

COMITÉ DE PUENTES DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE LA
CARRETERA (COMITÉ ESPAÑOL DE LA AIPCR).

GRUPO DE TRABAJO DE PUENTES DE FÁBRICA

Ensillado de bóvedas

Junio de 2002

PRESENTACIÓN

En el seno del Comité de Puentes de la Asociación Técnica de Carreteras (Comité Español de la A.I.P.C.R.) se constituyó un grupo de trabajo con el objetivo de abordar temas relacionados con la rehabilitación de puentes de fábrica.

Concluido y publicado, en los primeros meses de 1999, el trabajo denominado “Primer Glosario de Términos empleados en Puentes de Fábrica”, el grupo se propuso redactar un documento sobre la técnica de reparación conocida como “**ensillado de bóvedas**”.

El trabajo que se presenta a continuación parte del supuesto de que se ha establecido la insuficiencia estructural de las bóvedas, describiéndose aquellos casos en los que es aplicable esta técnica. Revisa los criterios de proyecto y las cuestiones que deben plantearse los técnicos responsables de la reparación. Describe asimismo los aspectos técnicos y económicos del proceso constructivo, los materiales aconsejables para cada uno de los elementos que aparecen en el mismo y las consideraciones a tener en cuenta durante su ejecución, todo ello desde un punto de vista esencialmente práctico.

Los últimos capítulos recogen las ventajas e inconvenientes del procedimiento, así como unas recomendaciones generales que pueden ser importantes para conseguir un ensillado efectivo.

Los técnicos que han participado en la redacción de este documento han sido los miembros del Grupo de Trabajo de Puentes de Fábrica:

M^a de los Ángeles Yáñez Hernández (**coordinadora**)

Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento

José Antonio Martín-Caro Álamo (**secretario**)

ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, UPM

Olga Calvo Lucas

Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento

Javier León González

ETS de Ing. de Caminos, C, y P., UPM, y FHECOR Ingenieros Consultores

Luis López Ruiz

UN de Mantenimiento de Infraestructuras de RENFE

Bienvenido Martínez Fernández

Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX

Luis María Ortega Basagoiti

GEOCISA

Carlos Peralta Fernández

COMPOSÁN CONSTRUCCIÓN, SA

Jorge Perelli Botello

GEOCISA

Luis Salas López de Lerma

TIFSA

José M. Simón-Talero Muñoz

J.A. Torroja, Oficina Técnica, SA

ENSILLADO DE BÓVEDAS

Contenido

- 1- Introducción
- 2- Aplicabilidad
- 3- Ventajas e Inconvenientes
- 4- Tipos
- 5- Criterios de proyecto
- 6- Ejecución

Anejo 1. Costos de ejecución material

Anejo 2. Bibliografía

1. Introducción

El ensillado es un procedimiento de refuerzo de puentes de fábrica aplicable a las bóvedas que presenten una flexibilidad excesiva o una insuficiente capacidad resistente para soportar las acciones previstas con los niveles de seguridad exigibles. La acción de ensillar consiste en construir una segunda bóveda sobre el trasdós de la existente.

La técnica requiere normalmente la excavación del relleno para tener acceso al trasdós de la bóveda y la construcción sobre ella de una nueva, de hormigón u otro material, que se ejecuta *in situ*. La nueva bóveda puede disponerse de manera que actúe conjuntamente con la existente, o bien proyectarse para que sea capaz de soportar la totalidad del peso propio y de la sobrecarga, empleando en ambos casos la bóveda de fábrica existente como encofrado permanente.

En cualquier caso, la decisión de realizar un ensillado de la bóveda debe tomarse después de evaluar los deterioros observados y cuando, del recálculo de la estructura y de la experiencia acumulada, se deduzca la insuficiencia de la capacidad estructural de la misma, además de que las características de la estructura exijan respetar la propia obra y su aspecto exterior, en cuyo caso, la única solución idónea será la realización de un ensillado. No obstante, el ensillado de la bóveda es, a juicio de este grupo de trabajo, un procedimiento caro y absolutamente singular.

