

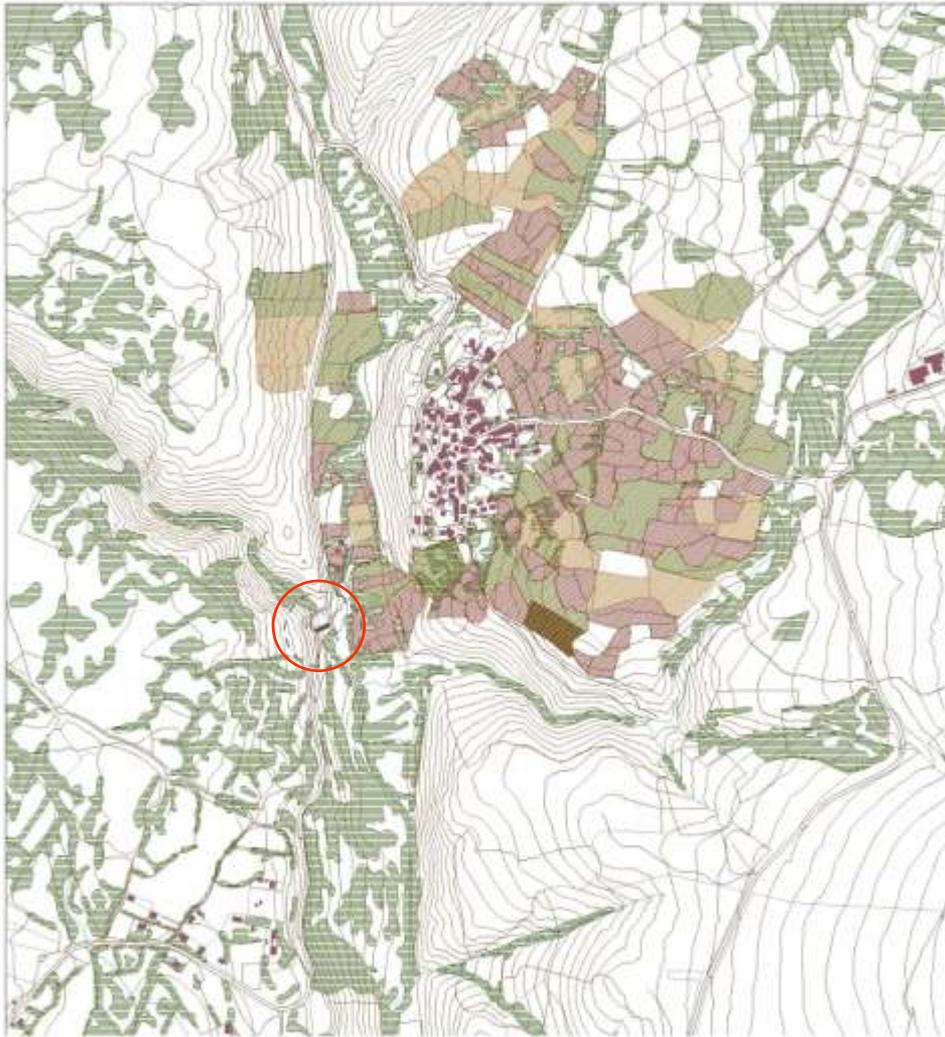
# PROYECTO DE RESTAURACIÓN PUENTE ANTIGUO DE HORCAJO DE LA SIERRA



MÁSTER UNIVERSITARIO EN PATOLOGÍA, PERITACIÓN Y REHABILITACIÓN SOSTENIBLE DEL PATRIMONIO

Carolina Bermúdez González

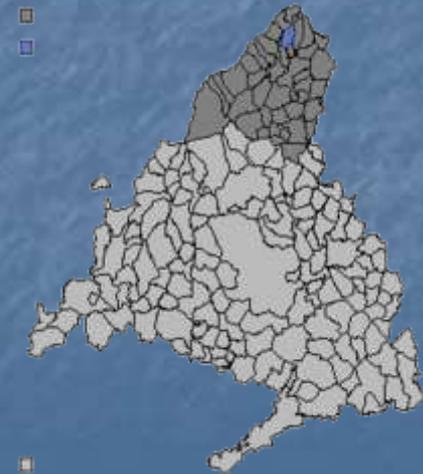
Antonio Jiménez Carchano



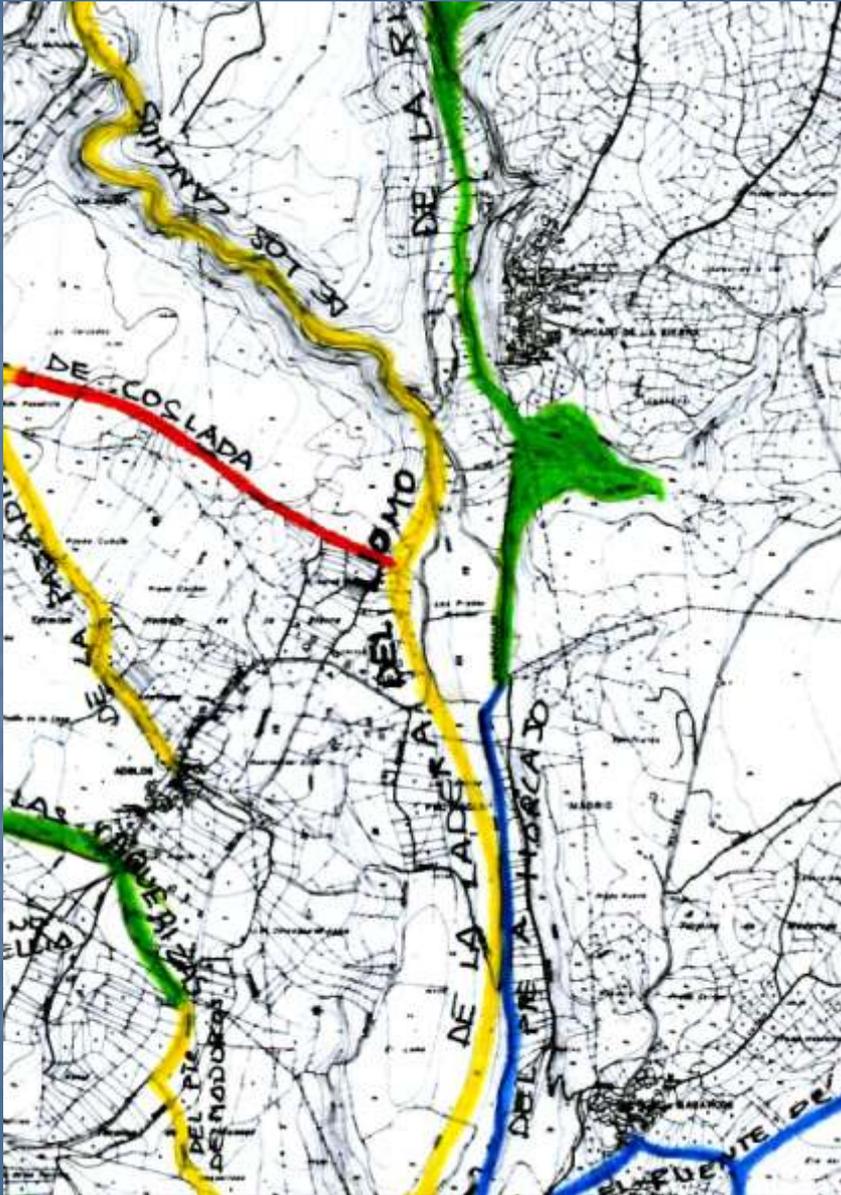
## SITUACIÓN GEOGRÁFICA HORCAJO DE LA SIERRA

### Características del entorno

- Orografía accidentada
- Altitud media 1.068m
- Terrenos forestales y praderas
- Composición geológica predominante gneis granítico



