

CONSOLIDACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS PUENTES DE SERRANOS Y DE LA TRINIDAD DE VALENCIA. PROCESO Y ENSAYOS DE PUESTA EN OBRA

Luis Bosch Roig, Ana Navarro Bosch, Arturo Martínez Boquera, Adolfo Alonso Durá e Ignacio Bosch Reig
 Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia.
 Análisis e intervención en la arquitectura monumental e histórica

AUTOR DE CONTACTO: Luis Bosch Roig, luibosro@arq.upv.es

RESUMEN: *En el presente artículo se describe el método seguido para la consolidación estructural de los puentes de Serranos y Trinidad de Valencia, que presentaban importantes grietas paralelas a los arcos en su unión con las bóvedas y en algún caso una fuerte deformación con descenso de sillares. El proceso ha consistido, por un lado en la limpieza, relleno y cosido de las grietas mediante anclajes de 2m de longitud, de fibras aramídicas, y por otro en el atirantado de las bóvedas deformadas mediante anclajes de 11m de longitud, de acero. Asimismo, se describe el programa de ensayos para determinar las características físico-mecánicas de los materiales a emplear, su comportamiento en condiciones reales, y su proceso de puesta en obra.*

PALABRAS CLAVE: ensayos de puesta en obra, consolidación estructural, control, anclaje, grietas

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del proyecto de Conservación y Restauración de los puentes históricos de Serranos y de la Trinidad, destaca como parte esencial la consolidación estructural. Es este un tema fundamental pues de él depende asegurar la estabilidad del monumento en el futuro. (Roig, P, 2008: 146-154)

Durante la fase de proyecto se realizó un completo programa de inspecciones en el que se incluía un estudio geotécnico del terreno, catas geotécnicas de reconocimiento de la cimentación existente, una cata transversal en la cara superior del tablero para reconocer su estructura interna, reconocimiento y toma de datos de grietas, fisuras, desprendimientos y desplazamientos, y extracción de muestras para la realización de ensayos que reconocieron las características físico-mecánicas de los materiales que componen la estructura del puente. (Boquera, AM et al, 2007: 497-505)

Con todo ello se pudo determinar por un lado la diferente configuración de las cimentaciones de ambos puentes, losa continua de hormigón ciclópeo de 1,80 m de espesor en el Puente de la Trinidad y losa discontinua formando zapatas de 1,40m de profundidad en el Puente de Serranos, y constatando en ambas que no presentaban ningún tipo de patología. Que la estructura interna del tablero está formada por un vaso de piedra relleno de hormigón de cal y canto de gran resistencia, muy reducido en los laterales debido al paso de gran cantidad de instalaciones por las aceras.

El cuadro fisurativo mostró una fuerte fisuración en los laterales del puente, siendo de mayor importancia en los vanos más próximos a los estribos. Por último el estudio de las muestras determinó que la piedra había experimentado una disminución sustancial de la resistencia a compresión desde los 45,9 N/mm² en cantera a 5,15 N/mm² en el puente de Serranos, y una disminución de la densidad pasando de 2.346 Kg/m³ a 1.734 Kg/m³ en el mismo puente, resultados similares

se obtuvieron en el puente de la Trinidad. (Martínez, A et al, 2006: 1849-1865)

A continuación se realizó un análisis del comportamiento estructural a través de su simulación mediante un programa de cálculo tridimensional por elementos finitos que determinó que las fisuras-grietas lineales de las bóvedas que aparecen paralelas a los arcos eran debidas a las tensiones horizontales centrífugas derivadas de las operaciones de frenado, aceleración y giro de los vehículos del tráfico rodado que durante décadas han actuado sobre el puente.

Para frenar el incremento de las fisuras-grietas y estabilizar el proceso de deformación de las bóvedas, se proyectó su consolidación estructural mediante la realización del cosido del arco (fisurado) al tablero, con la inserción de varillas de fibras aramídicas (al 50% con resina epoxi), de 6/7 mm de diámetro, dispuestas en perforaciones de 15 mm de diámetro rellenas con resina epoxi de la casa Mapei, combinando Adexilex P61 y Epojet en la proporción 3/1. Estas varillas deberían resistir una carga de rotura a tracción de 2Tm/ud. Los anclajes se deberían situar en el centro de las dovelas del arco de borde, a 30 cm de la cara inferior de la bóveda, repartiéndose en las 3/5 partes centrales del citado arco, en los vanos fisurados, disponiendo de una profundidad de anclaje-varilla de 2m. Estas dimensiones quedarían condicionadas a la realización de ensayos característicos y de ensayos de puesta en obra. Previamente, para la correcta ejecución del cosido de fisuras, se debería proceder a la limpieza y posterior relleno de todas y cada una de las grietas y fisuras existentes en las bóvedas, procediendo desde la parte inferior o desde la superior, previo sellado de la grieta, en su zona inferior. (Boquera, A.M. et al, 2007: 497-505)

2. ENSAYOS PREVIOS A LA PUESTA EN OBRA

A la hora de afrontar la puesta en obra de la solución proyectada se decidió, en primer lugar, realizar todos los ensayos pertinentes para determinar si los materiales y procesos elegidos en el proyecto eran

