ANEJO 18.

PATOLOGÍAS EN LAS ESTRUCTURAS. DETERIOROS EN PUENTES ARCO DE FÁBRICA Y TÚNELES.

ÍNDICE

1. PATOLOGÍAS EN LAS ESTRUCTURAS. DETERIOROS EN PUENTES ARCO DE FÁBRICA Y TÚNELES.....3

2. CONCLUSIÓNES.....10

2.1. PUENTE DE OBRA 03 EN EL P.K. 201+690. 10

2.2. TÚNEL 01.....10

1. PATOLOGÍAS EN LAS ESTRUCTURAS. DETERIOROS EN PUENTES ARCO DE FÁBRICA Y TÚNELES.

Se consulta la "Guía para la realización de inspecciones principales obras de paso en la Red de Carreteras del Estado" del Ministerio de Fomento, siguiendo las indicaciones de dicha guía, en la parte que más se ajusta al proyecto en cuestión.

Los puentes de fábrica son estructuras que, en la mayoría de los casos, han sido construidos hace bastantes años, por lo que han dado sobradas muestras de durabilidad y resistencia a lo largo de su vida. Sin embargo, alguno de estos puentes ha sufrido daños debido a su uso incorrecto, como cargas elevadas y reparaciones dañinas, que no es el caso, o a procesos patológicos que conllevan la necesidad de un estudio específico de su situación actual. Dicho estudio también resulta necesario cuando se pretende adaptar la obra a nuevos requisitos de utilización, a través de la ejecución de ampliaciones, refuerzos o ensanches.

Según el material pueden distinguirse, por su frecuencia, los tipos siguientes:

- Elementos de piedra: sillería y mampostería en sus distintas modalidades: concertada, careada, etc.
- Elementos cerámicos: ladrillos y bloques.
- Bloques prefabricados de hormigón.

Las piedras más utilizadas en construcción, tanto en la actualidad como en épocas pasadas, se sitúan entre las rocas más abundantes en la corteza terrestre, ya que son las que el hombre ha tenido más a mano a lo largo de la historia. En este sentido, las rocas sedimentarias son las que más ampliamente se han utilizado en construcción. Sus yacimientos, formados generalmente por estratos, resultan de fácil explotación. En los últimos decenios, otros tipos de rocas menos abundantes y con procesos de extracción más costosos, han adquirido gran valor y están siendo ampliamente explotadas, como es el caso de granitos, mármoles y pizarras.

En el ámbito de la construcción, las rocas que se utilizan deben ser materiales coherentes, obtenidos a partir de bloques de roca libres de discontinuidades de macizo. Este hecho es uno de los factores determinantes para establecer la aptitud de un determinado yacimiento rocoso para su explotación. Aun así, las piedras empleadas siempre suelen tener un cierto grado de heterogeneidad, sobre todo en el caso de las rocas sedimentarias.

Los materiales cerámicos o productos de arcilla cocida presentan tal variedad que es difícil realizar una clasificación, ya que, como es lógico, se pueden adoptar distintos criterios que conducen a distintas clasificaciones. El ladrillo se puede definir como una pieza paralepipédica, generalmente en forma de ortoedro, y que se clasifica atendiendo a diversos factores como el tamaño y tipo de perforación, forma, método de fabricación, etc.

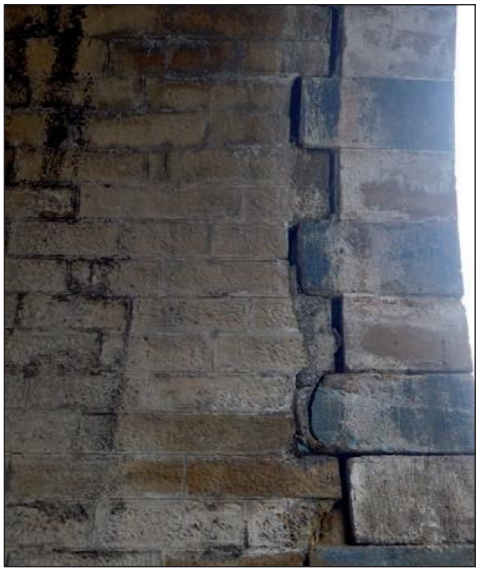
La fabricación del ladrillo sigue reuniendo, en esencia, los mismos principios básicos utilizados hace ya miles de años: la combinación de tierra, agua y fuego. Las etapas que tienen lugar en su fabricación son: selección y preparación de las arcillas, moldeo de la pasta, secado del material crudo, y por último, la cocción de las piezas. Cada una de estas etapas determina la calidad final del producto, atribuyéndose muchos de los defectos que aparecen en obra a algún fallo en una o varias de las etapas de fabricación.