Antes de decidir la realización de un ensillado debe evaluarse la posible validez de otras reparaciones menos agresivas, si es que existen, ya que el ensillado es una reparación compleja que debe realizarse con sumo cuidado, sobre todo a la hora de excavar entre los tímpanos, y que exigirá la comprobación del estado de otros elementos estructurales, como la cimentación, para que pueda asegurarse el buen funcionamiento del nuevo conjunto. Con estas premisas, una vez ejecutado el ensillado se conseguirá ciertamente no sólo reforzar, sino también mejorar el comportamiento transversal de la estructura.

2. Aplicabilidad

Como se ha indicado, el ensillado es un procedimiento de refuerzo de puentes de fábrica aplicable a bóvedas con una flexibilidad excesiva o con una capacidad resistente insuficiente para soportar las acciones previstas con los niveles de seguridad exigibles.

La insatisfactoria respuesta estructural de una bóveda de fábrica puede haberse originado en el momento mismo de su construcción, debido principalmente a la adopción de formas y dimensiones geométricas inadecuadas, aunque también pueden ser el caso de una mala ejecución o de utilizar materiales de calidad reducida. Sin embargo, más frecuentemente, la incapacidad estructural parcial o total de la bóveda se debe a diversas causas sobrevenidas a lo largo de la vida del puente, tales como movimientos de los apoyos, deterioro de los materiales, drenaje inadecuado, pérdidas de monolitismo, vibraciones notables, incremento de las cargas, etc.

Este método de refuerzo, que exige la retirada del relleno y, en consecuencia, obliga casi siempre a dejar fuera de servicio temporalmente la estructura, resulta especialmente indicado cuando se produzca alguna de las circunstancias que a continuación se indican:

- En los casos en los que el déficit de capacidad resistente de las bóvedas de fábrica sea importante, y no resulten adecuados otros métodos de refuerzo que no precisan de la eliminación del relleno.
- Cuando se imponga el respeto al aspecto exterior del puente por su condición de monumento histórico y artístico, o simplemente por su valor estético.
- Si su gálibo inferior está condicionado por cualquier razón, lo que obliga a descartar otros tipos de refuerzos ejecutables sobre los paramentos exteriores del puente.
- En los casos en los que, además de insuficiencias estructurales en las bóvedas, se aprecie un mal funcionamiento del sistema de drenaje así como patologías en tímpanos y boquillas producidas por falta de monolitismo o empujes horizontales excesivos del relleno.
- Cuando, además de insuficiencias estructurales en las bóvedas, exista una falta de capacidad portante de la cimentación y resulte necesario conectar dos refuerzos ejecutables de manera sencilla desde la plataforma: ensillado de las bóvedas y recalce con micropilotes de las pilas.
- En los casos en los que, además de reforzar las bóvedas de fábrica, se pretenda conseguir un aumento de anchura de la plataforma, resultando oportuno entonces el diseño de un tipo de ensillado cuya sección sea en cajón de canto variable con voladizos laterales.

3. Ventajas e inconvenientes

3.1. Ventajas

- Permite preservar la apariencia externa del puente, lo que resulta especialmente atractivo en puentes de interés histórico-artístico.
- No reduce el gálibo bajo el puente.
- Sirve no sólo para reforzar la bóveda, sino que puede aliviar los esfuerzos en otros elementos, como por ejemplo los tímpanos.

3.2. Inconvenientes

- Ocasiona perturbaciones de larga duración en el tráfico que soporta el puente, que habitualmente se ve interrumpido por completo, debido a las numerosas operaciones que conlleva (ver 6. Ejecución).
- Requiere:
 - Un minucioso análisis resistente de la estructura, tanto durante las fases constructivas como en servicio.
 - La verificación de su posible afección a las características funcionales de la estructura cuando de nuevo entre en servicio: rasante, drenaje, etc.
 - Equipos especializados para su construcción y control, dado lo delicado de las operaciones.
- Puede exigir el cimbrado o refuerzo del arco existente durante las fases constructivas.
- Requiere vertederos a los que transportar el relleno que se retire, así como préstamos para su posterior reposición.