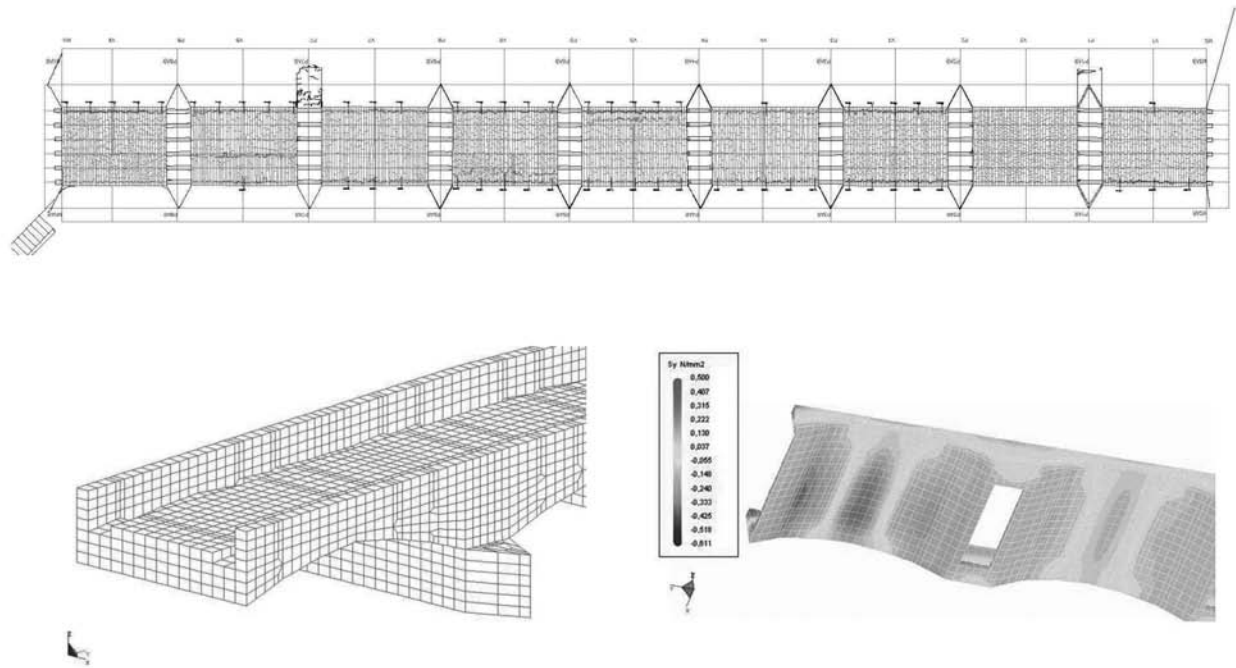


Figura 1. Cuadro fisurativo y análisis estructural del puente de Serranos.

los adecuados para alcanzar el resultado deseado, en las condiciones reales de la obra. Los ensayos realizados se pueden organizar en dos tipos, ensayos en laboratorio y ensayos en obra. Los primeros se han dirigido hacia la caracterización de los materiales a emplear, mientras que los segundos se han planteado para verificar la adecuación de los procesos de puesta en obra proyectados. (Roig, P., 2005: 137-158).

2.1 ensayos en laboratorio

Dentro de los ensayos ejecutados en laboratorio se encuentran los realizados sobre el mortero de cal para el relleno de las grietas, las resinas a emplear en el relleno de los anclajes, y las varillas de fibras aramídicas de los anclajes.

2.1.1. Ensayos sobre el mortero

Los ensayos del mortero de cal trataron de establecer, de entre tres tipos diferentes, cuál era el que mejor respondía a las condiciones exigidas en el proyecto-obra. Se trataba de reconocer las características resistentes de del mortero, su nivel de fluidez-viscosidad, con determinación de la facilidad de penetración en los huecos-fisuras, y consiguientemente, su capacidad de auto-nivelación, y por último, determinar el grado de control de la retracción, de forma que nos permitiera asegurar que el mortero en su proceso de fraguado, no se separara del soporte, y no dejara nuevos huecos-fisuras con el mismo.

Para ello, se decidió hacer ensayos de resistencia, viscosidad y expansión. Los tres morteros ensayados fueron "Lumen", "Petratex", "Albaria Strutura", siendo el Albaria Strutura el que mejores resultados produjo para las condiciones establecidas, gracias a su menor retracción y a la mayor similitud de su resistencia a compresión con la de la piedra tosca. En los ensayos de resistencia a compresión en laboratorio de los morteros, la resistencia media de rotura a 28 días fue de 1,26 N/mm² para el mortero Lumen, 7,0 N/mm² para el mortero Albaria Strutura, 4,8 N/mm² para el mortero Petratex. La resistencia del mortero Albaria se asimilaba más a la resistencia de la piedra, variable entre 5,15 y 8,3 N/mm², lo que aseguraba una mejor compatibilidad de comportamiento entre ambos materiales.

Por otro lado se realizaron ensayos de control del mortero

puesto en obra. La resistencia de las muestras extraídas fue de 8,5 N/mm² en la lechada de relleno de grietas y 11,1 N/mm² en el mortero, notablemente superior a la obtenida en los ensayos de laboratorio.

2.1.2. Ensayos sobre la resina y la varilla

Los ensayos realizados sobre las resinas epoxi, trataron de reconocer tanto las características resistentes de las mismas, como su capacidad de unión-anclaje con el material pétreo que conforma el puente.

Del mismo modo, los ensayos realizados sobre las varillas de fibras aramídicas consistieron en determinar su capacidad resistente a tracción. De esta manera se verificó la correcta elección del tipo de varilla, de su composición y de su geometría, capaz de soportar un esfuerzo a tracción suficiente para cumplir con los cálculos establecidos. En las tres muestras ensayadas los extremos fueron recubiertos con 30cm de resina epoxi para evitar el posible deslizamiento y aplastamiento de la varilla producido por la presión de las mordazas.

Los ensayos determinaron que la resistencia a tracción viene dada por la resistencia frente al deslizamiento que es capaz de resistir el recubrimiento de arena de cuarzo de las varillas. Para una longitud de agarre de 30cm, al menos 25 KN de fuerza de tracción quedan garantizados. Ello supone encontrarnos claramente del lado de la seguridad, ya que la resistencia determinada en los ensayos es superior a la indicada en el proyecto con el coeficiente de seguridad incluido, que era de 20KN. Lo que supone una seguridad adicional del 25%

2.1.3. Ensayos del anclaje

Igualmente, era importante reconocer la capacidad resistente del anclaje en sí mismo, es decir, de la unión varilla-resina-material pétreo, confinada la varilla dentro de una perforación de 15mm de diámetro, y al menos 20 cm de profundidad, de forma que no deslizara al aplicarle la carga. Para ello, se realizó cuatro ensayos de Pull-out (arrancamiento), sobre la obra real, asegurando las condiciones de ejecución. Para realizar el ensayo se dispuso un tubo metálico con una tuerca, adherido a la fibra mediante resinas.

