: una inicial, generalizada y mecánica, con medios flotantes con la que se retiran los limos y materiales sueltos mediante un sistema de succión. Posteriormente, en una segunda fase, se realiza una limpieza manual con buzos, con la que se garantiza la limpieza y saneado completo de las oquedades de socavación con ayuda de sistemas de chorreado con agua o aire a presión, así como la retirada de los posibles materiales y lodos adheridos a los paramentos de la estructura.

Una vez finalizada la limpieza en la base de cada pila, se realiza una segunda inspección subacuática de la socavación, completándose con un replanteo de las geometrías y volúmenes a rellenar. Recopilada esta información, se puede planificar y definir con mayor detalle el proceso posterior de colocación de sacos de hormigón, así como terminar la confección de los geosintéticos a disponer en el entorno de las zonas socavadas.

El siguiente paso consiste en rellenar de forma manual, con el equipo de buzos correspondiente, las oquedades detectadas mediante hormigón HM-30 predosificado seco contenido en sacos de yute.

Es fundamental que estos trabajos sean llevados a cabo por buzos con experiencia en este tipo de tareas, ya que la cantidad de relleno de hormigón en cada saco debe ser adaptada a las necesidades de cada oquedad, de modo que, al ser los sacos de hormigón seco, pesados y maleables antes del fraguado, quedando

completamente amoldados al hueco y entre ellos. Así, al endurecer conformarán un bloque único de hormigón sin zonas huecas en él. Los buzos se ayudarán de los útiles y pinzas necesarias para garantizar que los sacos quedan correctamente colocados y compactos.

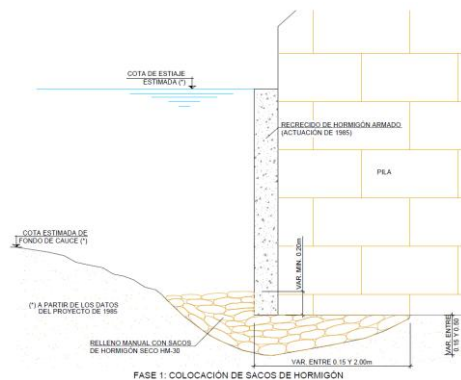


Figura 8. Primera fase. Colocación de sacos de hormigón.

Los sacos deben ser de yute, elemento lo suficientemente permeable como para dejar pasar el agua para que reaccione con el hormigón y este fragüe una vez colocado, pero que se descompondrá con el paso del tiempo.

Para realizar estas operaciones, los buzos tendrían el apoyo de medios flotantes tipo pontona. Estos sistemas permiten el transporte de los sacos y el hormigón hasta las zonas en las que deben ser colocados, sirviendo además de plataforma donde los operarios podrán maniobrar con los sacos necesarios en cada caso.

Una vez recuperadas las geometrías con sacos de hormigón hasta homogeneizar la superficie con la cota de fondo de cauce mediante este relleno, se iniciaría la segunda fase de la reparación, en la que se utiliza un sistema de geosintético relleno de hormigón.

El procedimiento consiste en colocar el geosintético en vacío sobre los sacos de hormigón y entorno a la pila en las zonas de socavación. Este material queda fijado mediante alambres a puntos de anclaje dispuestos en la propia pila o en el fondo del cauce del entorno, así como embebido parcialmente en el terreno en el extremo opuesto a la pila en una longitud de unos 50 cm y en una profundidad de 30 cm aproximadamente. Este trabajo será llevado a

cabo por un equipo de buzos con ayuda de medios auxiliares que transporten el material hasta el lugar de colocación, que en principio serán flotantes, aunque también se podría utilizar una grúa dispuesta sobre el tablero del puente como apoyo a estas operaciones.

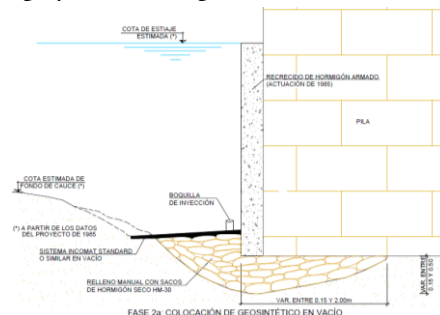


Figura 9. Inicio de la segunda fase. Colocación del geosintético en vacío.

Una vez dispuesto el geotextil, se procede a su relleno mediante hormigón fluido. Este hormigón es vertido desde un camión hormigonera que se encuentre sobre la plataforma y que dispone de mangueras de longitud suficiente para ser conectadas a las boquillas de hormigonado de que dispone el geosintético.

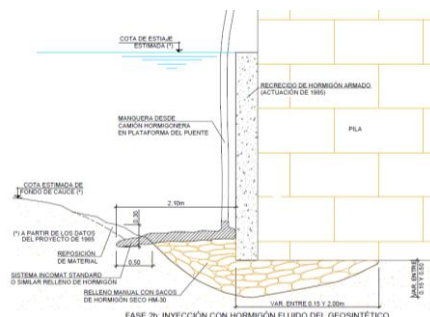


Figura 10. Final de la segunda fase. Llenado con hormigón fluido del geosintético

De este modo, el geosintético queda relleno de hormigón hasta un espesor de unos 14 cm, lo que supone haber ejecutado, de facto, una “losa de hormigón” en las bases de las pilas afectadas por la socavación, sistema que ofrece grandes prestaciones frente a la erosión y a la socavación.