En cuanto a la tipología estructural de los puentes de fábrica, normalmente se tratará de una superestructura tipo arco. Hay que reseñar si se trata de una bóveda o de arcos múltiples, y se medirán los suficientes puntos y tangencias de la directriz para determinar su trazado. Se darán las dimensiones básicas: luz, anchura, canto, etc.

Al igual que hemos visto para los puentes de hormigón y metálicos, los procesos de deterioro se pueden clasificar en dos tipos:

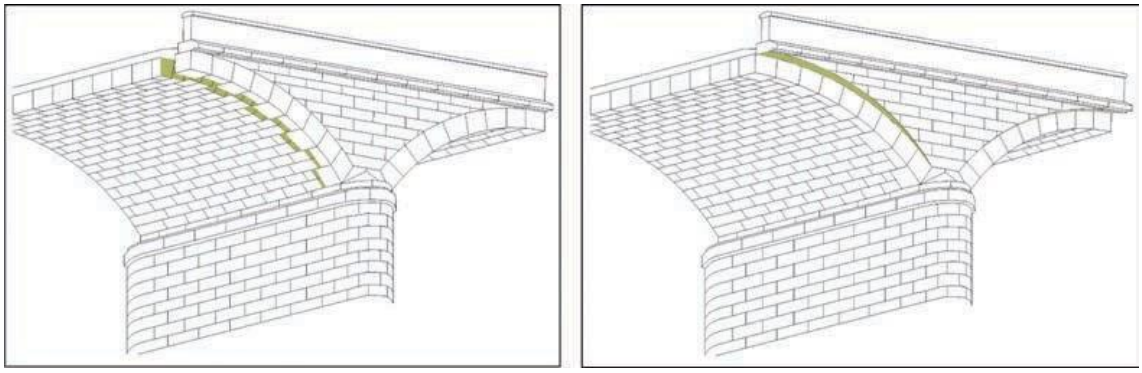
- Los inherentes al propio material, en lo que será de aplicación todo lo ya comentado sobre deterioros en la subestructura, estribos y pilas.
- Los derivados del comportamiento estructural de las bóvedas de fábrica, que son los que veremos a continuación, centrándonos en los que afectan a la superestructura (los que afectan a las subestructuras ya se han comentado anteriormente). Este tipo es el que más se asemeja a nuestro caso:
    - En primer lugar, deben mencionarse los problemas derivados de la diferente rigidez entre elementos de la bóveda.
    - Las grietas longitudinales en las uniones entre los bordes de la bóveda y las boquillas es otra patología usual de las bóvedas. Las boquillas del arco suelen realizarse con los materiales más selectos y mejor tallados, con dovelas de mayor espesor y con juntas mucho más cuidadas. Además, las boquillas van unidas a los tímpanos configurando unas estructuras laterales de mucha mayor rigidez longitudinal que la bóveda. Esto es de aplicación en el proyecto
    - Todo ello favorece la aparición de grietas longitudinales de despegue lateral de boquillas y una cierta cizalladura por deformaciones verticales diferentes entre bóveda y boquillas.