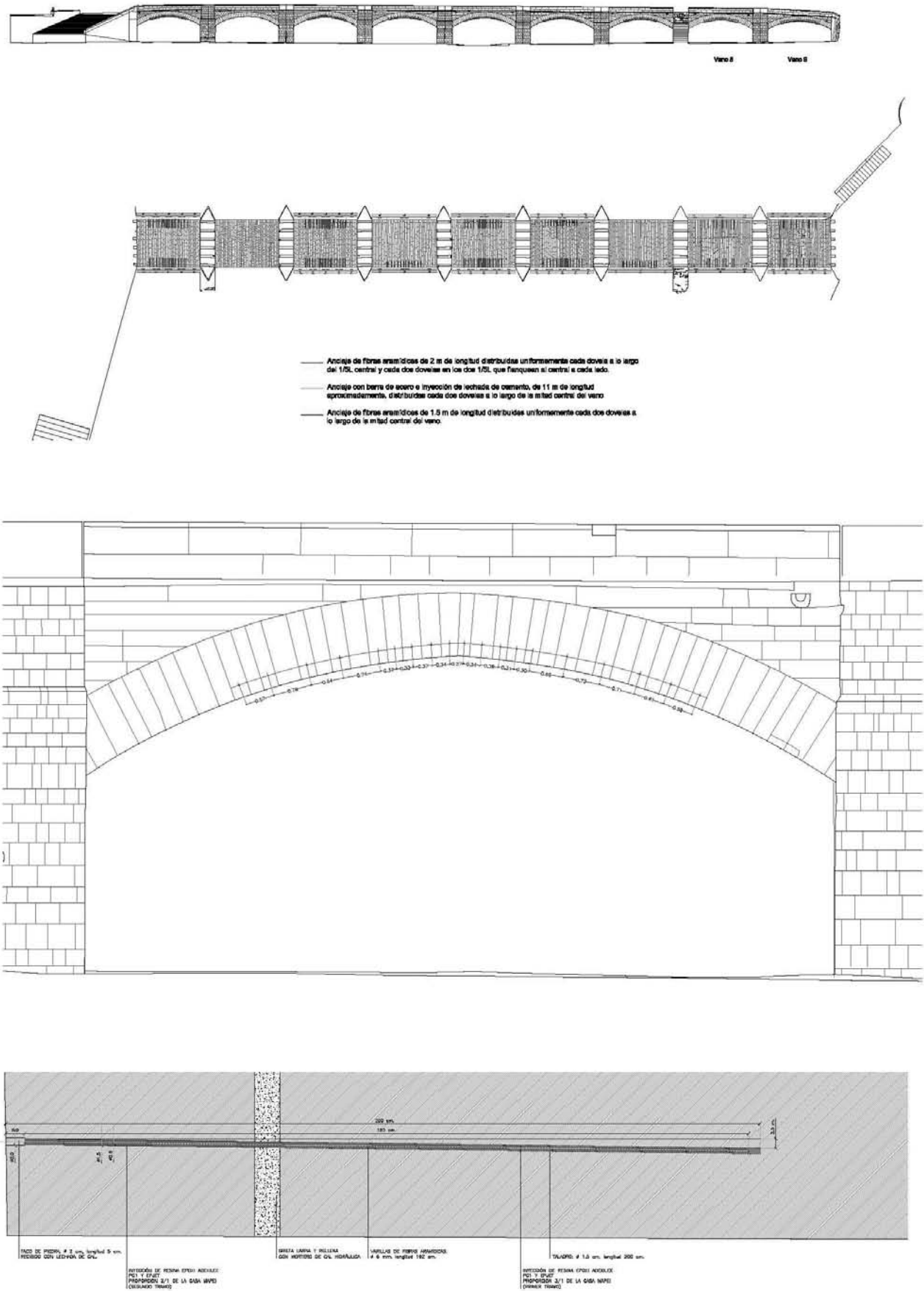


Figura 2. Planos del refuerzo-consolidación estructural del puente de Serranos.



Figura 3. Ensayos de tracción de la varilla; de Pull-Out y de corte del anclaje.

En los ensayos se observó que la fibra soportaba los 2000kg/cm² establecidos en el cálculo, produciéndose una deformación máxima de la fibra de 2,26 mm.

Por último se comprobó la resistencia a corte del anclaje. Para ello se realizaron ensayos consistentes en dos piezas de piedra natural, con características similares a la presente en los puentes, unidas por mortero de cal “Albaria” y cosidas por una varilla de fibra aramídica de 6/7mm de diámetro recubierta con resina epoxi. Estos ensayos se realizaron contemplando tres casos posibles con ancho de junta de 1, 5 y 10cm. De cada uno de ellos se realizaron, a su vez, tres ensayos. En la junta de 1cm se utilizó “albaria

iniezione” para inyecciones, mientras que en los otros dos se empleó el “albaria struttura”.

Las muestras fueron refrentadas con mortero para asegurar una buena transmisión de la carga de la prensa sobre la cara irregular de las piedras, y la disposición de las mismas en todos los casos fue con la dirección de la varilla en dirección vertical y la prensa hidráulica ejerciendo fuerza en dirección horizontal a la altura de la junta. (ver imagen...). Se dispusieron 3 captadores de desplazamiento para medir los deslizamientos durante el ensayo. La piedra inferior fue empotrada, impidiendo su movimiento, mientras que la piedra superior, libre de coacciones, recibió la carga. Los resultados de los ensayos indicaron que la carga última de rotura media



Figura 4. Proceso de sellado y relleno de las grietas.

es de 19.12KN para una junta de 10cm, 31.07KN para una junta de 5cm y 22.9KN para una junta de 1cm.

2.2. Ensayos en obra

Los ensayos realizados en obra, para verificar la adecuación de los procesos de puesta en obra, se ejecutaron con la secuencia completa de consolidación, con tres subprocesos: relleno de las grietas; perforación para el anclaje; y ejecución del anclaje. Con ello, se pudo verificar su bondad, y ajustar sus procesos a las condiciones reales de ejecución.

Cabe señalar, que para verificar los resultados del cálculo

estructural, se planteó la realización de un ensayo de carga dinámica, sobre el tablero del puente. Se diseñó el protocolo del ensayo, utilizando un camión de 20T, realizando operaciones de aceleración, frenado en seco, giro brusco y ascenso-descenso del bordillo. Se dispusieron sensores extensométricos en las grietas de los dos primeros vanos, para determinar su influencia, en la variación dimensional de las mismas.

