

PROYECTOS DE REHABILITACIÓN: SINGULARIDADES

José M. Simón-Talero, Pedro P. Sánchez
TORROJA INGENIERÍA, S.L.

1.- ¿QUÉ ES LA REHABILITACIÓN?

Según la RAE la *REHABILITACIÓN* es el *conjunto de métodos que tiene por finalidad la recuperación de una actividad o función perdida o disminuida por traumatismo o enfermedad*. En el escenario de las estructuras, se podría definir como el *conjunto de métodos que tiene por finalidad la recuperación de la función para la que fue diseñada, perdida o disminuida por una o varias patologías*.

Esta definición tan poco específica se puede considerar que, en un sentido un poco laxo, engloba diversas actuaciones de diferente consideración, consecuencia de:

- La reparación local de uno o varios deterioros.
- La adaptación a nueva normativa (cargas, peraltes...).
- La adaptación a nuevos usos o requerimientos funcionales.
- El ensanche o ampliación de la plataforma, o la prolongación de la estructura.
- El refuerzo de uno o diversos elementos, por incumplimiento de alguno de los estados límite.
- La demolición parcial o total de la estructura, y su posterior reposición.
- La protección de cimentaciones vulnerables frente a la socavación.
- La sustitución de elementos cuya vida útil se ha agotado, o que simplemente no cumplen su función (apoyos, juntas, pretiles, sumideros, bajantes...).

Acorde con lo expuesto, en este documento se trata de las singularidades que conlleva la rehabilitación de los puentes, considerando este sentido amplio de la palabra “rehabilitación”

2.- SINGULARIDADES DE LOS PROYECTOS DE REHABILITACIÓN DE PUENTES

Los proyectos de rehabilitación de puentes se diferencian de los de obra nueva en aspectos fundamentales que hacen que su elaboración sea muy particular. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

- El objeto sobre el que se actúa existe pero, sin embargo, tiene aspectos desconocidos importantes, que afectan tanto a su definición como a su estado de conservación.
- Las obras a definir afectan, en mayor o menor medida, tanto al puente existente como a su entorno.
- La verificación de la validez de la solución que se proponga no puede ser efectuada, a priori y en términos generales, aplicando los mismos criterios que los que se utilizan habitualmente para las obras de nueva construcción.
- La ejecución de la obra de rehabilitación conlleva, en general, el empleo de materiales y de procedimientos particulares.

Los proyectos de rehabilitación de puentes deben, por tanto, contemplar estos aspectos. A continuación se presentan, de forma sucinta, algunas consideraciones relativas a los criterios anteriores que explican por qué, realmente, cada proyecto de rehabilitación constituye un proyecto "singular". Se apoya esta explicación con algunas fotografías y esquemas que, muestran, de forma gráfica, alguna de las singularidades que, a modo de ejemplo y sin ánimo de ser exhaustivo se presentan.

2.1.- Singularidades debidas al "desconocimiento" de la estructura existente

La estructura a rehabilitar es existente y, generalmente, de cierta edad por lo que, en muchas ocasiones, no se dispone del Proyecto de Ejecución que sirvió para su construcción. Esto hace que sea habitual que se desconozca:

- La geometría (general y de detalle) de los elementos estructurales.
- Las condiciones de cimentación (tipo de cimentación y capacidad portante y deformacional del terreno)
- La armadura de los elementos estructurales en el caso, muy frecuente, de que se trate de elementos de hormigón pretensado.

Consecuentemente con lo expuesto, es normal que el Proyecto de Rehabilitación se inicie con una campaña de toma de datos de la estructura existente para poder caracterizarla correctamente. Se entiende que "correctamente"

significa obtener los suficientes datos como para poder cuantificar los parámetros resistentes fundamentales que gobiernan el aspecto estructural en estudio, aunque no se conozca en profundidad todos los datos de todos los elementos. A modo de ejemplo se puede decir que:

- Para poder conocer la capacidad resistente de un arco es necesario conocer, al menos: su directriz, su sección transversal, y la resistencia a compresión de su material constituyente. Por ello la campaña de toma de datos de campo debe contemplar la obtención de esos datos - y se podría añadir que casi ningún otro más – (Figura 1)
- Para conocer la capacidad resistente de una viga o de una losa de hormigón armado o pretensado, se debe conocer: su luz, su canto, su ancho tributario, la resistencia unitaria del acero pasivo y, en su caso, activo, y la posición y cuantía de la armadura dispuesta. Para ello, la campaña de obtención de datos debe ir encaminada a conseguir estos valores (Figura 2), siendo, por ejemplo, mucho menos importante el conocer la resistencia del hormigón de la viga o de la losa, que tiene un influencia en el valor de la capacidad resistente a flexión mucho menos importante.
- Cuando hay que sustituir un apoyo es fundamental conocer la carga vertical que puede actuar sobre él y la deformación que puede tener, desde el instante de su sustitución. Por ello, se debe conocer la geometría del tablero para poder calcular la carga vertical pero, también es fundamental conocer los movimientos reológicos que ya se hayan producido en el tablero y que, por tanto, no generarán ninguna deformación en el nuevo apoyo. Para ello hay que conocer, por tanto, un dato tan simple como la fecha de construcción del puente, para poder estimar las deformaciones de fluencia y retracción producidas hasta el instante de la actuación.



*Figura 1.- Puente de Santa Teresa (Elche)
Investigación del espesor de la rosca del arco*



*Figura 2.- Paso Superior de Autopista
Calas en nervios para conocer la posición y cuantía de la armadura*

Hay que destacar que en todos los casos es imprescindible conocer, aunque sólo sea de forma aproximada, el año de construcción de la obra. Este dato permite hacerse una idea de las cargas y criterios de cálculo que fueron empleadas para su dimensionamiento (si se conoce la Normativa vigente en aquel momento) y de la resistencia unitaria de los materiales constituyentes (que se tienen que corresponder con los que fueran habituales en la época a de construcción).

Por otra parte, muchas veces hay que actuar sobre una estructura porque hay que reparar un deterioro que se ha producido, o en construcción o durante la fase de servicio del puente. Es evidente que antes de definir la reparación hay que caracterizar adecuadamente el deterioro. Para ello se realizarán las inspecciones – visuales o empleando métodos de ensayo destructivos o no – que correspondan, como ya se ha expuesto en detalle en otras ponencias de estas Jornadas.

2.2.- Singularidades debidas a las afecciones que producen las obras a definir

La rehabilitación de una estructura aplica siempre sobre una obra ya construida por lo que la ejecución de lo que se proponga suele afectar a la propia obra. Así, habitualmente, es necesario mantener el tráfico rodado sobre la estructura mientras se acometen los trabajos de rehabilitación, lo que constituye una singularidad muy relevante a considerar en el Proyecto de rehabilitación por los siguientes motivos:

- Puede ser que el puente original fuera calculado con una normativa diferente a la actualmente vigente y que, por tanto, las acciones consideradas no reflejen, con un adecuado margen de seguridad, el efecto del tráfico que, actualmente o en el futuro pueda actuar sobre la estructura rehabilitada.
- La situación transitoria que se produce durante la ejecución de la rehabilitación debe ser considerada de forma que el índice de fiabilidad que se obtenga sea similar al que se produce bajo la actuación de las

“cargas de cálculo que correspondan en la situación persistente de la etapa de servicio. En definitiva, que parece que es adecuado considerar unas cargas diferentes a las “de proyecto” para la situación transitoria de rehabilitación.

Además, durante la ejecución de la rehabilitación:

- El esquema estático de la estructura puede cambiar, con lo que la acción del tráfico puede perturbar la resistencia o la estabilidad de la estructura o de parte de ella.
- La capacidad resistente de alguna sección puede verse reducida temporalmente (por ejemplo, porque se demuelan parte los voladizos de una sección cajón para conectar un ensanche del tablero o porque se corten algunas armaduras al ejecutar algunos taladros en alguna losa de hormigón armado)

Un caso paradigmático de lo expuesto lo constituye, quizá, la “Ampliación del tablero del Viaducto de San Pedro de la Ribera”, obra de ensanche llevada a cabo en los años 2007-2009, y que ya ha sido comentada profusamente en alguna otra Jornada organizada por la ATC (Diseño y concepción de puentes, Madrid, Mayo 2009). La obra original era un puente de 6 vanos de luces $75+4 \times 150+75$ m y 81 m de altura máxima de pilas con el tablero curvo de 700 m de radio y 12 m de anchura de plataforma que fue ampliada hasta 23 m de anchura.