4. Tipos

Dentro del ensillado deben distinguirse dos subtipos de refuerzo con cuyo diseño y ejecución se pretende conseguir dos comportamientos estructurales diferentes: el ensillado autoportante y el ensillado conectado:

El *ensillado autoportante* consiste en disponer sobre la bóveda existente una nueva bóveda independizada estructuralmente de aquélla, de manera que la conexión entre ambas se limite a la zona de los arranques. La nueva bóveda debe ser capaz de soportar por sí sola la totalidad de las sobrecargas y cargas permanentes, con la excepción del peso propio de la bóveda de fábrica, que habrá de sustentarse a sí misma.

Este subtipo de refuerzo está indicado en los casos en los que la insuficiencia estructural de la bóveda existente sea muy importante, es decir, cuando no se satisfagan los niveles de seguridad exigibles considerando únicamente las acciones permanentes.

También resulta recomendable esta solución de refuerzo cuando existan incertidumbres sobre el comportamiento estructural de la bóveda existente y no sea posible, por tanto, evaluar la idoneidad de un ensillado conectado con fiabilidad suficiente.

En el *ensillado conectado*, la nueva bóveda colocada sobre la primitiva de fábrica se conecta adecuadamente a ella de manera que se produzca una respuesta estructural solidaria de la bóveda mixta resultante.

La ejecución de este refuerzo resulta oportuna cuando, siendo suficiente el nivel de seguridad de la bóveda existente sometida a la actuación exclusiva de las cargas permanentes, se detecte alguna insuficiencia estructural al proceder a la aplicación de las sobrecargas.

En el caso de que, por razones funcionales o estéticas, se encuentre limitada la cota final que puede alcanzar el trasdós en la clave y, en consecuencia, no resulte posible la construcción de una nueva bóveda completa, puede resultar suficiente la realización de un *ensillado incompleto conectado*. Esta solución consiste en disponer los nuevos materiales de refuerzo únicamente sobre los arranques y los riñones de la bóveda primitiva, conectándolos convenientemente de manera que se pueda garantizar un trabajo estructural del conjunto resultante.

5. Criterios de proyecto

En general, la decisión de acometer un ensillado se basa en la insuficiente capacidad portante de la bóveda, aunque actualmente no existan criterios suficientemente consensuados para llegar a dicha conclusión.

Por otra parte, tampoco se suele contar con criterios generalmente aceptados ni para dimensionar un ensillado ni para comprobar uno ya realizado. No obstante, se recoge a continuación una serie de recomendaciones muy generales a tener en cuenta si se quiere evaluar la capacidad portante de un ensillado.

Así, en primer lugar se exponen los formatos de seguridad usuales y aplicables al caso de comprobación de un ensillado. Se mencionan a continuación las comprobaciones estructurales necesarias durante la fase de ejecución del ensillado y se concluye, después, con algunos aspectos particulares de comprobación de los dos tipos de ensillado propuestos: el conectado y el no conectado.

5.1. Formato de seguridad

El nivel de seguridad de un ensillado se puede obtener por vía analítica aplicando:

- Un modelo de análisis *probabilista*, empleando las técnicas habituales de la fiabilidad estructural.
- Un modelo de análisis *semi-probabilista*, convenientemente adaptado de otras tipologías, como por ejemplo del hormigón, que se traduce, habitualmente, en el empleo de la teoría de ESTADOS LÍMITE. Es

importante en este caso definir los posibles modos de fallo de la estructura en estado límite último. Conforme a ellos se pueden plantear diferentes modelos de cálculo (geométricos, elásticos, bloques rígidos, plásticos, elastoplásticos, cálculo matricial, método de elementos finitos, etc.), aplicables en cada caso particular.

- Un modelo de análisis *determinista*, que generalmente responde a criterios mecánicos plasmados habitualmente en criterios de “no tracción”, en los que los esfuerzos obtenidos dependen de las resistencias adoptadas. En este caso el concepto de riesgo suele expresarse en términos de un coeficiente de seguridad global frente a un patrón tipo de cargas.