Los resultados del ensayo, determinaron la relación directa entre las operaciones de aceleración, frenado en seco y giro brusco, con el movimiento de las grietas, por lo que se determinó la necesidad de proceder a su nueva realización, una vez terminada la consolidación,

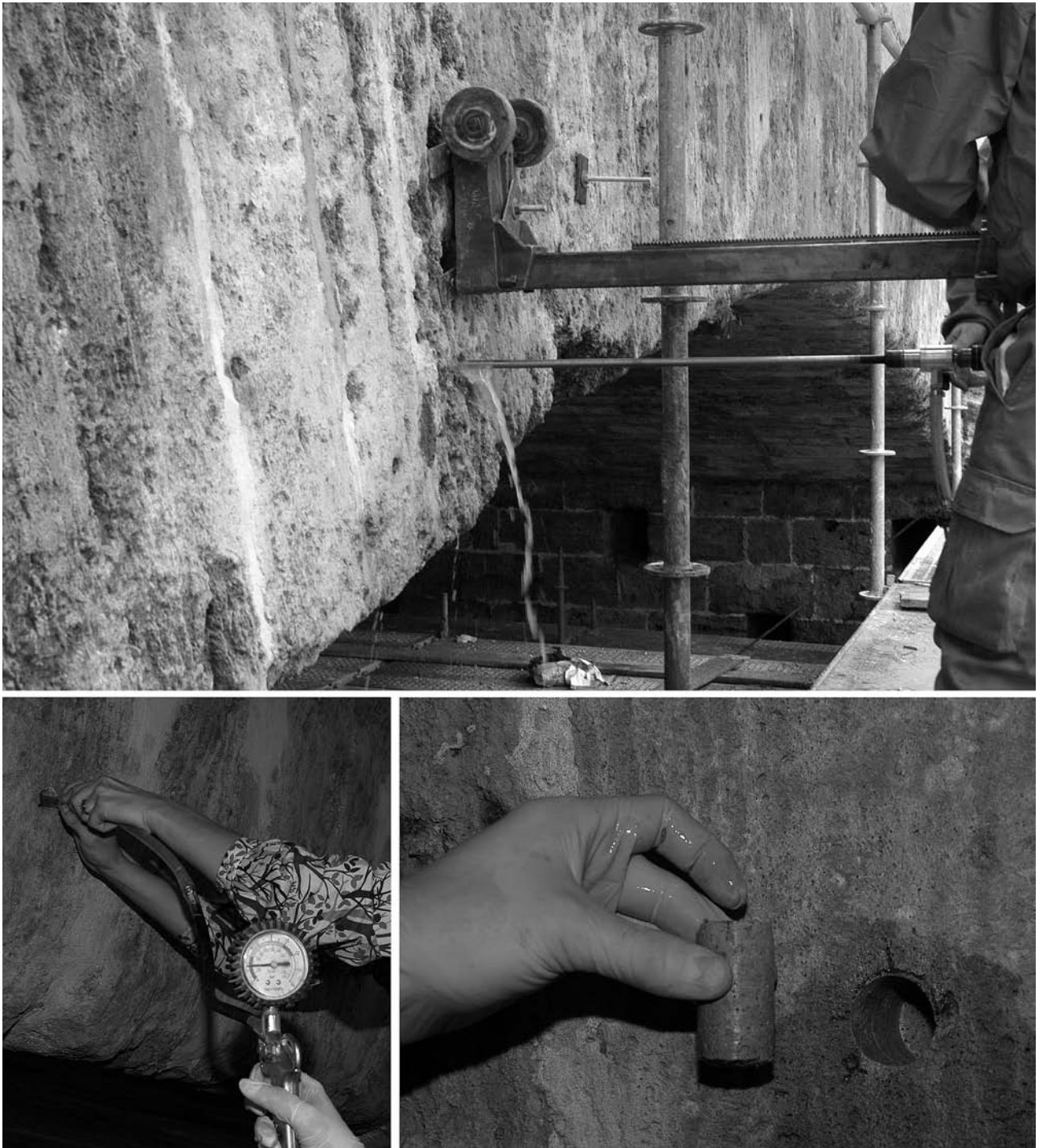


Figura 5. Proceso de perforación para la consolidación estructural

para con ello, poder verificar la eficacia de la solución adoptada.

3. PROCESO DE PUESTA EN OBRA

3.1. Limpieza y relleno de la grieta

En primer lugar se procede a la limpieza y posterior relleno de todas y cada una de las grietas y fisuras existentes en la bóveda, previo sellado de la grieta por su cara inferior. En este proceso cabe distinguir entre dos tipos de grietas, aquellas que tienen continuidad en todo el espesor del tablero del puente, y aquellas que no lo tienen, siendo en las primeras la forma de actuar mucho más sencilla ya que se puede

trabajar desde la parte superior. El proceso de limpieza debe eliminar el máximo de mortero suelto y suciedad existente. Se realiza en primer lugar de forma manual hasta la máxima profundidad posible, y posteriormente mediante aire y agua a presión hasta que la grieta queda bien limpia.

El proceso de relleno debe colmatar el espacio de grieta existente. En primer lugar se sella la grieta en la parte inferior mediante un fondo de junta de material elástico a base de perfiles cilíndricos de espuma de polietileno de célula cerrada. Si la grieta es muy ancha, de más de 3cm, se coloca una malla continua de fibra de vidrio anclada con varillas también de fibra de vidrio de 3mm de