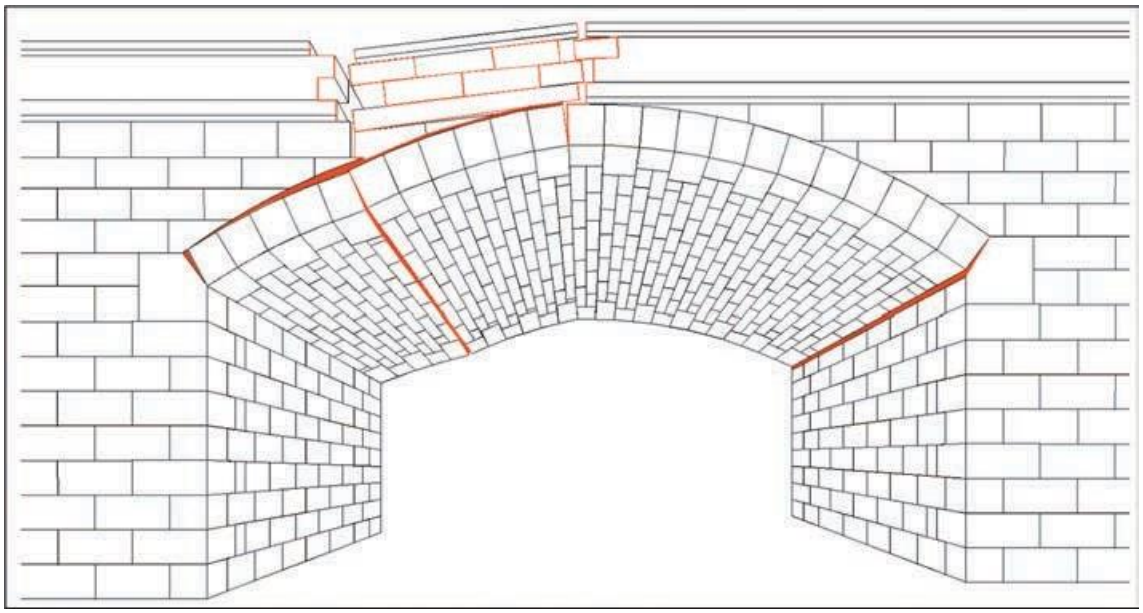
Los tímpanos, que son otros elementos de gran rigidez en comparación con la bóveda, están sometidos al empuje lateral de los rellenos granulares colocados sobre la bóveda, lo que provoca en el conjunto boquilla-tímpano esfuerzos horizontales hacia el exterior.

El resultado es que tanto las boquillas como los tímpanos pueden llegar a funcionar independientemente de la propia bóveda frente a las cargas exteriores. Esto se aplica en el Puente de Obra 03 en el P.K. 201+690.



Grietas por diferente rigidez entre bóveda-boquilla (izquierda) y entre bóveda-tímpano (derecha).

En los puentes de fábrica, dado que la resistencia de compresión de la piedra es muy superior a las tensiones que han de soportar las dovelas de la bóveda, puede aceptarse que generalmente han de producirse al menos cuatro rótulas alternativas para que se produzca la situación extrema de colapso bajo la aplicación de una sobrecarga en una ubicación pésima.



Posible esquema de colapso por formación de una cuarta rótula.

Por otra parte, la experiencia demuestra que los procesos constructivos de estos puentes afectan, además de a la durabilidad, en función de la calidad del rejuntado, a la definición de los puntos en los que se pasaba de relleno rígido a granular, lo que equivale a definir la posición de las rótulas correspondientes a los mecanismos de colapso y a las zonas de filtración. El problema es que no siempre es posible definir la posición de tales interfaces, aunque la presencia de manchas y la altura de las pátinas suele ser reveladora de este aspecto.

También suele haber problemas derivados del empuje sobre los tímpanos, ya que en dichos elementos se suelen reflejar los defectos de comportamiento estructural de la bóveda. Por ellos se prolongan las fisuras que se originan en el trasdós. Aparecen con cierta frecuencia grietas verticales en la zona de riñones, originadas por dilataciones y contracciones debidas a cambios de temperatura del arco. También se suelen producir en las uniones del tímpano con los estribos, en el caso de vanos laterales

Con mucha frecuencia, sobre todo en puentes estrechos sometidos a fuertes sobrecargas, aparecen grietas en la unión entre tímpanos y boquillas, que son claramente inducidas por los empujes horizontales transversales de los rellenos sobre los tímpanos. Si la magnitud de los empujes es superior a lo que el monolitismo de la obra o la capacidad estructural del elemento admite, se producirá un deslizamiento horizontal o giro del tímpano o ambos movimientos. Esta patología puede agravarse si se producen choques contra el pretil, pues normalmente éste acompaña al tímpano en su despegue.