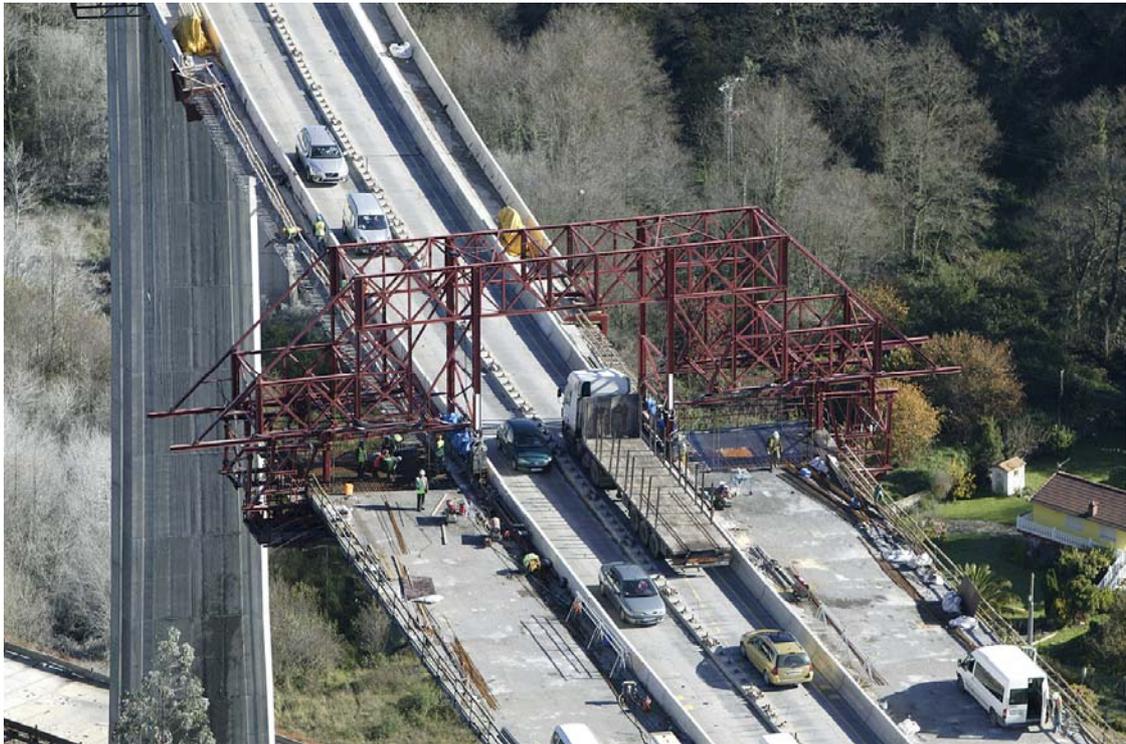


*Figura 3.- Viaducto de San Pedro de la Ribera
Ensanche del tablero (estructura original y ampliada)*

En lo que respecta a la consideración de la acción del tráfico, para el proyecto se consideraron los siguientes criterios de cálculo:

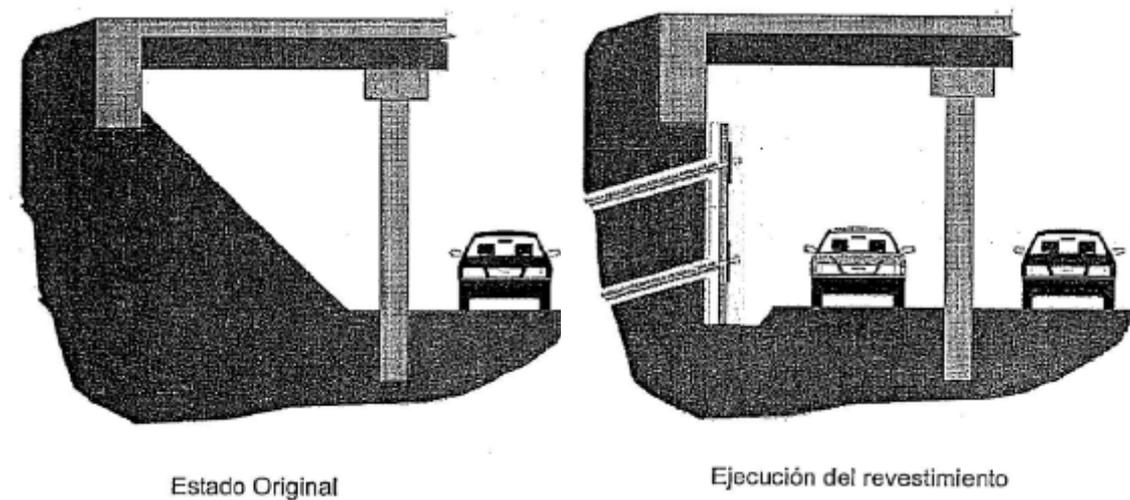
- Durante la ejecución de la rehabilitación se consideraron las secciones resistentes que, en cada fase de ejecución, se producían, de acuerdo con el plan de obra previsto. Para ello se estimó la pérdida de armadura que se producía al ejecutar unos taladros en las losas del cajón existente para permitir el paso del pretensado vertical que posteriormente sería puesto en tensión. (Durante la ejecución se controló la cuantía de la afección de dichos taladros a la armadura pasiva existente).

- Para la comprobación del tablero ya ampliado se tomó como acción del tráfico la de la vigente en aquel momento IAP-98, aunque no fuera la normativa considerada en el proyecto original de la obra existente y aunque no se tratara de una obra nueva sino de la ampliación de una ya construida.



*Figura 4.- Viaducto de San Pedro de la Ribera
Afección al tráfico durante las obras*

En otras ocasiones la afección de la ejecución de la rehabilitación se produce no sobre la propia obra sino sobre su entorno. Esta afección, en muchos casos, debe ser considerada en la elaboración del proyecto porque suele ser un factor condicionante en su definición. Así, por ejemplo ocurre cuando la ejecución de un nuevo vial descalza la subestructura del tablero (Figura 5) o cuando se debe mantener el tráfico bajo el tablero y hay que colocar cimbras porticadas para permitirlo (Figura 6). También se producen situaciones de este estilo cuando hay que disponer apeos provisionales donde apoyar los gatos para proceder a la sustitución de unos apoyos de un paso superior sobre una vía existente o sobre una línea de ferrocarril en servicio.



*Figura 5.- Ramal 3. Variante de Guadarrama
Muro "soil mailing" para evitar el descalce de la subestructura*



*Figura 6.-Paso Inferior en Teruel
Colocación de cimbra pero permitiendo el paso bajo el tablero a reparar.*



*Figura 7.- Paso Superior de Autovía
Apeo provisional para soporte de gatos para sustitución de apoyos.*

2.3.- Singularidades que se producen en la conexión de un nuevo elemento a una estructura ya existente.

Quizá, los dos aspectos más singulares de las afecciones de las actuaciones de rehabilitación son los que se producen cuando se trata de ensanchar un puente y se estudia:

- El reparto de las cargas entre la estructura existente y la parte nueva (refuerzo, ensanche...)
- La conexión de los nuevos elementos estructurales a los ya existentes.

En lo que respecta al reparto de cargas “zona existente-zona nueva” hay que considerar el instante de transferencia de la carga y la rigidez de cada elemento estructural.

El momento en que se hace la transferencia de carga es fundamental para conocer la eficacia resistente de la solución de refuerzo que en cada caso se proponga. Así, por ejemplo si hay que reforzar un tablero de metálico a flexión y se decide hacerlo con bandas de fibra o con chapa soldada, hay que tener en cuenta que, al comprobar la limitación tensional en estado límite de servicio, dicho refuerzo no es eficaz para resistir el efecto del peso propio de la estructura ya que dicha carga ya está actuando antes de que se coloque el refuerzo.