En cuanto a la vía experimental, no resulta aconsejable emplear como método de evaluación estructural de un ensillado o, en general, de un puente arco de fábrica, la realización e interpretación de una prueba de carga. Esto se explica porque el comportamiento en servicio se aleja mucho del comportamiento en agotamiento, dando poca información sobre la capacidad residual y, por otra parte, debido a la gran rigidez de estas estructuras, las mediciones realizadas durante la prueba de carga (deformaciones, flechas y vibraciones) son difícilmente interpretables.

5.2. Comprobación de la estructura durante el proceso constructivo

Para ejecutar un ensillado es necesario eliminar el relleno de la bóveda, lo cual produce dos fenómenos muy a tener en cuenta en la comprobación de la estabilidad de la obra durante este proceso de reparación o refuerzo:

- Por una parte se reduce considerablemente la carga sobre la bóveda existente, lo cual provoca una disminución evidente del esfuerzo axial que recibe ésta, con los consiguientes peligros de pérdida de estabilidad de la bóveda exenta y aparición de posibles dislocaciones de dovelas debido a un bajo rozamiento o a un bajo esfuerzo axial.
- Por otra parte, durante la retirada del relleno se producirán disimetrías de carga sobre la bóveda. Conviene minimizar la asimetría de la carga y, en cualquier caso, controlarla.

Además, hay que tener en cuenta que durante el proceso de vaciado se retira el relleno que sirve de elemento de arriostamiento de los tímpanos frente a la acción del viento. Hay que comprobar éstos, por tanto, en esta fase del proceso de ejecución.

5.3. Comprobación del ensillado. Ensillados sin conexión y conectados

Como ya se ha comentado, el comportamiento de un ensillado sin conexión resulta, generalmente, muy diferente de otro conectado. Así también su cálculo presenta algunos aspectos diferenciadores que se apuntan a continuación.

a) Ensillado sin conexión

En general, se deberá comprobar la bóveda existente bajo la acción de su peso propio, y bajo su peso propio más el peso propio del ensillado, además de una sobrecarga de construcción.

Habrà que tener en cuenta que la bóveda existente se descargará apreciablemente durante la construcción y en situación definitiva; por tanto, su estabilidad puede verse afectada por los fenómenos anteriormente citados. Por ello deben preverse, si resultara necesario, cimbras y elementos de apoyo suficientes.

En general, la nueva estructura se proyectará de forma independiente, conforme a la Instrucción de acciones vigente

b) Ensillado conectado

En general, se debe comprobar el conjunto bóveda existente –nueva bóveda como una estructura mixta, en la que las acciones, los materiales y la geometría a utilizar en el cálculo se determinarán como sigue:

- *Acciones:* Salvo en casos particulares, pueden adoptarse los valores de acciones vigentes de la normativa actual de puentes (IAP o IAPF).
- *Combinaciones de acciones:* Se tendrán en cuenta las combinaciones estáticas de ELU no accidentales. Se adoptarán los valores de los coeficientes vigentes de la normativa actual de puentes (IAP o IAPF).
- *Geometría:* se debe conocer la geometría (dimensiones y espesores) de la bóveda, del relleno y de los tímpanos.
- *Materiales:* en general será necesario realizar un estudio concreto para caracterizar los mismos. Para las fábricas será necesario conocer la máxima resistencia de compresión, pudiéndose aplicar los coeficientes de minoración de materiales según la norma FL-90.

En lo que se refiere al cálculo propiamente dicho, hay que diferenciar entre la obtención de los esfuerzos solicitantes y la determinación de los esfuerzos resistentes o de agotamiento (S_d y R_d respectivamente según la terminología de los estados límite).

Como criterio general de cálculo de esfuerzos se podrá tomar, conservadoramente, el elástico lineal siempre que, a continuación se compruebe que no existen tensiones de tracción en la nueva bóveda. Puede adoptarse también, y siempre de manera justificada, cualquier otro procedimiento como los derivados del análisis límite, bloques rígidos y el análisis no lineal de la fábrica. En este último caso se deberá acometer un análisis más riguroso de las propiedades mecánicas de la fábrica. Los coeficientes de minoración de los materiales se adecuarán al resultado de los ensayos.