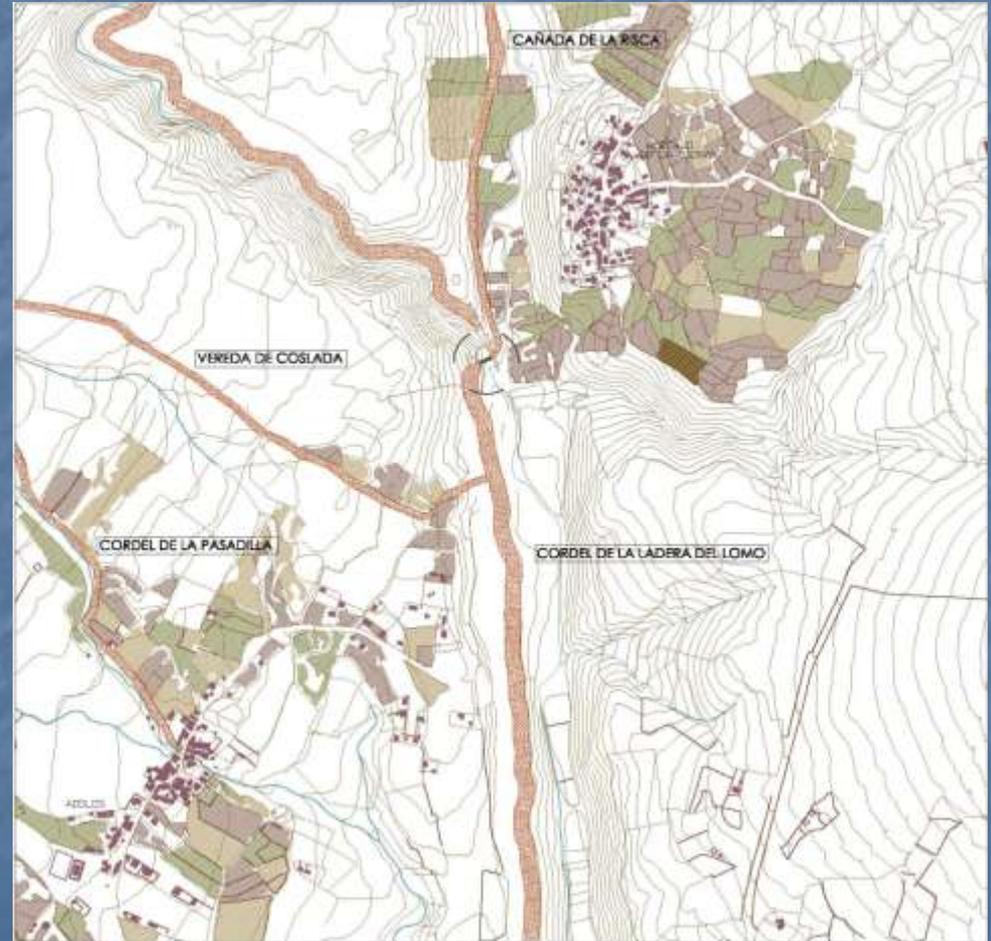
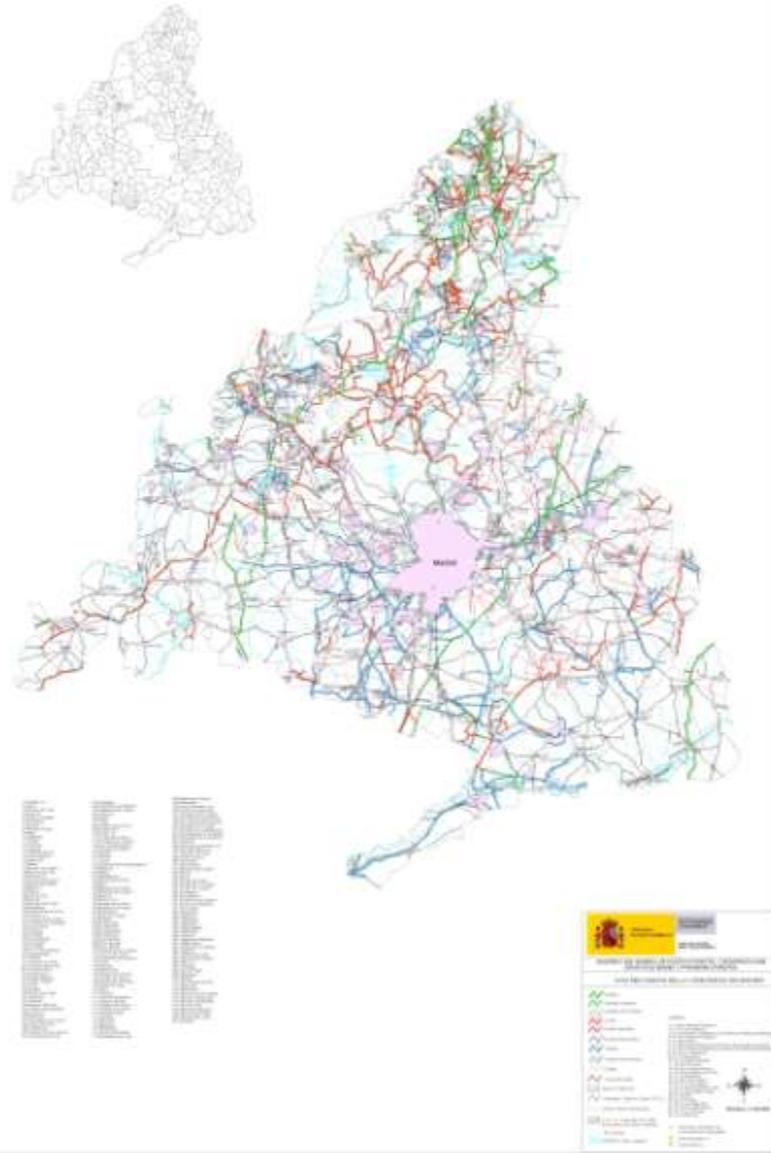
# VÍAS PECUARIAS