La presencia de agua saturando los rellenos, al hacer aumentar los empujes laterales por aparición de presiones hidrostáticas, puede favorecer el despegue mencionado. La influencia negativa de un drenaje deficiente es clara en los tímpanos.





Desprendimiento del tímpano de una obra de fábrica por empuje excesivo del relleno de tierras.

Otra patología frecuente en los puentes de piedra es el deslizamiento y caída de dovelas. La progresión de dichos desplazamientos puede llevar a la pérdida de sillares, con el consiguiente peligro para la estabilidad de la estructura.

El origen de este defecto suele ser la degradación o pérdida del mortero de unión de las dovelas, y verse aumentado su efecto por las alternancias de signo de las solicitaciones y las vibraciones debidas al tráfico. La vegetación puede también influir negativamente, introduciéndose por los huecos y actuando a manera de cuña. Además, la acción dinámica produce una compactación del relleno que aumenta los esfuerzos horizontales, por una parte, y los reduce, por otra.

Cuando no existe el relleno suficiente para que se produzca un reparto adecuado de las cargas, éstas pueden llegar a provocar hundimientos locales de las piezas de la fábrica en la zona de clave.

Se debe comprobar la existencia de fisuración transversal en la bóveda. Las fisuras transversales de los arcos y bóvedas se encuentran, bien claramente reflejadas en el intradós, bien ocultas en el trasdós, mostrando su presencia en las boquillas. Hay que observar su manifestación y correspondencia en los dos flancos del puente. Estas fisuraciones suelen ser aproximadamente normales a la directriz del arco o bóveda, pudiendo llegar a extenderse hacia el tímpano.

Es fundamental detectar las posibles concomitancias entre fisuras, que puedan indicar un mecanismo de colapso. Así, si una bóveda muestra simultáneamente fisuras de intradós junto a la clave y agrietamientos de trasdós sobre arranques o riñones, estará anunciando que su estabilidad está comprometida.

La fisuración transversal puede tener varias motivaciones o combinaciones de ellas: efectos térmicos, fenómenos diferidos como fluencia y retracción, excesiva deformabilidad de la bóveda, posibles movimientos de asiento de la infraestructura, etc.

Los asientos diferenciales de la cimentación producen en la bóveda una grieta oblicua que puede seguir el camino de las juntas o incluso llegar a romper la fábrica.

Otras patologías frecuentes en las bóvedas son las humedades y eflorescencias. Esto es aplicable al túnel 02 en el tubo que no se utilizará, ya que en la construcción de dicho tubo se hizo la excavación de la trinchera, se construyó el tubo y luego no se tapó, con lo cual queda un área como una piscina donde va el agua. En bóvedas y arcos de fábrica los defectos de los materiales y los fallos de la estructura abren vías de filtración. Las filtraciones provocan problemas característicos, como alteraciones y manchas en paramentos y juntas, despegaduras y desplomes. Suelen arrastrar finos que se van depositando y que ocasionan presiones por hinchamiento.

Las eflorescencias constituyen depósitos de sales que pueden deteriorar los paramentos de piedra y ladrillo por ataque químico. Las humedades propician la formación de musgos que también contribuyen al deterioro. Además, las humedades en tiempo frío ocasionan desconchones al congelarse el agua embebida por capilaridad. Son especialmente propensas a este fenómeno las piedras porosas como areniscas y conglomerados, y también los ladrillos.



Humedades y eflorescencias en bóveda de fábrica de ladrillo.

- La imposta tiene como función la protección del tímpano, al tiempo que como viga realiza un atado monolítico de sus elementos individuales. Los agrietamientos del tímpano suelen manifestarse en las impostas, donde pueden medirse con comodidad las aberturas de las fisuras. En caso de pretiles de fábrica u hormigón, la grieta se manifiesta asimismo en el pretil, que actúa como auténtico testigo de la misma. Se pueden medir aberturas de fisura, movimientos relativos de labios, etc.
- Los sistemas de evacuación de aguas deben estar, sobre todo en el caso de las superestructuras de fábrica, en perfecto funcionamiento. Debe inspeccionarse si los drenes y mechinales se encuentran obstruidos y muestran señales de buen funcionamiento (manchas secas de humedad, estalactitas de sales, etc.).
- Hay que observar el estado de las uniones y juntas de construcción que se encuentren. Igualmente sucederá con las juntas entre sillares y elementos individuales. Las circulaciones de agua o la acción de los agentes atmosféricos, en superficie o a través de los paramentos de la fábrica, provocan la desaparición de juntas por disolución química de los ligantes. Esta alteración puede venir acompañada de la caída de sillares ya indicada.