En lo que se refiere a la obtención de la resistencia de las diferentes secciones, se determinará ésta como sección mixta, con valores de la

función de fluencia a determinar. En general habrá que comprobar las secciones de arranque, riñones y clave tanto a tiempo cero como a tiempo infinito (sección mixta), analizando, en cualquier caso, específicamente la transmisión del rasante entre las diferentes superficies de contacto de la estructura.

En general, y debido a que el ensillado no incrementa la carga total sobre la cimentación, no suele ser necesario estudiar la misma aunque se deban tener en cuenta los fenómenos locales de transmisión de las cargas de los nuevos elementos a la cimentación antigua.

6. Ejecución

6.1. Descripción del proceso constructivo

La secuencia en la realización de un ensillado se corresponde con el esquema siguiente:

- Implantación, en su caso, de cimbras o cerchados.



- Preconsolidación de las fábricas por el intradós.
- Retirada del firme.
- Extracción, o vaciado, del relleno existente hasta dejar al descubierto la bóveda y los tímpanos.
- Limpieza de los trasdoses.



- Consolidación de las fábricas por inyectado y reposición de piezas, con relleno de oquedades.
- Realización de desagües y mechinales.
- Ejecución de cosidos y conectadores o elemento separador y, en su caso, preparación de zampeados sobre pilas y estribos.
- Ejecución del refuerzo o ensillado, colocación de armaduras y vertido del hormigón, o de otros tipos.
- Implantación del sistema de impermeabilización.
- Reposición del relleno y la calzada.

6.2. Materiales

En los casos de puentes de carácter monumental y con un valor histórico artístico importante, la elección de los materiales estará condicionada por los criterios existentes en las obras de restauración de monumentos.



a) *Cimbras y cerchados*

En los cimbrados pueden emplearse como elementos estructurales: maderas curadas y perfiles metálicos tubulares o laminados.

En los cerchados, lo más empleado son perfiles metálicos curvados tipo H u Ω .

En ambos casos, entre cuchillos, correas y arriostrados de madera o perfiles laminados y, sobre ellos, enlistonados de madera o chapas metálicas, y entre éstos y la fábrica un *porexán* de asiento, si ésta presenta paramentos muy irregulares.

b) *Consolidación de las fábricas*

Tanto en la preconsolidación de las fábricas por el intradós, como la consolidación por el trasdós se emplearán:

- Morteros de cemento, o mixtos de cal y cemento en los rejuntados.
- Fondos de juntas en los trasdoses en fábricas a hueso, a base de *porexpán*, tubos de goma o masillas elásticas de poliuretano.
- Lechadas de cemento, con aditivos ligeramente expansivos, o preparados de cemento y resinas sintéticas, para inyección de grietas y relleno de juntas en profundidad.
- Resinas epoxi fluidas para inyección de fisuras, aptas para fábricas saturadas y compatibles con el tipo de fábrica existente.



En el relleno de oquedades y reposición de fábricas, las exigencias mínimas de los materiales a emplear serán las siguientes:

- Naturaleza análoga a la de las fábricas existentes.
- Morteros preparados de cemento y resinas sintéticas, compatibles con las fábricas, en relleno de oquedades.
- Morteros análogos a los de los rejuntados.

- En el caso de chapados, emplear adhesivos epoxi aptos para la presencia de agua, de alta adherencia ($> 2,0 \text{ N/mm}^2$), no agresivo a la fábrica y de amplios tiempo abierto y Pot-life. (4 y 1,5 horas respectivamente), cuidando siempre la temperatura de aplicación (10 a 30°C .)

c) Desagües y mechinales

Se emplearán preferentemente tubos de PVC con alcachofas en el trasdós protegidas por un geotextil. Las gárgolas pueden ser de fábrica, si la estética lo impone, o el tubo prolongado por el intradós.

d) Cosidos y conectadores

Los cosidos de barras cortas se realizarán con acero inoxidable o aluminio, rellenando el taladro con resinas epoxi del mismo tipo que los adhesivos, o con morteros preparados de alta resistencia, tipo *grout*.