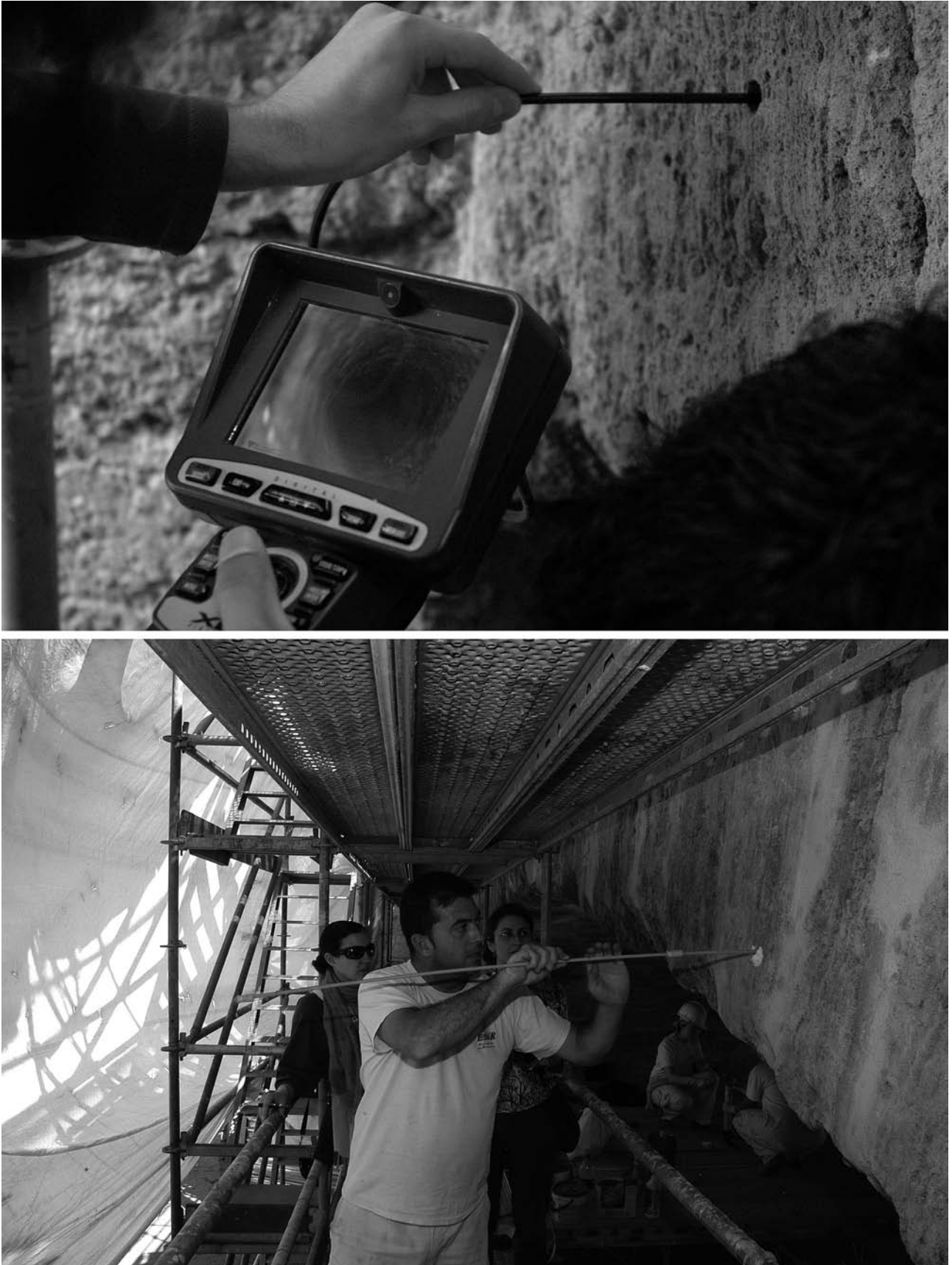


Figura 6. Inspección con videoendoscopio y colocación del anclaje de fibra aramídica.

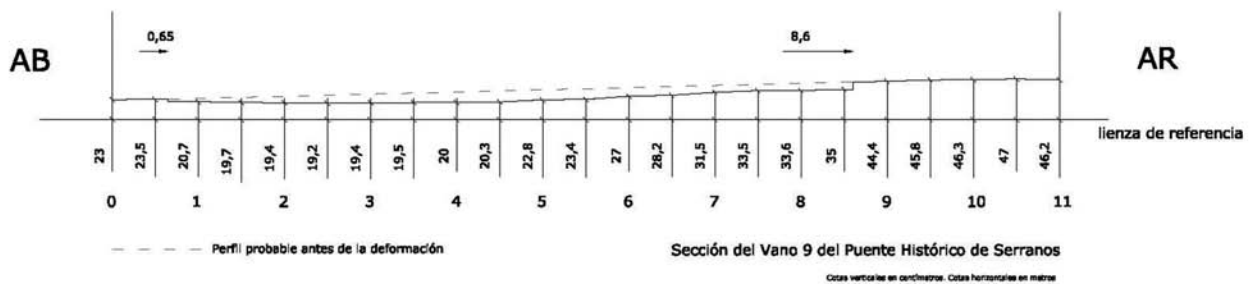


Figura 7. Bóveda vano 9 del puente de Serranos: deformación y geometría.

diámetro, que se sitúan cada 5cm de manera que el mortero de cal de rejuntado, quede perfectamente adherido al sellado y no se fisure ni se desprenda.

Posteriormente se vierte el mortero de relleno, desde la parte superior, en el caso de las grietas pasantes, o se inyecta desde la parte inferior, en el resto de grietas. En el primer caso se empleó el mortero “Albaria Strutturata”, de la casa Basf consistente en un mortero premezclado de cal hidratada y metacaolín aplicable con paleta o por vertido.

En el caso del relleno por inyección desde la parte inferior se procedió, realizando perforaciones verticales de 15mm de diámetro y longitud variable, hasta 1,50m, situadas cada 2 sillares, y, una vez limpias, se introducía el mortero, de abajo hacia arriba, mediante la ayuda de un calderón de presión. En este caso el mortero empleado fue el “Albaria Iniezione”, de la

misma casa, consistente en una lechada superfluida de mortero de cal hidratada y cargas puzolánicas.

Finalmente queda el rejuntado de la grieta con mortero de cal. Dicho rejuntado se realizó en dos fases. La primera ejecutada antes de rellenar las grietas, de forma que quede el sellado de las mismas, con consistencia suficiente. Su aplicación consiste en humedecer la superficie con agua desionizada, y aplicar con espátula el mortero de base compuesto por cal hidráulica y arena en la proporción 1:3. La segunda fase, aplicada una vez rellenas las grietas y fraguado el mortero de relleno, se ejecutó, humedeciendo con agua desionizada la superficie del mortero de la primera fase, y aplicando el mortero de acabado de cal grasa y cal hidráulica mezclado con arena, de forma que cuando inicia el proceso de fraguado y está “tirante”, se saca el grano con cepillo y se vuelve a humedecer para reforzar el proceso de carbonatación.