Por otra parte, cuando se emplea un refuerzo (con bandas de fibras o, de forma mucho más acusada si se emplea una estructura metálica adosada), para aumentar la capacidad portante de un tablero de hormigón pretensado hay que tener en cuenta, en el cálculo en estado límite de servicio, la rigidez de dicho refuerzo, con respecto al de la estructura original: si ésta es mucho más rígida

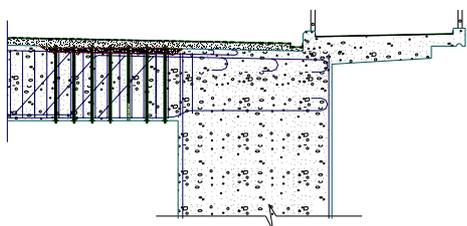
absorberá casi toda la carga adicional y el refuerzo será muy poco eficaz; por el contrario si la estructura original tiene fluencia y el refuerzo no, entonces parte de la carga que originalmente estaba en la estructura existente pasará al nuevo refuerzo cuando ambos se deformen conjuntamente.

Como ya se ha comentado, en muchas actuaciones de rehabilitación se “añade” un nuevo elemento estructural a “otro ya existente” bien sea para reforzarlo o, sencillamente para ampliar el original. La conexión entre ambos elementos es un aspecto muy singular y, a la vez, crítico, de las rehabilitaciones. Cada una de ellas constituye un caso particular, pero, sin embargo, existen algunos aspectos característicos de algunos casos “canónicos” que sí guardan cierta generalidad. Sin ánimo de ser exhaustivo, se puede decir que:

- El reparto de cargas entre el elemento original y su refuerzo es función de cuando se introducen las cargas y, también, de la relación de rigideces de ambos elementos.
- El reparto de cargas entre elemento original y nuevo puede diferir al considerar diferentes estados límite (ELS y ELU)
- En los refuerzos a flexión se debe dar al elemento reforzado suficiente “longitud de anclaje” a partir de la zona donde ya no se hacen necesarios.
- En los refuerzos a cortante se debe asegurar que se transmite adecuadamente el rasante de la zona resistente a tensiones tangenciales (almas) a la que resiste tensiones normales (alas). Si no se asegura el anclaje del refuerzo a cortante en esas zonas (en las alas) el refuerzo no es eficaz)
- Cuando se ensancha un tablero de hormigón armado hay que demoler los extremos de la sección original para poder solapar correctamente las armaduras. Para minimizar la longitud de solape se pueden emplear manguitos, o soldar, si el material lo permite, las armaduras (siempre con un adecuado proceso de soldeo homologado y debidamente controlado)
- Cuando se suelda sobre un elemento ya en carga hay que extremar las precauciones y controlar debidamente el proceso de soldeo homologado que se proponga.
- Cuando se sustituyen los apoyos de un tablero hay que conectar adecuadamente el nuevo apoyo a la subestructura y, en su caso, al tablero. Si el apoyo es del tipo POT hay que demoler parte de la estructura original y reconstruirla posteriormente, para poder colocar los pernos de conexión del nuevo aparato de apoyo.



*Figura 8.-Viaducto de San Pedro de la Ribera
Conexión del ensanche del voladizo superior*



*Figura 9.-Puente de San Telmo
Conexión del refuerzo a cortante*



*Figura 10.-Apoyo de viaducto
Demolición de la zona de apoyo para sustitución de un aparato de apoyo tipo POT*

2.3.- Singularidades provocadas por el proceso de ejecución de la rehabilitación.

Muchas veces una actuación de rehabilitación se ve totalmente condicionada por la “accesibilidad” del elemento sobre el que hay que intervenir. Tal es el caso, por ejemplo, de casi todos los procesos de sustitución de apoyos en que en el correspondiente proyecto original no se consideró tal posibilidad (Figuras 11 y 12).