Por último, y para evitar futuras socavaciones en la base de las pilas, se disponen de dos capas de escollera de 200kg en todo el perímetro de la pila, hasta un metro más allá del

final de geotextil, de modo que este también quede completamente protegido.

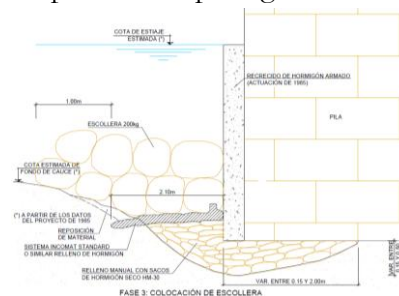


Figura 11. Tercera fase. Colocación de escollera de protección

3.2 Reparación de piezas de fábrica sometidas a procesos de erosión

En primer lugar, antes de proceder a la reparación de dichas piezas se procede a su chorreado mediante abrasivos a baja presión (en el entorno de los 2,5 bares y sin sobrepasar los 3,5 bares), de modo que se retire la suciedad existente en la superficie, sin desbastar esta en exceso. Previamente al proceso de chorreado, se deben realizar las pruebas necesarias en una superficie localizada hasta comprobar que el resultado obtenido es el esperado. Esto tiene una mayor relevancia en estas tipologías de estructuras donde habitualmente se caracterizan por tener un valor patrimonial.

Tras realizar esto, se procede al saneo de estas piezas afectadas que permitan preparar las superficies a reparar. Posteriormente, se comprueba el porcentaje de volumen erosionado de las piezas afectadas con el objeto de decidir la actuación más adecuada para su reparación.

Para los sillares que sufren un grado de erosión superior al 60% se considera más adecuado la reposición de estos elementos con piezas de nueva labra de similares características que permitan recuperar la sección resistente. Un aspecto importante para la reposición de piezas es asegurar que su retirada no altere la estabilidad estructural del conjunto. Por otro lado, se debe cuidar también el tamaño de las piezas como el color ocre del mortero para rejuntado con el fin de guardar los parámetros estéticos de la

estructura, dado el valor patrimonial que suelen tener estas tipologías de estructuras.

Para piezas de fábrica con un grado de erosión inferior al 60% se considera más adecuado realizar una reconstrucción de la geometría que para ello se empleará un mortero de cal hidráulica natural y eco-puzolana que, a diferencia de morteros de cemento, cuenta con una excelente permeabilidad. Este mortero empleado para la reconstrucción debe también mantener un aspecto superficial que no altere la estética de la estructura. El procedimiento de reparación mediante reconstrucción de la geometría presentará variaciones según las dimensiones y espesor del hueco a rellenar que se expondrá a continuación. Para huecos de hasta unos 30-40 mm de profundidad, podrán ser tratados directamente con mortero de cal hidráulica natural y Eco-puzolana, disponiéndose de una capa de hasta 40 mm de espesor.

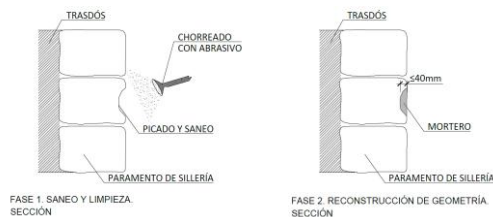


Figura 12. Recuperación de geometría de piezas para huecos inferiores a 40 mm.

Sin embargo, debe comprobarse previamente que la masa de mortero es aplicable para esos espesores. Por el contrario, deberá hacerse en capas de menor espesor respecto a la indicada anteriormente.

Para huecos de hasta 150 mm, se deberá incorporar al mortero antes mencionado áridos de naturaleza igual a la del soporte y del tamaño tal que hagan que su trabajabilidad sea la óptima para disponerse en estos huecos.

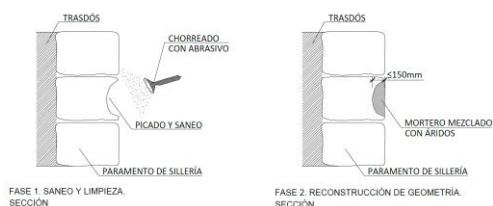


Figura 13. Recuperación de geometría de piezas para huecos comprendidos entre 40 y 150 mm.

Para huecos aún mayores, se deberán realizar una serie de taladros previos en el hueco para posteriormente introducir una varilla en los mismos que ayude a la colocación y trabazón del mortero más áridos. Se harán tantos taladros como el hueco lo requiera dejando un espaciamiento máximo de 0,25 m en las dos direcciones entre los mismos.