3.2. Anclaje

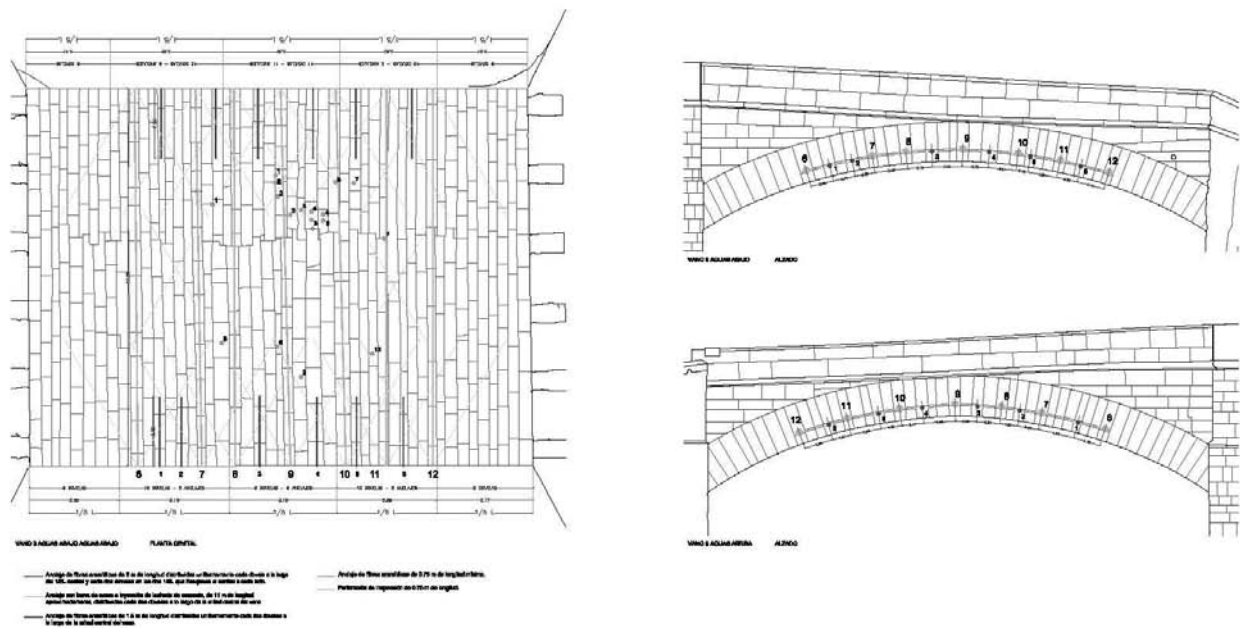


Figura 8. Posición de los cosidos en la bóveda del vano 9 de Serranos.

Tras las operaciones indicadas de relleno de las grietas, y tras comprobar que el proceso de fraguado del mortero de relleno avanza adecuadamente, de forma que el mismo alcanza ya una adecuada resistencia, se procede a la ejecución de los procesos de anclaje por cosido con varillas de fibras aramídicas. Este proceso se realizó con la siguiente secuencia:

En primer lugar se procede a la extracción de un tapón de piedra de 2 cm de diámetro y 5 cm de profundidad, que tras su siglado y referenciado, se almacena en lugar seguro y protegido. A continuación, se emplaza la máquina de perforar, disponiéndola de forma que la dirección de la perforación no sea horizontal, sino con una pendiente de 1°, de forma que se facilite el posterior relleno de resina, evitando su desbordamiento.

Posteriormente se procede a realizar la perforación, de 2 metros de longitud y 15 mm de diámetro, mediante brocas macizas helicoidales, de sucesivos tamaños hasta la profundidad de 1,20m (máxima longitud existente en el mercado para este tipo de broca), utilizando a continuación, brocas cilíndricas huecas, con cabeza de diamante, ventiladas y refrigeradas por agua, con sucesivas longitudes, hasta alcanzar los 2m de profundidad. A continuación se procede a la limpieza de la perforación, mediante aire a presión y aspiración, siempre de dentro a fuera. Una vez limpia, se realiza la inspección utilizando un video-endoscopio de la casa Everest-Vit, que dispone de una sonda flexible de 6mm de diámetro y 2,00m de longitud. Con la inspección se comprueba que las perforaciones se han realizado correctamente y que no existen restos de polvo o partículas sueltas, reconociendo y localizando la existencia de huecos-fisuras internas laterales, que hay que rellenar.

En función del estado de la perforación se determina el tipo de resina a emplear en el anclaje. Así pues si la perforación presenta muchas coqueas, se emplea resina densa, y en caso contrario se emplea resina fluida. En cualquier caso se debe controlar la cantidad de resina que entra, ya que puede haber una oquedad por la que esta se pierda

indefinidamente. Nada más colocar la resina se introduce la varilla de fibras aramídicas, a la que se le han colocado tres separadores que aseguran que la resina rodee toda la varilla. Una vez fraguado, se vuelve a colocar el tapón de piedra correspondiente, tratando la superficie para que quede lo más integrada posible.

4. EL CASO DE LOS VANOS 8 Y 9 DEL PUENTE DE SERRANOS

Durante la obra se detectó un problema estructural añadido, presente en las bóvedas de los dos últimos vanos del puente. Al montar el andamio y una vez limpiadas las bóvedas, se pudo tener acceso próximo y directo al puente, lo que permitió su observación detallada.

4.1. Descripción de la deformación y solución propuesta

Las grietas presentes en el vano 8 no se limitaban exclusivamente a las de los laterales, sino que también se presentaban grietas en el centro del vano. En el vano 9 se reconocieron desplazamientos de sillares de hasta 10 cm, y en ambos, deformaciones geométricas de la bóveda que evidenciaban problemas estructurales de mayor calado que los de los otros vanos. Efectivamente, al observar la sección transversal del vano 9, se aprecia un descenso de entre 3 y 13cm, en una longitud de 8m de bóveda, debido a un desplazamiento hacia el exterior de los arcos laterales.