Figura 11.- Apoyo poco accesible para su sustitución

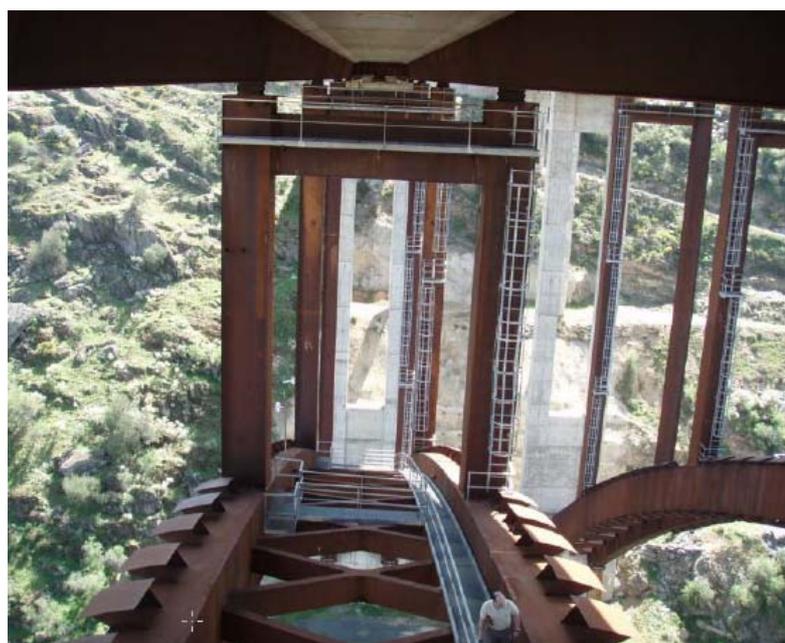


Figura 12.- Apoyo accesible para su sustitución

Las rehabilitaciones llevan en muchos caso al empleo de materiales poco convencionales o muy novedosos. Este aspecto “innovador” plantea singularidades a nivel de proyecto tales como la aplicabilidad de los métodos tradicionales de comprobación a estos nuevos materiales o algunos aspectos relativos a la durabilidad.

Por otra parte, muchas veces durante la ejecución de alguna actuación de rehabilitación, la estructura se puede encontrar en situaciones transitorias de una cierta precariedad en cuanto a su estabilidad o en cuanto a su resistencia. Por ello, es imprescindible que el proyecto considere desde su inicio las posibles fases de ejecución para que así puedan ser consideradas en los cálculos los diferentes estados que se pueden producir y, que en muchos casos, resultan condicionantes.

Por último hay que indicar que la evaluación de los costes de ejecución de una rehabilitación es un aspecto muy singular del proyecto. Muchas veces el “coste material” de la rehabilitación es bajo, porque, aunque los costes unitarios de los materiales sean altos, se utilizan unas mediciones muy reducidas de ellos. Sin embargo, el coste de movilización de los equipos y, sobre todo, el coste de los elementos auxiliares a emplear (en especial si la accesibilidad es reducida o si hay una afección importante al tráfico rodado o de ferrocarril) suele ser muy elevado y debe ser considerado adecuadamente en el apartado correspondiente del proyecto.

3.- ASPECTOS SINGULARES DE ALGUNAS ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN

En el apartado anterior se ha hecho una exposición somera de algunas generalidades relativas a algunos aspectos singulares característicos de algunas actuaciones de rehabilitación. Se trataba de la exposición de algunos criterios generales aplicables en casos canónicos. Por otra parte, es evidente que se podrían enumerar un sinfín de aspectos singulares de actuaciones concretas de rehabilitación y que, dicha enumeración escapa del objeto de este documento. En particular, en ponencias posteriores de esta Jornada se exponen con más detalle aspectos específicos de algunas rehabilitaciones llevadas a cabo últimamente. Además, a título complementario y de modo ilustrativo, se presentan a continuación algunas singularidades producidas en algunas actuaciones “standard” de carácter bastante habitual que han sido ejecutadas recientemente y en las que han tenido oportunidad de intervenir los autores de esta ponencia. Se presentan casos relativos a:

- Reparación de fisuras
- Saneamiento de paramentos

- Sustitución de apoyos
- Sustitución de juntas
- Renovación de pretilas
- Reparaciones relacionadas con la corrosión de las armaduras
- Recalce de cimentaciones

3.1.- Rehabilitación del Puente de San Telmo (Sevilla)

Un ejemplo de rehabilitación integral lo constituye el Puente de San Telmo, en Sevilla, sobre el río Guadalquivir.