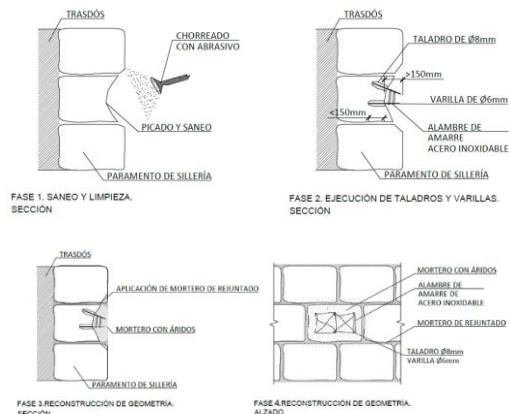


Figura 14. Recuperación de geometría de piezas para huecos superiores a 150 mm.

Finalmente cabe indicar que ante patologías de lavados de llagas o degradación de juntas es habitual proceder a su rejuntado con el mismo tipo de mortero de cal, anteriormente indicado, que también mantendrá criterios estéticos que evite su alteración con el conjunto de estas estructuras con valor patrimonial.

En el caso del puente de Tudela, en el que la pérdida de volumen que presentan algunas piezas era superior al 60%, se procede a la reposición de las piezas afectadas por piezas de nueva labra de piedra arenisca de la zona media (es aquella a la que pertenecen Tafalla, Artajona, Pitillas), que mantiene el aspecto y no supone inconvenientes desde el punto de vista medioambiental. Asimismo, es preciso analizar adecuadamente las dimensiones de las nuevas piezas a disponer: en caso de una pieza localizada no existe duda puesto que se debe reponer el mismo volumen; no obstante, cuando sea necesario reponer un mayor número de piezas se deben colocar piezas de nueva labra que guarden semejanza con el tamaño de hilada y el despiece de la zona en la que se vayan a ubicar.

3.3 Retirada de vegetación enraizada

Por otro lado, frente a la vegetación enraizada se procede a su retirada completa del mismo que, en algunos casos, puede requerir la realización de una tala previa para vegetación de mayor envergadura.

No obstante, la retirada de la vegetación en algunos casos se deberá realizar de forma minuciosa y por procesos muy manuales, llegando a emplear de forma muy puntual productos biocidas en la vegetación enraizada a retirar, que evite comprometer la integridad estructural del puente, como tampoco produzca afecciones a las piezas de fábrica existentes.

4. Conclusiones

Las técnicas de reparación empleadas en la rehabilitación de los puentes de fábrica deben ser adecuadas a la realidad de la estructura que se quiere reparar y a su contexto histórico. A partir de los ejemplos tratados en esta ponencia se ha pretendido consolidar algunos criterios de diseño a la hora de plantear reparaciones en este tipo de estructuras.

Generalmente, los puentes históricos de fábrica presentan **problemas de socavación**. El recalce de pilas con sacos de hormigón es un método poco invasivo y que no requiere la realización de grandes demoliciones previas al adaptarse correctamente a los huecos y oquedades existentes. Además, este sistema es capaz de adaptarse al perfil del fondo de cauce (lo que reduce los asentamientos diferenciales), no necesita encofrado y puede utilizarse incluso en condiciones de flujo de agua, lo que lo hace ideal para su aplicación en puentes sobre ríos y arroyos.

Por otro lado, la **compatibilidad de materiales** es clave para garantizar la durabilidad de la intervención. Algunos cementos modernos (como el Portland) son demasiado agresivos para las fábricas. En su defecto, debe optarse por la aplicación de morteros de cal que son

compatibles químicamente con la fábrica existente al permitir la transpirabilidad y ser un material más flexible que los morteros de cemento. En las intervenciones que por cuestiones estructurales se deban utilizar morteros de cemento, se deben elegir cementos con adiciones de puzolanas naturales o cal hidráulica que reducen su alcalinidad, disminuyen el riesgo de reacciones expansivas y mejoran las propiedades de transpirabilidad.

Por último, se debe tener en cuenta su **valor patrimonial**, lo cual está estrechamente ligado a su estética original ya que su apariencia forma parte fundamental de su identidad histórica, cultural y arquitectónica y es testimonio de la época histórica a la que pertenece. Por ello, cualquier intervención debe buscar un equilibrio entre la funcionalidad y el respeto al diseño original.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer sus contribuciones en el estudio de lo desarrollado en el presente trabajo a Manuel Durán Fuentes y a las Unidades de Carreteras de Soria, Valladolid y Gobierno de Navarra.

Referencias

- [1] Proyecto de reparación y refuerzo del Puente de Tudela sobre el río Ebro en Navarra (Enero 2017)
- [2] Proyecto de humanización e integración urbana del Puente de Piedra de Soria, incluida la rehabilitación, situado en la travesía de la carretera N-234, del P.K. 349+201 al P.K. 349+312. Provincia de Soria (Marzo 2023)
- [3] Proyecto de rehabilitación del Puente de Alcazarén sobre el río Eresma. Provincia de Valladolid (Enero 2024)