- Atraviesan el término municipal de norte a sur
- Posible origen de Horcajo: asentamientos de pastores que utilizaban las vías pecuarias para el trasiego del ganado.
- Construcción del puente ligada posiblemente al uso de estas vías pecuarias:
  - Cordel de la Ladera del Lomo
  - Cañada de la Risca
  - Vereda de Coslada
  - Cordel de la Pasadilla

## PLAN DE ACTUACIÓN

- Vías pecuarias de la Comunidad de Madrid long. 4.200Km
- Ley 8/98 15 junio de Vías pecuarias de La Comunidad de Madrid
- Plan de uso y gestión de las vías pecuarias
- Intervención sobre el puente integrada en la recuperación de red de vías pecuarias



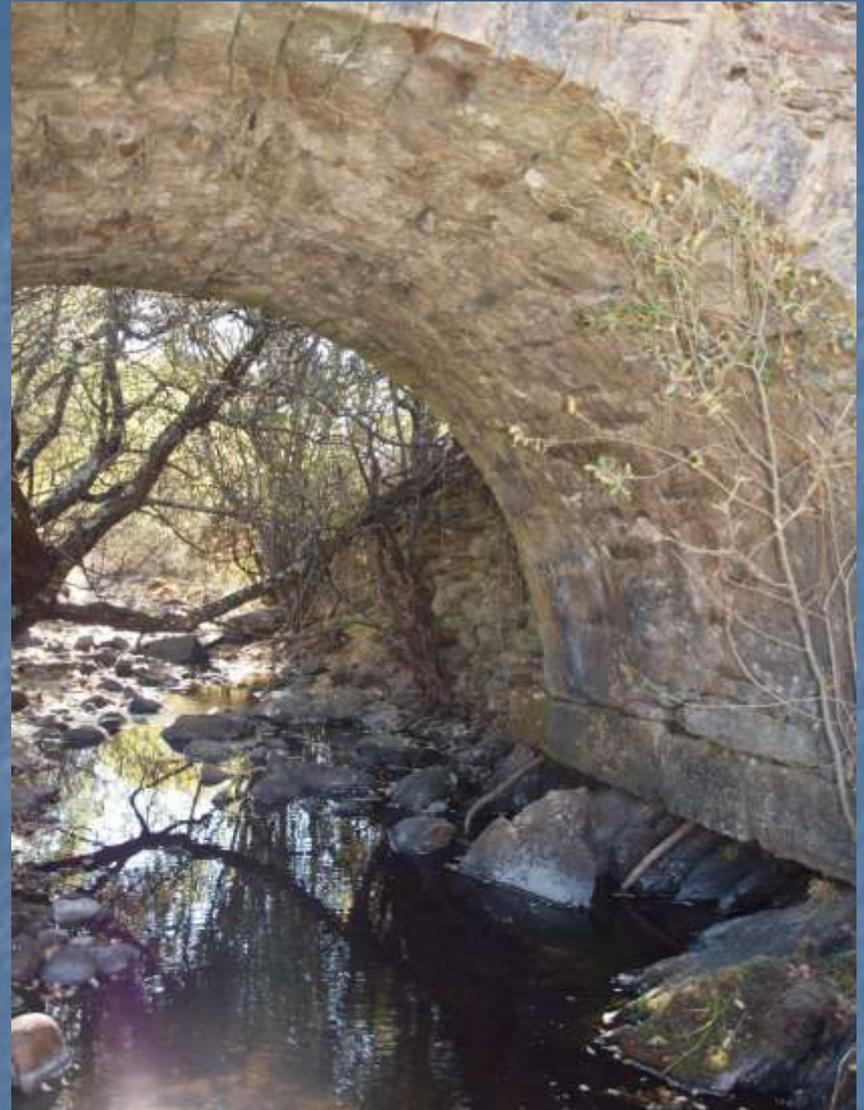


- ESTADO ACTUAL RUINOSO
- ABANDONO
- AVANZADO DETERIORO



## DIAGNÓSTICO CONSTRUCTIVO

- Dos bóvedas de cañón
- Se conserva sólo la del ojo del margen derecho
- Arranques bloques prismáticos gran tamaño
- Dovelas de granito diferentes tamaños





No se aprecian asentos del terreno ni daños estructurales en los elementos de cimentación y arranque de bóvedas









Bloques de cimentación ocultos por los sedimentos.

No se aprecian asientos diferenciales.





- Tajamar y espolón en pila central
- Adosados a la fábrica de la pila, no trabados
- Interior tímpano relleno de bolos.





ESPOLÓN ALZADO SUR



## ESTRIBO LATERAL EN BUEN ESTADO

- Apoya completamente en ladera del terreno
- Contrafuerte transversal



- Estribo margen izquierdo desaparecido.
- Diferencia de 1,15m entre cotas de accesos al puente.
- Se conserva parte del arranque



- Pretil conservado parcialmente
- Fábrica de sillarejos de granito de varios formatos



- Tablero completamente desaparecido.
- Se aprecia el trasdós de dovelas.

## DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO

### **Principales causas de deterioro**

- Abandono
- Presencia constante de humedad (agua del río y agua de lluvia)

Agua: agente de degradación directa (actúa directamente sobre los elementos)

- Meteorización de la piedra
- Disgregación del mortero de juntas

Favorecen la aparición de otros agentes de deterioro

- Plantas superiores
- Microorganismos



## Meteorización de la piedra

- Ciclos hielo-deshielo
- Exfoliación
- Fisuración
- Placas



## Pérdida de mortero de juntas

- Nuevas vías de entrada a los agentes de deterioro
- Pérdida de estabilidad de la estructura. Movimientos locales de piezas.





## BIODETERIORO

- Deterioro físico.
  - Disgregación del sustrato de la piedra donde se sustentan
  - Enraizamiento de plantas superiores. Pueden alterar capas más internas de los elementos.
- Deterioro químico. Reacciones químicas del metabolismo que producen ácidos perjudiciales para la piedra.