Figura 13.-Vista general del Puente de San Telmo

Este puente adolecía de diferentes patologías que bien pueden servir de ejemplo. De forma puramente indicativa, se realizaron multitud de tareas entre las que destacan el sellado e inyección de fisuras, el refuerzo de los nervios del vano central aporticado, con laminado de fibra de carbono, adherido con resina epoxi, hubieron de reforzarse también las vigas del tablero de los vanos en arco, que disponían de un pretensado exterior, en estado precario, de alguna actuación anterior, mediante barras de acero activo, se sanearon los paramentos de hormigón con morteros tixotrópicos y revestimientos anticarbonatación y se renovó por completo la plataforma.



Figura 14.-Vista de la plataforma rehabilitada



Figura 15.-Sellado e inyección de fisuras



Figura 16.-Refuerzo con láminas de fibra de carbono

3.2.- Recalce de las pilas del Puente sobre el río Duero en Boecillo (Valladolid)

Un tanto singular resulta la actuación de recalce sobre este puente. Se trata de una estructura de tres vanos de 67,4 m de longitud total con tablero mixto (no original) isostático de 13 m de luz libre en vanos laterales y 18 m de luz libre en vano central sustentado sobre estribos y pilas de fábrica de piedra caliza que posibilita el cruce de la CN-601 sobre el río Duero. Se verificó que ambas pilas estaban sometidas a procesos de socavación, con síntomas de ligero basculamiento de una de las pilas hacia el lado de aguas arriba posiblemente anterior a la sustitución del tablero. También se detectaban líneas de destrabamiento del tajamar de la misma pila. Una vez confirmada la patología de

socavación y acotados sus efectos al tajamar de la pila de la margen izquierda del río parecía claro que la solución adecuada es proceder al recalce y consolidación inmediata de su cimentación.



Figura 17.-Puede de Boecillo.

Para el recalce y consolidación de la pila, habida cuenta de la configuración de la misma y del cauce en que se encuentra establecida, así como de los daños detectados, lo más adecuado aconsejaba dejar la pila en seco, repararla y construir posteriormente una defensa perimetral de geometría tal que la zunchase y la defendiese de las avenidas del río. Para ello fue preciso en primer lugar la ejecución de una península artificial que permitió, al amparo de una pantalla de tablestacas suficientemente estanca, acceder al contorno dañado de la pila en condiciones favorables y aún a su base para efectuar las oportunas operaciones de recalce.



Figura 18.-Puede de Boecillo. Algunas imágenes del recalce

3.3.- Rehabilitación del Puente de Santa Tresa (Elche)

El puente de Santa Teresa es una estructura de fábrica de sillería, cuya tipología responde a la de arco con tímpano, compuesta por dos vanos de 14 m de luz libre. Cada uno de los vanos está conformado por un arco apuntado de ~11.90 m de flecha. Las boquillas están constituidas por dos y tres roscas, alternando el aparejo a sogas o a tizón, alcanzando un espesor de ~1.30 m. La anchura de las bóvedas es de 9.80 m. La pila está rematada lateralmente por sendas pilastras en forma de prisma triangular recto, de 4.10 m de lado, que se elevan hasta la plataforma, coronándose con sendas hornacinas de piedra cuyos nichos contienen las imágenes de los patrones de la ciudad.



Figura 19.-Puente de Santa Teresa sobre el río Vinalopó

Se confirmó el deficiente estado de conservación del puente debido sobre todo a la ineficacia de los elementos de drenaje y a la inexistencia impermeabilización de la plataforma. La inoperancia de estos dispositivos favoreció la entrada de agua de percolación. La elevada porosidad de la roca matriz componente de la estructura favoreció igualmente la proliferación de alteraciones nocivas para la piedra. Su estructura y relativamente escasa cohesión intergranular eran parámetros claros de su notoria alteración, aumentada por el natural paso del tiempo y por la acción atmosférica, en ocasiones adversa.