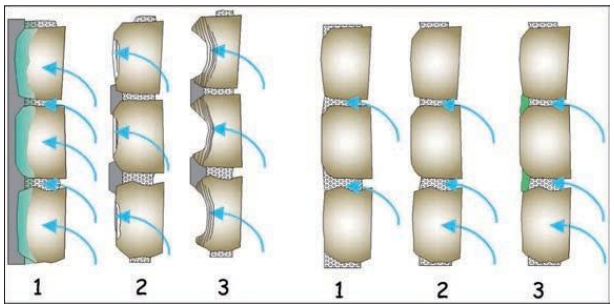


Lavado de llagas en bóveda de sillería.

La proliferación de vegetación trepadora es causa de la degradación del mortero de las juntas. Hay veces en que las juntas dañadas ocasionan líneas de debilidad, que concentran tensiones abriendo sillares y mampuestos.

- Los rellenos de los puentes de fábrica no suelen ser fácilmente accesibles. Si por alguna circunstancia se pudieran constatar durante la inspección principal datos referentes al relleno, se deberán anotar por ser interesantes en la formación del juicio sobre el estado de la superestructura.
- También se deben tener en cuenta los posibles problemas derivados de anteriores intervenciones, ya que, debido principalmente al desconocimiento del funcionamiento estructural de los puentes de fábrica, las reparaciones

efectuadas han sido muchas veces inadecuadas, poco eficaces e incluso contraproducentes para la estructura.



En la figura de la izquierda se pueden ver los efectos de una reparación inadecuada con mortero de cemento. a la derecha, la forma correcta de realizar la reparación.

Como ejemplos de estas actuaciones poco eficaces e incluso dañinas cabe resaltar:

- El empleo de materiales incompatibles con los existentes en la estructura.
- Ejecución de losas del lado del trasdós nula o insuficientemente conectadas, tanto a la bóveda como a las pilas.
- Disposición de cerchas metálicas por la parte inferior de la bóveda, que tienen un diferente comportamiento térmico al de la fábrica.
- Ampliaciones de encepados que han provocado aumentos de la velocidad local de la corriente con las consiguientes socavaciones de los cimientos.

Hay ciertas observaciones que, entre otras de posible interés, conviene recalcar. No hay que olvidar que un tramo de puente de este tipo suele tener dos planos de simetría vertical, que contienen respectivamente los ejes longitudinales y medio del vano. Se observarán por tanto las simetrías, antimetrías o disimetrías de las redes de fisuras. Los fenómenos de características uniformes, como incrementos térmicos o retracción, respetarán las simetrías con respecto a ambos planos.

En cambio, una fisuración no simétrica denotará la influencia preponderante de causas atribuibles a los extremos (descenso del apoyo, giro del extremo, etc.).

Las fisuraciones oblicuas o que se manifiestan únicamente en uno de los flancos significan solicitaciones de torsión, giro transversal o descenso lateral de apoyo.

Es conveniente incluir croquis de la fisuración cuando tenga suficiente relevancia, acompañado de la correspondiente documentación fotográfica. Deberán medirse las anchuras de fisura en puntos suficientes para determinar su ley de variación. Hay que tener en cuenta que un mapa de fisuras define claramente la red de isostáticas, localización de puntos duros y centros instantáneos de rotación, dando una concordancia muy reveladora con la nivelación.

Hay que acompañar las observaciones correspondientes a faltas de alineación, desplomes, giros, defectos en la horizontalidad de las hiladas y líneas arquitectónicas verticales, etc.

En el punto de deterioros en bóvedas de hormigón armado o en masa y bóvedas prefabricadas de hormigón armado, llevados al caso del proyecto en cuestión no presentan fisuración, ni en la clave ni en los riñones. Con lo cual continua siendo

isoestática, en el momento que se forman rótulas aparecen las fisuras, pero eso sin formar la cuarta rótula ya que si eso sucede se convierte en mecanismo.