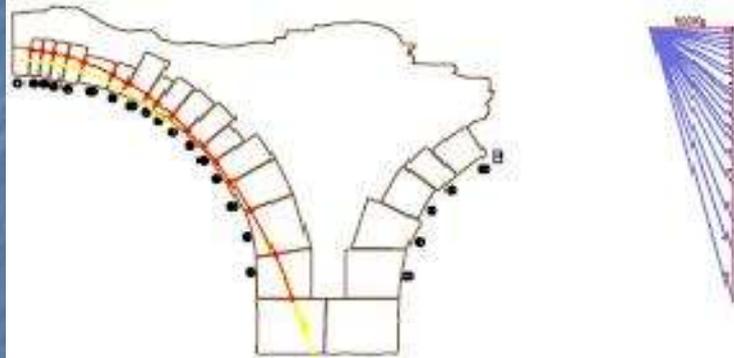




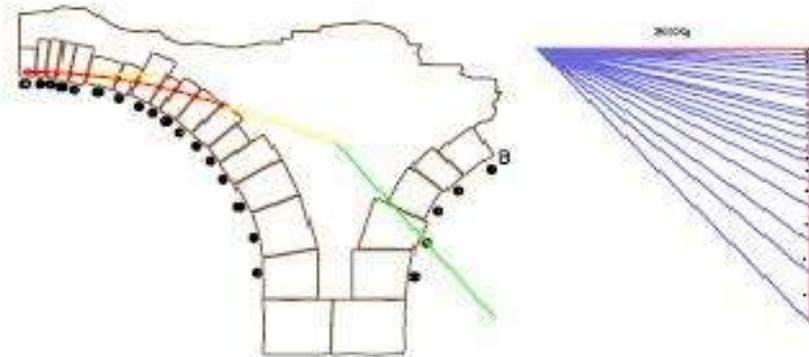


# ANÁLISIS ESTRUCTURAL ESTADO ACTUAL

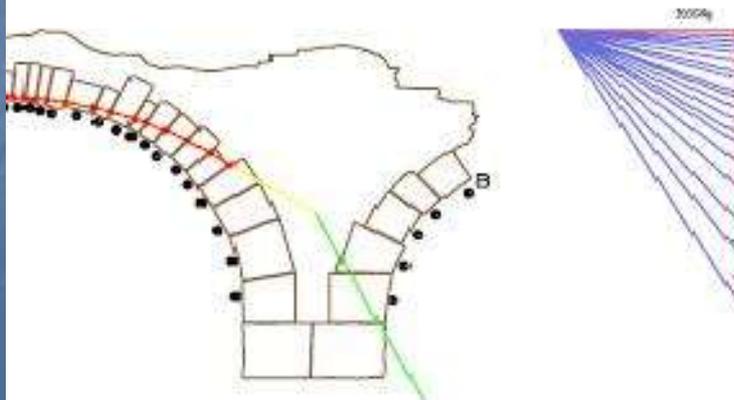
La línea de empujes máximos coincide prácticamente con un empuje horizontal de 900kg. Recorrido el interior del trazo del arco hasta el salmer acercándose al intradós en la zona de los tirantes.



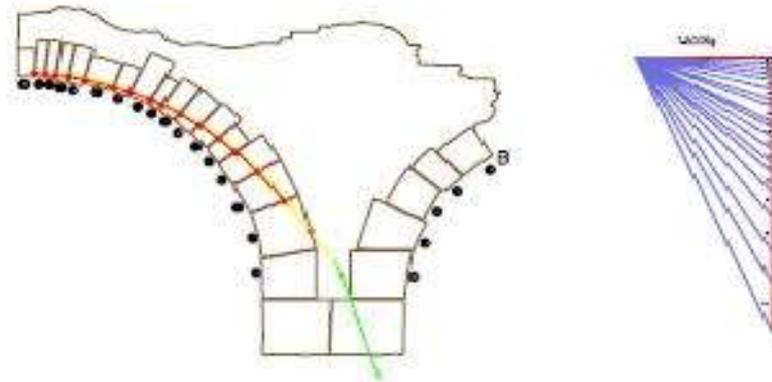
En el caso de un empuje horizontal de 2.000kg vemos que la línea de empujes se sale por el intradós de la daveila 27, lo que haría que el arco fallase abriéndose por el intradós en dicha zona. Además, un empuje de esta magnitud representa también un peligro para la estabilidad no sólo de la bóveda sino del entero conjunto, ya que el peso de la pila y el timpano no sería suficiente para hacer que la resultante de fuerzas se mantuviera dentro de la base de la pila, lo que provocaría su vuelco.



En el caso de un empuje horizontal de 2.000kg vemos que la línea de empujes se sale por el intradós de la daveila 29, lo que haría que el arco fallase abriéndose por el intradós en dicha zona. Además, un empuje de esta magnitud representa también un peligro para la estabilidad no sólo de la bóveda sino del entero conjunto, ya que el peso de la pila y el timpano no sería suficiente para hacer que la resultante de fuerzas se mantuviera dentro de la base de la pila, lo que provocaría su vuelco.



La línea de empujes dada por una fuerza horizontal de 1.500kg vendría a coincidir con la línea de empujes máxima, tal y como se aprecia en el gráfico. A pesar de que los empujes no llegarían al arranque del arco, serían absorbidos por la pila del evento, lo cual, además, centraría dichos empujes junto con el peso del timpano, de modo que la resultante de fuerzas base pasaría desde el centro de la base de la pila, asegurando la seguridad de vuelco.



## Conclusiones del diagnóstico

- Agua y abandono causas principales del deterioro del puente
- El conjunto terreno-cimientos es estable y no es necesario intervenir en ellos
- El colapso de la bóveda pudo deberse a un fallo en el estribo del margen izquierdo frente a empujes horizontales, por deficiente diseño y/o ejecución.

# PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

## FASES

- Reparación, limpieza y consolidación
- Reconstrucción
- Tratamientos preventivos

# Reparación, limpieza y consolidación

- Limpieza de la vegetación asentada sobre el puente y retirada de la capa de tierra vegetal
  - Medios mecánicos y manuales
- Eliminación de microorganismos y otros agentes de degradación biológicos.
  - Análisis previos en laboratorio
  - Biocidas en solución acuosa
- Limpieza de costra y suciedad superficial en paramentos.
  - Medio mecánicos: chorro de microesferas de vidrio
- Reposición de piezas y relleno de juntas con mortero de cal hidráulica
  - Mismo material que el original: granito gneis
- Consolidación e los elementos de fábrica
  - Productos silicoorgánicos

# Reconstrucción

## Puntos de partida para la reconstrucción

- El conjunto terreno-cimientos es estable
- Posible fallo en el estribo como causa de colapso
- Los elementos que quedan en pie del arranque de la bóveda derruida están en su posición original

## Criterios de intervención

- Intervención mínima
- Respetuosa: utilización de técnicas y materiales acordes a la construcción tradicional
- Discreta: integrada en el entorno