Al margen de los deterioros propios de la matriz rocosa manifestados como pérdida o eliminación de materia en la generalidad de los paramentos, cuya severidad de daño empezaba a ser importante, la alteración de una de las bóvedas, manifestada a través del agrietamiento de la fábrica, de orientación longitudinal era un indicador claro de sobresolicitación transversal de la bóveda, acentuada por los fenómenos de percolación de agua, que indica su incapacidad para absorber las

tensiones transversales a las que se ve sometida la fábrica por efecto Poisson, lo cual empezaba a ser sintomático de estructura debilitada.

Dado el estado de desagregación que presentaban las contrabóvedas de refuerzo ejecutadas en una actuación de los años 60 y la evaluación portante realizada, se realizaron diversas actuaciones, tanto de índole estructural, como de índole funcional.

A fin de verificar las propiedades mecánicas de la piedra que conformaba la fábrica se realizaron ensayos de rotura a compresión sobre seis probetas elaboradas perpendicularmente a la generatriz de 6 testigos extraídos de ambas bóvedas.

Se ejecución de contrabóvedas de refuerzo en ambos arcos, previa excavación del relleno sobre bóvedas y ejecución de una base drenante y de un nuevo relleno de zahorra.

Se ejecutó un bulonamiento transversal de las bóvedas con barras $\varnothing 40$ mm con anclaje en ambas boquillas. Además, se realizó el cosido de grietas longitudinales en las bóvedas con barras de acero inoxidable o varillas de fibra de vidrio.

Una de las singularidades para acometer estas actuaciones fue la necesidad de apeaar las bóvedas durante las operaciones de vaciado y posterior relleno. La imposibilidad de disponer cimbras sobre el cauce, por imperativo de la Confederación Hidrográfica, hizo necesaria la ejecución de un cosido longitudinal de las bóvedas mediante barras de acero inoxidable envueltas en un geotextil, que una vez introducidas en la fábrica, se inyectaban con lechada de cemento.



Figura 20.-Perforación e introducción de barras de refuerzo

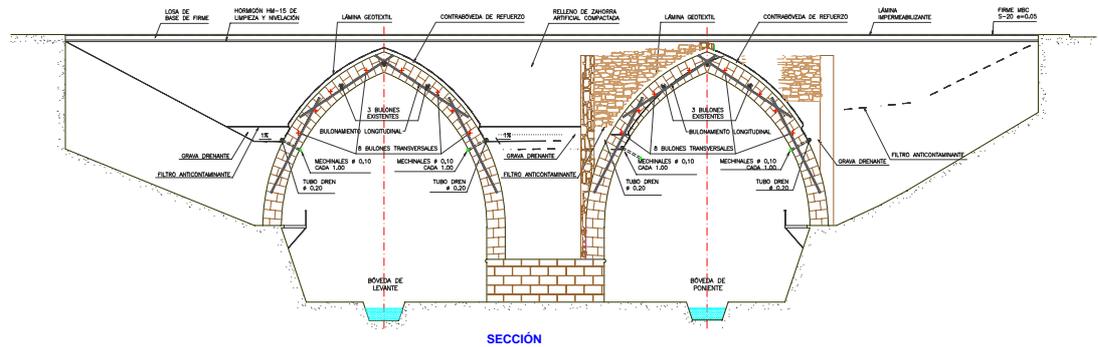


Figura 21.-Esquema de reparaciones

Al margen de esto, resultó igualmente fundamental realizar actuaciones tanto de reparación como de restauración de la fábrica de sillería, orientadas a mejorar la capacidad portante de la piedra y a mejorar la durabilidad de la fábrica, tales como sellado de grietas en paramentos pétreos con formulaciones epoxídicas, limpieza de paramentos mediante la proyección de polvo de vidrio a baja presión, consolidación de la fábrica de sillería con silicato de etilo diluido en etanol a fin de cohesionar la propia sillería, fuertemente degradada, extracción de sales con proyección de pasta absorbente de atapulgita, etc. Por último se realizó una renovación completa de la plataforma.



Figura 22.-Plataforma antes y después de la actuación