Los conectadores pueden ser del mismo tipo, comerciales con cápsulas de resina, o con patilla de obra. En ocasiones la conexión puede ser suficiente con un adhesivo epoxi, si bien en este caso la superficie debe de ser rugosa, mezclando la resina a partes iguales con humo de sílice. Esta solución suele estar restringida a fábrica de hormigón en masa, donde el rasante resistido por el hormigón posibilita esta conexión superficial.

e) Elemento separador

En el caso de ensillado no conectado, lo más usual es utilizar mantas de *porexán*.

f) Refuerzo o ensillado

Lo normal es emplear hormigones estructurales y armaduras de acuerdo con la Instrucción EHE. La consistencia más adecuada vendrá condicionada por la curvatura de la bóveda.

También pueden emplearse fábricas trasdosadas con contrarrosas y chapas de acero corrugado con rellenos de morteros de alta resistencia.

g) Impermeabilizaciones

Pueden emplearse imprimaciones bituminosas y láminas asfálticas o vinílicas.

En cualquier caso deben de protegerse con alguno de estos sistemas:

- Geotextil pesado ($>300 \text{ gr/m}^2$).

- Aluminio gofrado (caso de láminas asfálticas)
- Perfiles alveolados de polietileno de alta densidad.
- Gravilla rodada.

Estos sistemas, además de proteger, sirven como elementos drenantes en superficie.

h) Relleno

Deberán utilizarse materiales para relleno localizado en trasdós de estructura, de acuerdo con lo indicado en el PG-3. Sobre el relleno se repondrá la capa de firme.

6.3. Ejecución de las obras

Durante la ejecución de las obras, así como al determinar las características de los materiales, se tendrá en consideración la normativa vigente y las fichas técnicas de los fabricantes de productos preparados. En particular, en las distintas fases y unidades de obra, se tendrán en cuenta las recomendaciones siguientes:

a) Cimbras y cerchados

Su ejecución general se ajustará a lo prescrito en el PG3, y en particular a las siguientes consideraciones:

- Deberán ser capaces de soportar las cargas que gravitan sobre los almacenes en las distintas fases de construcción.
- Los tableados se ajustarán al perfil de las bóvedas, evitando puntos o zonas de concentración de cargas, empleando acuñados o interponiendo un *porexán*.
- El descimbrado se realizará una vez terminados los refuerzos, cuando se hayan adquirido las resistencias mínimas para soportar los esfuerzos que aparezcan al descimbrar y rellenar los trasdoses, con la seguridad requerida. Esta operación se realizará de modo suave y uniforme, sin producir sacudida alguna.

b) Consolidación de las fábricas

- La inyección de juntas, grietas y fisuras se hará a baja presión (2 a 4 atmósferas).
- Previo a la inyección, se ejecutarán los rejuntados y cicatrizados de mortero y se colocarán las boquillas de inyección.
- La separación de las boquillas no será superior a la profundidad a inyectar, no siendo recomendable pasar de 50 cm.

- Se inyectará de abajo a arriba, hasta que fluya por la boquilla colindante.
- En trasdoses la inyección puede efectuarse por percolación.
- En la reposición de piezas, relleno de oquedades y rejuntados, se estará en lo dispuesto en el PG-3.

c) Vaciado del relleno

Su ejecución puede empezarse con medios mecánicos en las zonas más alejadas de los paramentos de las fábricas y terminarse manualmente para no dañar dichos paramentos. Siempre debe de ejecutarse el vaciado de una forma compensada, de manera que se mantengan sensiblemente igualados los niveles de excavación a ambos lados de las bóvedas.

d) Limpieza de los trasdoses

Según la naturaleza de las fábricas se empleará una limpieza con chorro de arena o microesferas de aluminio a presión controlada, debiendo estar proscritos chorreados con agua que alteren el estado de las fábricas.