Nivel de arranque del tramo de bóveda que queda en pie

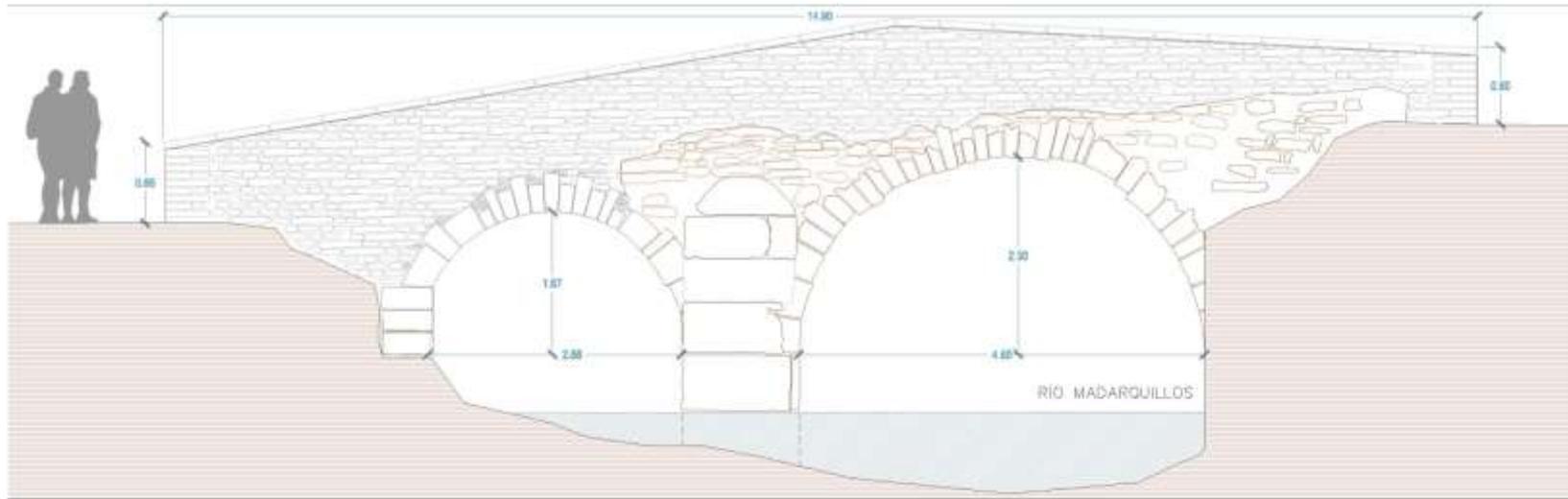
Nivel superior del bloque de granito considerado como



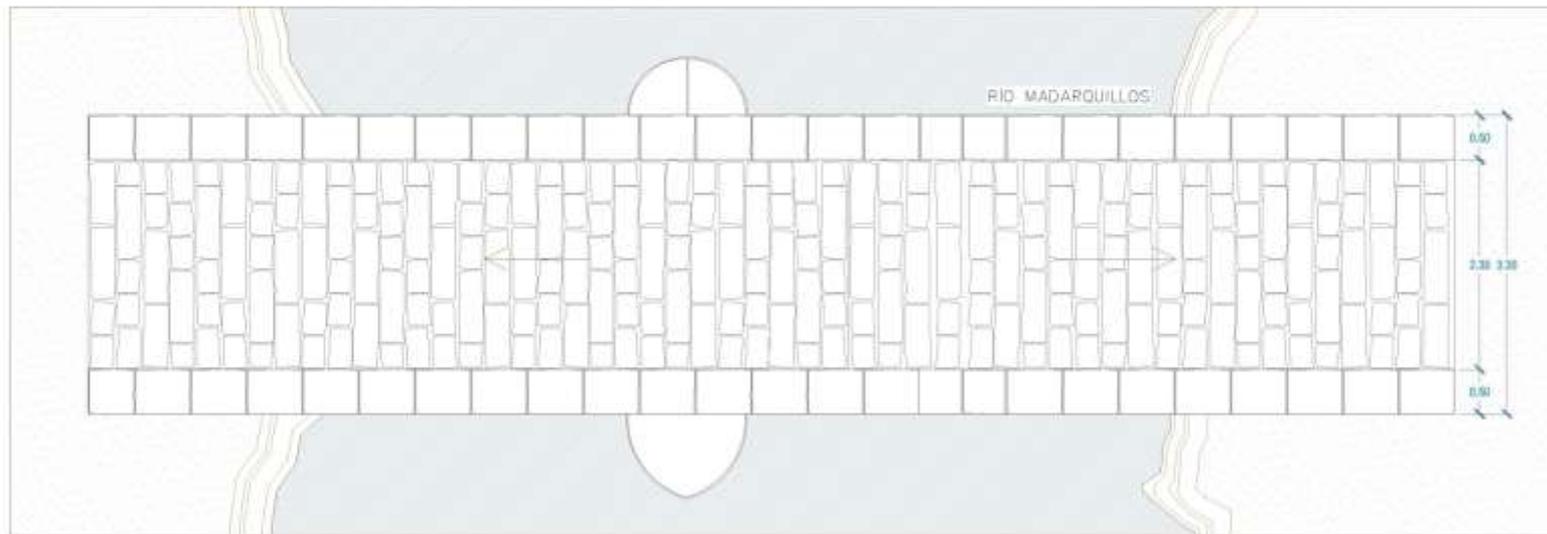
Nivel del arranque del tramo de bóveda existente

Nivel superior del bloque de granito considerado como arranque del tramo de bóveda desaparecida

# RECONSTRUCCIÓN



ALZADO NORTE



PLANTA

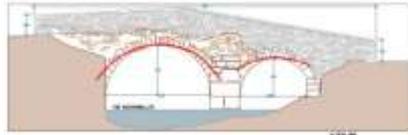
ESCALA 1/50

PROYECTO DE RESTAURACIÓN PUENTE ANTIGUO DE HORCAJO DE LA SIERRA

INTERVENCIÓN

MÁSTER UNIVERSITARIO EN PATOLOGÍA, PERITACIÓN Y REHABILITACIÓN SOSTENIBLE DEL PATRIMONIO

Carolina Bermúdez González [arquitecta] Antonio Jiménez Carchano [arquitecto técnico]



Se ha realizado el análisis estructural del puente según la propuesta de reconstrucción, utilizando el método gráfico de líneas de empuje y siguiendo los mismos criterios que los utilizados en análisis del estado actual del puente.