Tras analizar la geometría, su deformación y su cuadro fisurativo, se realizó de nuevo un estudio de su comportamiento estructural, concluyendo en la misma dirección que el resto de vanos, siendo su mayor deformación derivada de su posición respecto de la entrada del tráfico. Para su resolución, se diseña una intervención estructural que impida que siga deformándose “abriéndose como una acordeón”. Se plantea el cosido pasante de 11m, de parte a parte, de los vanos 8 y 9 mediante 5 y 7 anclajes respectivamente, con varillas de acero de 2,5cm de diámetro, dispuestas en perforaciones de 8 cm, de diámetro, rellenas posteriormente con lechada de cemento. Estos anclajes deberán situarse en el centro de la dovela, a una distancia de 30 cm de la arista del arco,



Figura 9. Ensayo de perforaciones de 11m, su ejecución en el puente.



Figura 10. Proceso de colocación y tesado de las barras de acero de 11m.

intercalándose entre ellos, los anclajes de 2m, ya descritos.

En su ejecución, en primer lugar se sigue el proceso ya explicado para el cosido mediante anclajes de 2 metros de profundidad, y posteriormente se procede a la realización de las perforaciones de 11 metros de longitud y 8 cm de diámetro.

4.2. Banco de ensayos

Para asegurar la correcta alineación de las perforaciones a realizar, donde estaban prefijados el punto de entrada y el de salida, se planteó la necesidad de la construcción de un banco de ensayos, en la obra, consistente en un muro de ladrillo macizo de 1m de altura 0,50m de anchura y 11m de longitud, para realizar sobre él, los ensayos necesarios. En el extremo del muro de ladrillo se colocó un sillar de piedra para simular las condiciones de anclaje de la máquina presentes en el puente. Con la colaboración de profesores especialistas en topografía, se definió y calibró, el sistema de alineación, consistente en establecer un punto de referencia, detrás de la máquina perforadora, que mediante la ayuda de un puntero laser, guíe el taladro. Este punto de referencia debe tener una relación concreta con los puntos de entrada y salida del taladro, de tal manera que conocidos estos puntos, se obtenga el punto de referencia. Y por lo tanto, una vez definidos los puntos de referencia y de entrada del taladro, el punto de salida debe ser el punto establecido inicialmente. (Bosch, L. et al, 2008: 709-714).

4.3. Aplicación del proceso

Definido el sistema de alineación de la perforación se procede a aplicar el proceso establecido, en los vanos afectados. En primer lugar se realiza la extracción del tapón de 11 cm de diámetro. Este tamaño viene definido por la dimensión de la placa de reparto del anclaje,

formada por un disco de acero de 10cm de diámetro. A continuación, y tras disponer los puntos de referencia de la alineación, se procede a situar correctamente la máquina de perforar, sobre una guía-raíl de 1,00m de longitud, anclada al propio arco de piedra. La perforación se realiza por rotación, con brocas de tubo cilíndrico de 8cm de diámetro y 50cm de longitud, que se van roscando unas a otras, hasta alcanzar la longitud de perforación de 11m. Una vez realizado el taladro, se coloca la varilla de acero, se rellena con lechada de cemento mediante bombeo, y se le aplica la tensión al anclaje, mediante llave dinamométrica. Esta tensión será la necesaria y suficiente para que el anclaje entre en carga. Ya por último se procede a la colocación del tapón de piedra y su tratamiento de terminación, para su integración textural y cromática.

Por otro lado se tuvieron que anclar los sillares desplazados para evitar que con futuros movimientos pudieran seguir desplazándose. Esto se hizo siguiendo el mismo proceso que en los cosidos horizontales pero con la dificultad del cambio de orientación. Al inspeccionar mediante el videoendoscopio las perforaciones realizadas para los anclajes se observó que el espacio dejado por el sillar en su desplazamiento ya había sido rellenado en otra intervención, de hecho era posible observar restos de los puntos de inyección, pero en aquel caso no se había previsto ningún anclaje.

5. CONCLUSIÓN

El proceso de consolidación, de los puentes de Serranos y de la Trinidad, llevado a cabo ha intentado resolver un problema grave de estabilidad tratando de ser lo más respetuoso con el monumento. De tal manera que una vez finalizada la intervención se ha conseguido que exteriormente no se aprecien marcas de la operación. (Bosch, I., 2008: 137-158)

Los trabajos realizados ponen freno al avance de la deformación, pero como

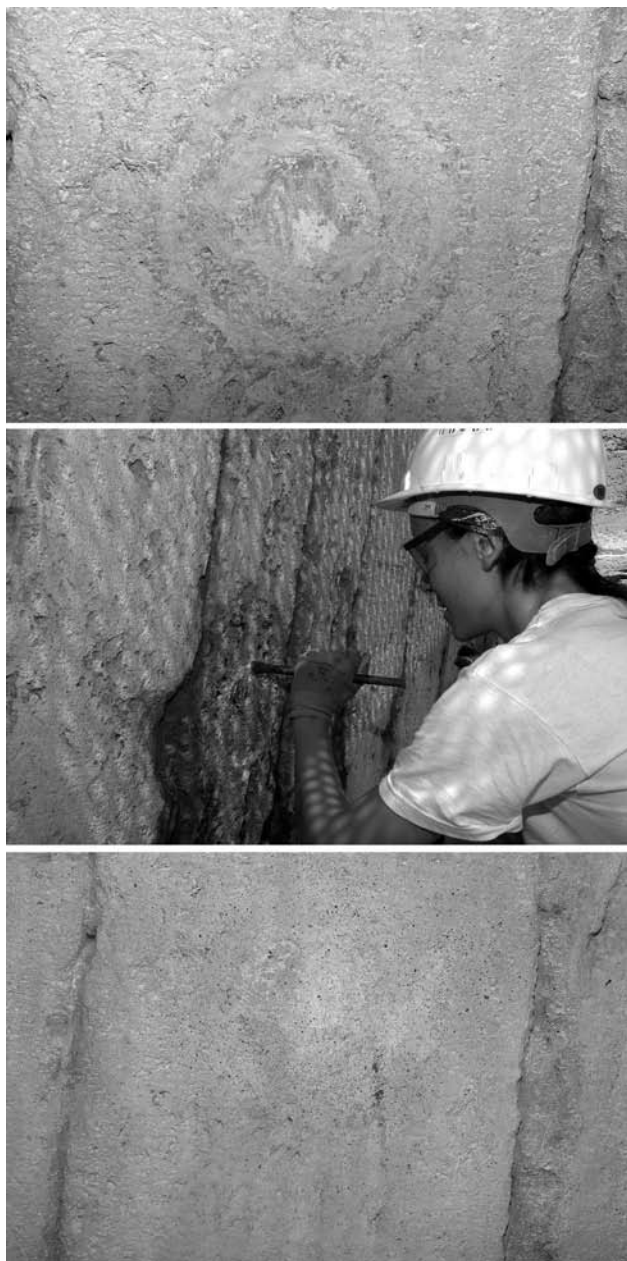


Figura 11. Proceso de restitución e integración cromática del tapón de piedra.