El chorreado se aplicará con generalidad a todas las superficies trasdosadas. En esta operación se proyectarán preferentemente micropartículas con un tamaño inferior a 0,2 milímetros, y de dureza inferior a la de la sílice, como por ejemplo microesferas de óxido de aluminio o de vidrio, pudiendo emplearse también arena caliza o de sílice en función de la dureza de la fábrica. La presión del chorro estará comprendida entre una y tres atmósferas, pudiendo aumentarse ésta en función del tipo de roca y, si es hormigón, directamente se irá a 8 atmósferas.

En todos los casos, para determinar la presión del chorreado, se harán pruebas empezando por presiones bajas, en las zonas menos delicadas.

Como terminación de los saneados se procederá a la limpieza y soplado de las superficies con aire comprimido, a una presión de ocho atmósferas.

e) Desagües y mechinales

Se ejecutarán por taladro a rotación, empleando sondas sin aportación de agua.

A continuación se introducirán los tubos de PVC sellando el espacio libre entre el taladro y el tubo, en sus zonas extremas, y a continuación se rellenará el resto del espacio tubo-taladro con un mortero fluido o una lechada.

Por último se colocará un geotextil sobre la alcachofa del trasdós y, en su caso, una capa de dren a base de gravilla rodada.

f) Cosidos y conectores

Los taladros se ejecutarán con sondas a rotación sin aporte de agua.

A continuación se rellenará el taladro con el mortero o lechada correspondiente.

Por último se introducirán las barras cortas o los pernos.

En el caso de conexiones con morteros epoxi, conviene que la superficie esté limpia, seca y a ser posible con resaltes de 0,5 cm. La aplicación del mortero adhesivo se ejecutará con brocha o rodillo, restregando

enérgicamente la superficie a adherir, y controlando el tiempo abierto de aplicación.

g) Refuerzo o ensillado

Los refuerzos de contrarrosclas y de chapas corrugadas se ejecutarán de acuerdo con la Instrucción EHE y el PG-3, y las fichas técnicas de los fabricantes. Se cuidarán especialmente las juntas de hormigonado.

h) Impermeabilizaciones

Se ejecutarán de acuerdo con el PG-3 y las fichas técnicas de los fabricantes, recomendándose que esta impermeabilización se extienda a la cara superior de la nueva bóveda y se continúe por los paramentos interiores de tímpanos y estribos. Se dispondrán tubos dren interiores que recojan el agua filtrada y evacuarán al exterior mediante drenes y mechinales.

En su caso, esta operación podrá complementarse con una eventual impermeabilización bajo el pavimento.

i) Relleno

Los materiales que van a formar parte del relleno se extenderán en tongadas sucesivas, de espesor uniforme y sensiblemente paralelas. El proceso de relleno será inverso al seguido en el vaciado, es decir, se comenzará a rellenar de los extremos hacia el centro, cargando los arcos siempre de forma simétrica desde ambos lados.

Las tongadas tendrán un espesor medio, antes de compactar, no superior a veinticinco centímetros, siendo los materiales de cada tongada de características uniformes. La compactación se hará en cada tongada por medio de un compactador ligero, llegando a un grado de compactación mayor o igual al noventa y cinco por ciento del ensayo Proctor Modificado

En cualquier caso, se tomara en consideración lo dispuesto en el PG-3.

Anejo 1. Costos de ejecución material

Dada la gran variedad de tipos de obras de fábrica que pueden encontrarse en cuanto a longitud, altura, ancho, número de arcos, etc., y la gran influencia que estas variables tienen sobre los costes de las unidades principales que forman una obra de ensillado, para el presente Anejo, se ha tomado una estructura de tipo medio, con dimensiones que se han juzgado habituales:

- Longitud: de 25 a 40 m.
- Número de vanos: de 2 a 4
- Anchura: de 4 a 6 m.
- Altura máxima: de 6 a 10 m.
- Luz de vano: de 6 a 10 m.
- Tipo de material: sillería o mampostería de piedra.