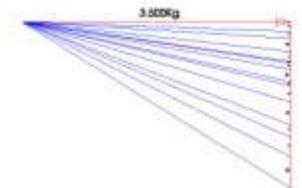
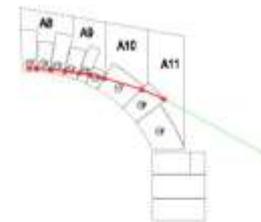
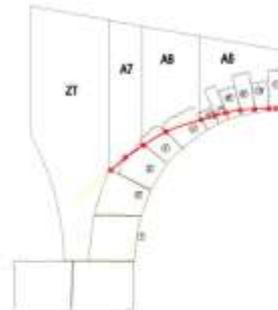
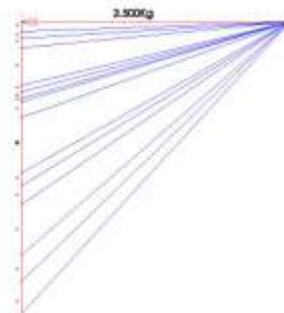
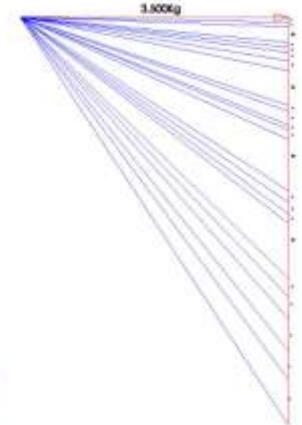
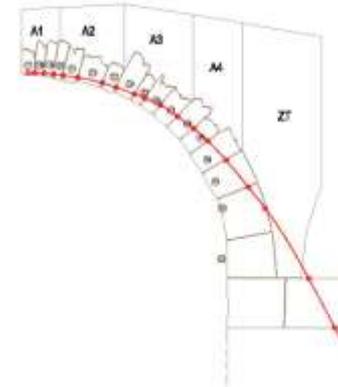
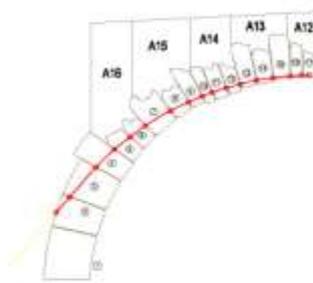
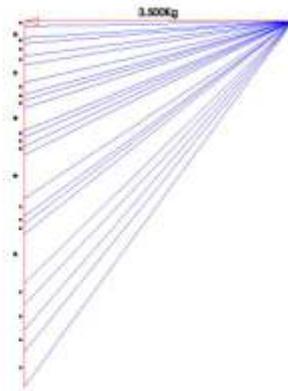
Para tener en cuenta el peso del relleno interior del puente, se ha dividido en áreas dicha zona, calculándose sus pesos y centros de gravedad respectivos para posteriormente añadidos al polígono arriñunicular. Para el análisis se ha escogido una sección interior del puente sobre la que gravita el peso del relleno de cal y canto y el peso de las baldosas de granito que conforman el tablero. Se considera más débil la sección central del puente respecto a una sección exterior, ya que sobre aquella no gravita el peso de las pizarras del pretil, lo que queda del lado de la seguridad ya que la carga repartida tiende a estabilizar la estructura de cara a empujes laterales fuertes.

Tras realizar varios tanteos, se encuentra una línea de empujes máxima que admite un estado de equilibrio de la estructura en su conjunto y que equivale a un empuje en las claves de las bóvedas equivalente a 3.500Kg. Se puede apreciar cómo el punto más débil de la estructura es el correspondiente a la zona de los riñones del arco pequeño. En este punto, y para el estado de cargas indicado, la línea de empujes sale casi horizontal hacia el estribo lateral, que finalmente se encargará de contener este empuje. Un estado de cargas que diera lugar a un empuje mayor de 3.500Kg supondría un riesgo para la zona descrita, a partir de la cual podrían formarse rótulas que dieran lugar a un mecanismo de colapso en la estructura.

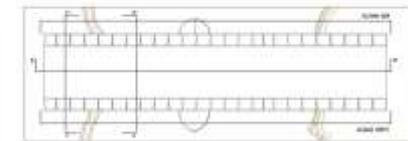
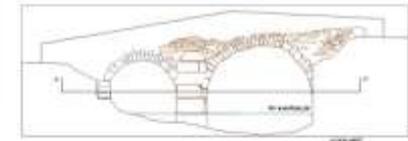
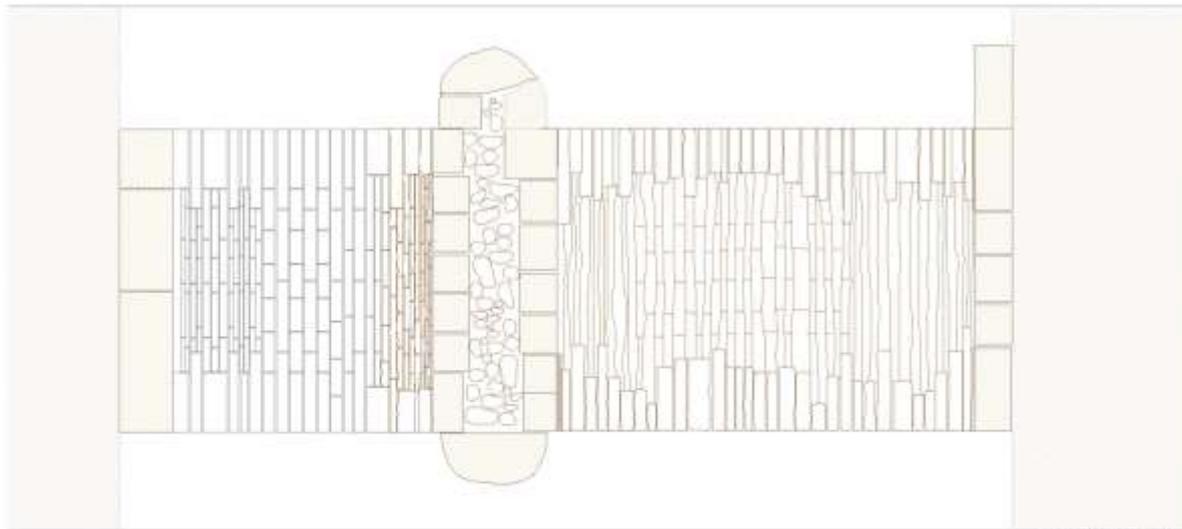
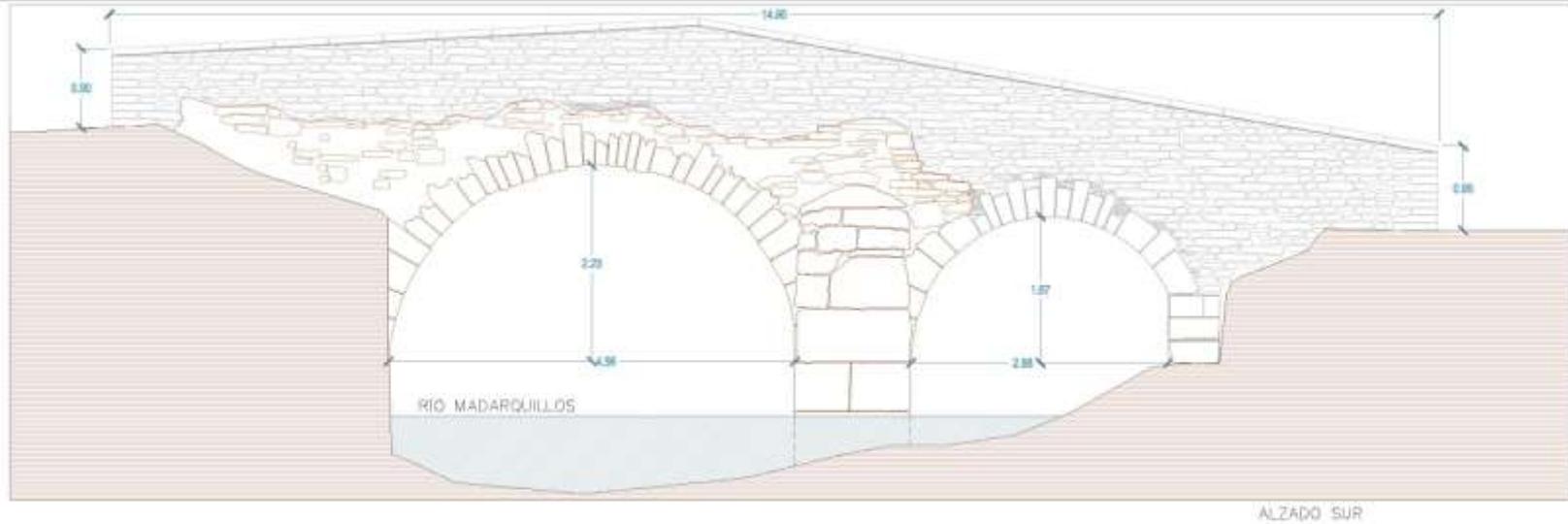
Como se observa al comparar ambos análisis (estado actual y estado reconstruido) se aprecia, como era de esperar, la mayor estabilidad de la estructura una vez reconstruida, pasando de un empuje máximo de 1.500Kg a uno de 3.500Kg y cómo la carga repartida del peso que gravita sobre las bóvedas aumenta la estabilidad de la estructura.