2. CONCLUSIÓNES.

2.1. PUENTE DE OBRA 03 EN EL P.K. 201+690.

La conclusión según la vía, es que una de las posibles patologías del desplome (en el Puente de Obra 03 en el P.K. 201+690) es debido a la diferente rigidez de los materiales (elementos de la bóveda), filtraciones y humedades en los conglomerados junto con frío (congelación). Esto produce fisuración que puede provocar una rotación y generar faltas de alineación, desplomes, giros etc...

2.2. TÚNEL 01.

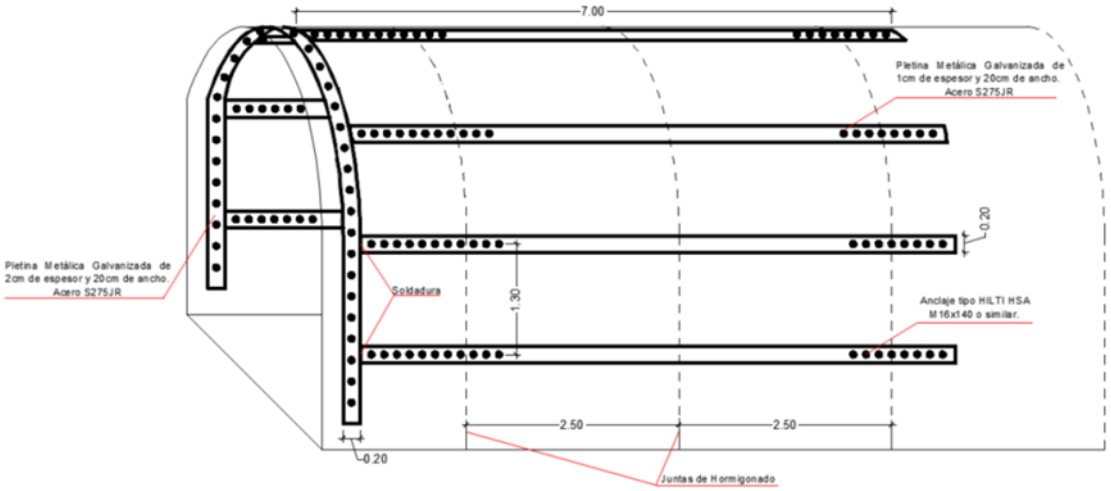
Otra patología que se aprecia en el recorrido en las bóvedas son las humedades y eflorescencias, que si se muestra en nuestro túnel 01 en el tubo moderno que no se va a emplear.

Las eflorescencias constituyen depósitos de sales que pueden deteriorar los paramentos de piedra y ladrillo por ataque químico. Las humedades propician la formación de musgos que también contribuyen al deterioro. Además, las humedades en tiempo frío ocasionan desconchones al congelarse el agua embebida por capilaridad. Son especialmente propensos a este fenómeno las piedras porosas como areniscas y conglomerados, y también los ladrillos.

En el caso que nos afecta de eflorescencias es debido a que se excavó la trinchera para construir el túnel y una vez construido el túnel pues no se hizo el relleno que correspondía por lo que quedó una zona baja donde se recoge y acumula agua, con lo que se producen las filtraciones y las eflorescencias debido al tipo de material, arcillas yesíferas (como se podrá comprobar en el anejo de geología-geotecnia). En un principio como dicho tubo no se utilizará se dejará vallado y reparado los desprendimientos de las bocanas de entrada y salida. También se procederá mediante el programa de vigilancia a controlar posibles futuros desperfectos.

Adicionalmente, se prevé el refuerzo del emboquille del túnel mediante pletinas, con el fin de mejorar el confinamiento del frente y asegurar la estabilidad local del entorno inmediato de la boca.

Este refuerzo se dispondrá en las zonas donde el macizo presente mayor fracturación, desconfinamiento o riesgo de desprendimiento localizado. Se proyecta la ejecución de drenes en el túnel para favorecer la evacuación del agua infiltrada, reduciendo las presiones intersticiales y minimizando los empujes hidráulicos sobre el revestimiento.



Madrid, septiembre de 2026.

Autor del proyecto, Luis Cañada López

Ingeniero Agrónomo