Trabajos previos

- Excavación manual del relleno [m³]: de 25 a 30 €
- Limpieza con chorro de arena [m²]: de 8 a 9 €

Cimbras y cerchados

Suele ser habitual disponer una Partida Alzada, dependiendo de las dimensiones de la bóveda a cimbrar [m³] de 60 a 150 €

Consolidación de las fábricas

Morteros de cemento, o mixtos de cal y cemento en los rejuntados [ml] de 11 a 14 €

Fondos de juntas, en fábricas a hueso, en los trasdoses, de *porexpán*, tubos de goma o masillas elásticas de poliuretano [ml] de 3 a 4 €

Lechadas de cemento, con aditivos ligeramente expansivos; o preparados de cemento y resinas sintéticas, para inyección de grietas y relleno de juntas en profundidad [ml] de 20 a 23 €

Resinas epoxi fluidas para inyección de fisuras, aptas para fábricas saturadas y compatibles con el tipo de fábrica existente [ml] de 50 a 55 €

Morteros preparados de cemento y resinas sintéticas, compatibles con las fábricas, en relleno de oquedades [dm³] de 5 a 6 €

Adhesivos epoxi para enchapados [m²] de 14 a 16 €

Desagües y mechinales

Tubos de PVC, con sumideros en el trasdós protegidos por un geotextil, prolongados en forma de gárgolas. Ud. sumidero PVC de 95 a 100 €

Elemento separador

En el caso de ensillado no conectado, lo más usual es utilizar mantas de *porexpan* [m²] de 2 a 2,5 €

Refuerzo o ensillado

Lo normal es emplear hormigones estructurales y armaduras de acuerdo con la Instrucción EHE [m³] de 85 a 90 €

Encofrado en paramentos ocultos [m²] de 11 a 13 €

Acero B 500 S [kg] a 1 €

Chapas de acero corrugado [kg] de 4 a 5 €

Impermeabilizaciones

Pueden emplearse imprimaciones bituminosas y láminas asfálticas o vinílicas [m²] de 11 a 15 €

En cualquier caso deben de protegerse con Geotextil pesado (>300 gr/m²) [m²] de 2 a 3 €

Rellenos

Material seleccionado [m³] de 6 a 8 €

Anejo 2. Bibliografía

- [1] ACI 530-99. "Building Code Requirements for Masonry Structure". American Concrete Institute. 1999.
- [2] Code UIC 778-3. "Recomendations pour l'évaluation de la capacité portante des ponts-voûtes existants en maçonnerie et béton". Union Internationales des Chemins de fer. 1995
- [3] Crisfield, M.A. & Packman, J.A. "A mechanism program for computing the strength of masonry arches". TRRL Research Report 124, 1987.
- [4] Direction des Routes. "Les Ponts en maçonnerie". Ministère des Transports de France. 1982.
- [5] EC-2. "Eurocódigo-2 Proyecto de Estructuras de hormigón". CEN. 1997
- [6] EC-6."Proyecto de estructuras de Fábrica". UNE-ENV 1996-1-1, marzo 1997.
- [7] EHE. "Instrucción de Hormigón estructural". Ministerio de Fomento. 1999.
- [8] Gilbert, M; Melbourne, C. "Rigid block analysis of masonry structures".. The structural engineer. Volume 72. nº 21.1994.
- [9] Heyman J. "Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica".. Centro de estudios históricos de obras públicas y urbanismo (CEHOPU), Instituto Juan de Herrera. 1995.
- [10] Martín-Caro, J.A "Análisis estructural de puentes arco de fábrica. Criterios de comprobación". Tesis Doctoral. 2001
- [11] Page, J. "State of the art review on the masonry arch bridge".. TRRL . Department of Transport.
- [13] TRRL. Department of Transport. "An assessment of repair and strengthening techniques for brick and stone masonry arch bridges".
- [14] Sowden, A.M. "The Maintenance of Brick and Stone Masonry Structures". Ed. E.&F.N. Spon 1990.