El punto más débil de la estructura ya no es la pila central, que queda perfectamente estabilizada, sino el estribo del margen izquierdo, que es el que no existe en la actualidad.

Esto induce a pensar que la bóveda demuda pudo fallar en ese mismo punto. Esto es lógico si tenemos en cuenta la diferencia de altura entre ambas bóvedas, lo que hace necesario una correcta ejecución del estribo en cuestión.



# RECONSTRUCCIÓN



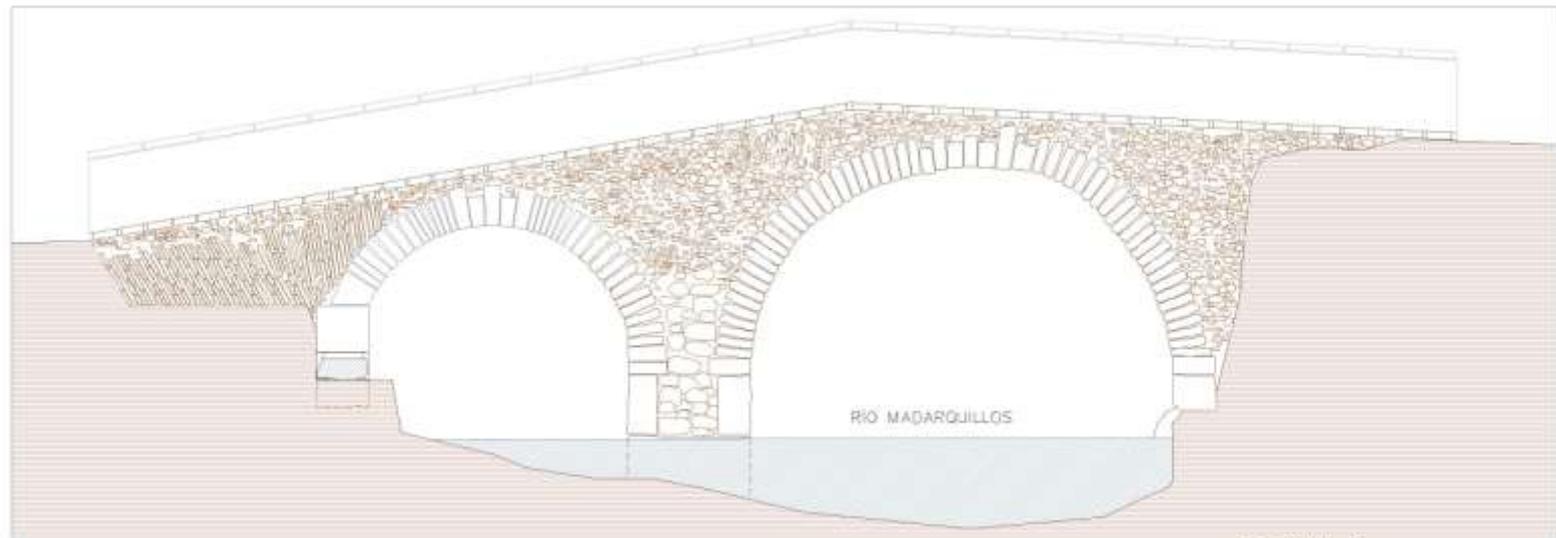
SECCIÓN C-C'

ESCALA 1/50

PROYECTO DE RESTAURACIÓN PUENTE ANTIGUO DE HORCAJO DE LA SIERRA

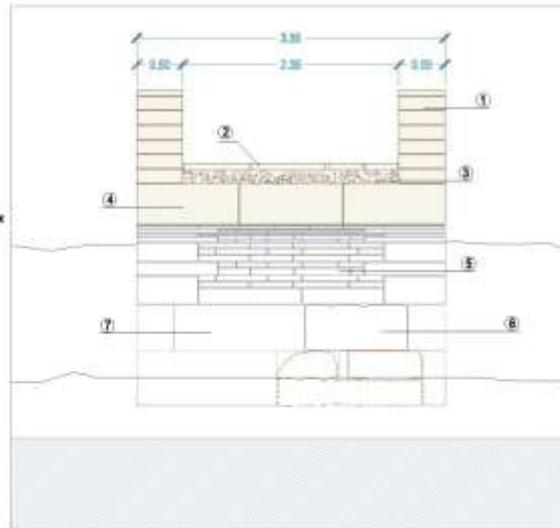
INTERVENCIÓN

# RECONSTRUCCIÓN

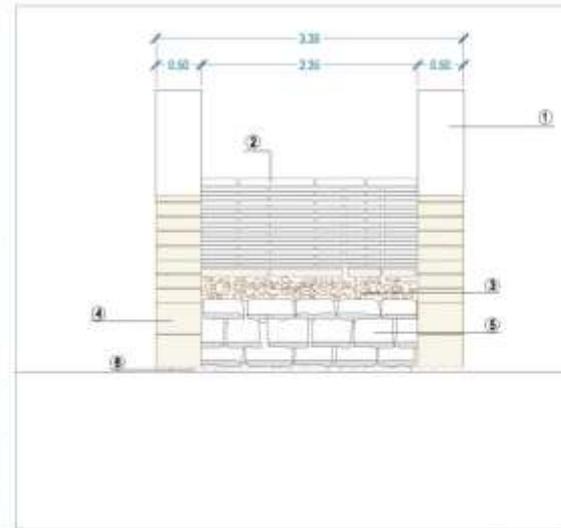


SECCIÓN D-D''