se cita en el proyecto, la configuración estructural de los puentes no puede asumir indefinidamente las cargas derivadas del tráfico rodado, haciéndose necesario en un futuro próximo su reducción o incluso su eliminación total.

Es también relevante indicar que desde los poderes públicos se deben controlar las actuaciones que se realicen sobre los puentes, ya que como se ha podido observar en nuestro caso, la colocación de instalaciones en las aceras ha colaborado de manera determinante en el daño estructural.

AGRADECIMIENTOS

El presente artículo se desarrolla en el marco de las investigaciones derivadas de la concesión, por el Ministerio de Educación y Ciencia, del Proyecto de Investigación del Plan Nacional, referencia: BIA 2005-09377-C03-01.

Los autores del artículo, desean dejar constancia de su agradecimiento a las personas y empresas que con su colaboración han ayudado al buen fin del trabajo expuesto.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

Amoroso, G.G. y Fassina, V. (1983): *Stone Decay and Conservation*, Elsevier, Amsterdam.

Bosch Reig, I. (2006): *Intervención en el patrimonio: Análisis tipológico y constructivo. El caso de la Real Capilla de la Virgen de los Desamparados de Valencia*, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Capitel, A. (1988): *Metamorfosis de los monumentos y teorías de la restauración*, Alianza, Madrid.

García Gallego, J. (1994): *Técnicas aplicadas de limpieza, consolidación y restitución, en Tratamientos y Conservación de la piedra en los monumentos*, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid, Madrid, 65-82.

Gómez González, M. L. y Gómez Espinosa, T. (2001): *Composición y características técnicas de adhesivos aplicados a la Conservación y Restauración. Aplicación de adhesivos en el tratamiento de obras de patrimonio pictórico, documental, arqueológico y etnográfico*, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Sevilla.

Lazzarini, L. y Laurenzi Tabasso, M. (1986): *Il Restauro della Pietra*, CEDAM, Padova.

Mas i Barberá, X. (2006): *Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Roig Picazo, P. (2005): *Estudio técnico, analítico y estilístico de obras de arte*, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Capítulos de libro

Bosch Reig, I. (2008): 'La transformación y la innovación claves en la permanencia de la arquitectura', en *Il pensiero di Cesare Brandi dalla teoria alla pratica*, Lurano, Italia, 137-158.

Roig Picazo, P. (2008): 'La ricezione della teoria e della prassi del restauro di Cesare Brandi in Spagna. L'esempio dell'Università Politecnica di Valencia', en *A 100 anni dalla nascita di Cesare Brandi. Cesari Brandi Oggi Prime ricognizioni*, Il Prato, Saonara (Pd), 146-154.

Artículos en actas de congresos

Bosch, L., Herráez, J., Navarro, P. y Bosch, I. (2008): 'Ajuste topográfico para la consolidación estructural del Puente de Serranos de Valencia', en *Preprints 17th International Meeting on Heritage Conservation*, Valencia.

Fernández, M., Carmona, P. y Bosch, I. (2006): 'Lectura histórica-cultural de los puentes históricos de Serranos y Trinidad' en *Preprints 16th International Meeting on Heritage Conservation*, 2-4 Noviembre 2006, Valencia, 1897-1918.

Martínez Boquera, A., Alonso Durá, A. y Bosch Reig, I. (2006): 'Análisis del comportamiento estructural de los Puentes Históricos de Serranos y Trinidad en Valencia' en *Preprints 16th International Meeting on Heritage Conservation*, Valencia, 1849-1866.

Martínez Boquera A., Alonso Durá A. y Bosch Reig I. (2007): 'Structural analysis for the diagnosis of cracking in the Gothic masonry structures of the vaults of Serranos Bridge in Valencia, Spain', en *5ª International Conference on Arch Bridges*, Madeira, 497-505.

Moreno, E., Navarro, A., Alapont, J.L. y Bosch, I. (2006): 'Lectura urbana de los puentes históricos del río Turia de la ciudad de Valencia' en *Preprints 16th International Meeting on Heritage Conservation*, 2-4 Noviembre 2006, Valencia, 1919-1932.

Navarro Bosch, A., Bosch Roig, L., Roig Salóm, J.L., Doménech Carbó, M^a T. y Bosch Reig, I. (2006): 'Lectura constructivo-tecnológica de los puentes de Trinidad y Serranos de la ciudad de Valencia: materiales pétreos, daños y causas' en *Preprints 16th International Meeting on Heritage Conservation*, 2-4 Noviembre 2006, Valencia, 1867-1884.

Artículos en revistas

Alcalde Moreno, M. y Villegas Sánchez, R. (2003): 'Indicadores de alteración de los materiales pétreos', en *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos. Cuadernos Técnicos n° 8*, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Junta de Andalucía Consejería de cultura, Granada.

English version

TITLE: *Structural consolidation of the Serranos and Trinidad bridges of 'Valencia'. The building work process and tests.*

ABSTRACT: *This article describes the method followed for the structural consolidation of the Serranos and Trinidad bridges of Valencia which presented important cracks running parallel to the arches where they joined the vaults with the occasional strong deformation along with a descent of ashlars. On the one hand, the process consisted in cleaning, filling and closing cracks through 2 m-long anchorages with aramidic fibres and, on the other, in tightening deformed vaults by means of 11 m-long steel anchorages. Likewise, the tests to determine the physical and mechanical characteristics of the materials to be used, their performance under real conditions and the building work process are described.*

KEYWORDS: *building work process tests, structural consolidation, control, anchor, cracks*