- ① Perfil nuevo. Sillares de granito gris sección 50x15cm
- ② Pavimento baldosa de granito 5cm espesor
- ③ Relleno formación de pendientes de cal y canto
- ④ Dovelas de granito gris
- ⑤ Dovelas sección interior de bóveda. Granito gris 40x40x6cm espesor
- ⑥ Bloques de granito originales
- ⑦ Bloques de granito nuevos

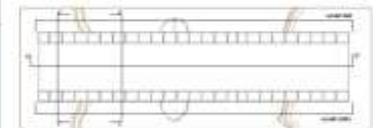


SECCIÓN E-E'



SECCIÓN F-F'

- ① Perfil nuevo. Sillares de granito gris sección 50x15cm
- ② Pavimento baldosa de granito 5cm espesor
- ③ Relleno formación de pendientes de cal y canto
- ④ Sillares de granito gris 50x40cm
- ⑤ Fibras placas de granito gris 40x40x6cm
- ⑥ Capa hormigón de cal de limpieza



ESCALA 1/50

PROYECTO DE RESTAURACIÓN PUENTE ANTIGUO DE HORCAJO DE LA SIERRA

INTERVENCIÓN

# RECONSTRUCCIÓN

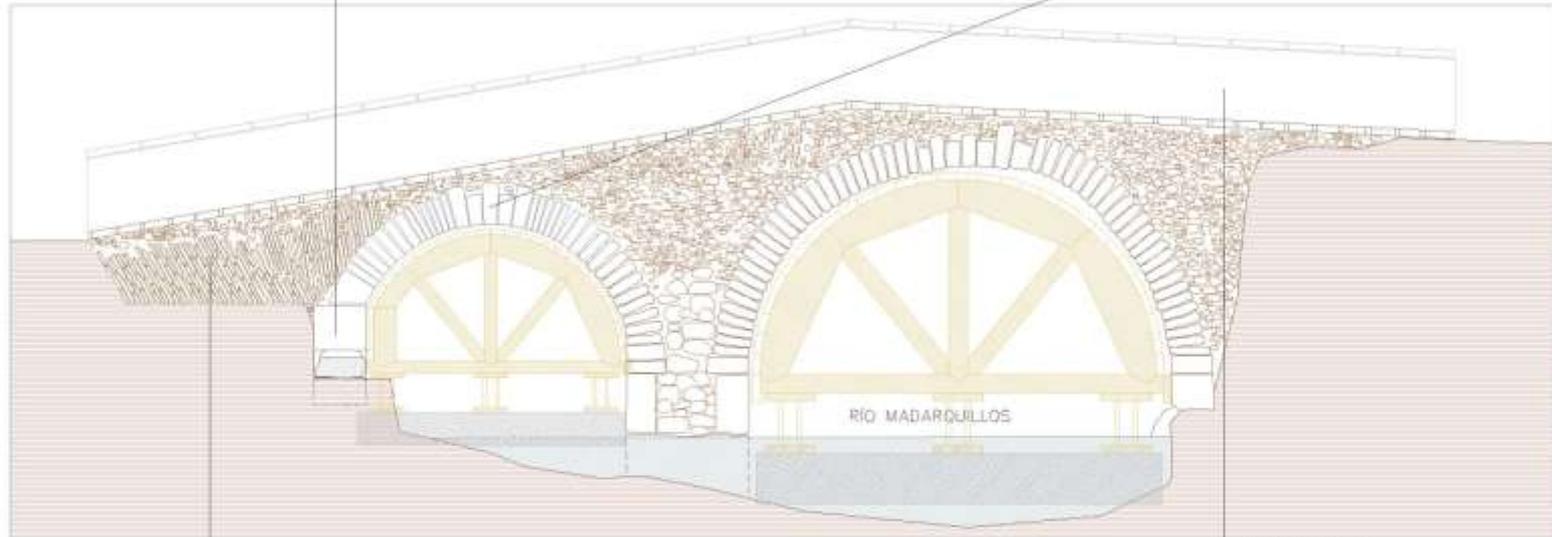
## 1. Arco de bóveda demitida

La reconstrucción comenzará con la recuperación del arco de la bóveda situado en el margen izquierdo del río, aguas arriba. Se conservan los bloques originales que mantienen su posición original, añadiendo las piezas que faltan, de formato similar a los existentes. En las zonas donde se ubiquen las piezas nuevas, se comprobará la existencia de bloques de cimentación y su estado. De no existir, las piezas nuevas deberán llegar a la cola de apoyo de los cimientos existentes.

## 2. Construcción de la bóveda

El proceso constructivo continúa con la formación de una cimbra, siguiendo la curva generatriz deducida a partir de los datos obtenidos sobre el terreno, adecuándose a la ubicación actual de las partes que se conservan. Igualmente se procederá al apeo de la bóveda existente, de forma que no sufra las cargas que se originen en los trabajos que se deberán efectuar sobre ella.

Una vez realizados y colocados la cimbra y el apeo, se procederá a levantar la bóveda del margen izquierdo, siguiendo el aparejo original con disposición y formato de piezas similares a los existentes.



## 3. Relleño interior y estribo lateral

Terminada la bóveda, se erigen los hojos laterales que contendrán el relleno de cal y canto para la formación de pendientes. Se realizarán ambos prácticamente de forma simultánea, de modo que el hormigón de cal se vierta por capas para conseguir un mejor fraguado en aquellas zonas donde entre más cantidad. Se pondrá especial atención a la zona del estribo lateral, donde se sustituirá el relleno de cal y canto por una fábrica de piezas de granito labradas y dispuestas con la inclinación adecuada a la línea de empujes máxima definida en el análisis estructural. Para poder levantar la fábrica de piezas de granito, previamente se excava la capa de tierra vegetal hasta llegar a un estrato consistente para las cargas que ha de soportar que, a falta de un estudio geotécnico, suponemos se sitúa antes del metro de profundidad.

Como base para la fábrica de piezas de granito se realizará una capa de hormigón de cal sobre la cola de terreno excavado con el fin de separar la fábrica del contacto directo con el terreno y tener una base de apoyo regular para la misma. En los laterales del estribo y sobre esta misma superficie se levantará un fábrica de sillares de granito para recibir el prell en esta zona, de modo que evitamos entrar la fábrica del prell (más débil por tener más juntas) en el terreno y le dotamos de una base de apoyo firme.

La diferencia de niveles entre los puntos de acceso al puente obliga a un trazado del tablero en doble pendiente. Se han tenido en cuenta las cotas de las claves de los arcos como puntos críticos en cuanto al relleno interior, ya que suponen la sección de menor espesor. Se ha considerado como espesor mínimo unas 15cm desde el trasdós de la clave, puntos a partir de los cuales se ha trazado la pendiente del tablero uniéndolos con las cotas de acceso del terreno existente.

## 4. Perfil y tablero

Cuando se haya alcanzado la cola del relleno para pendientes se levantará la fábrica de los perfiles hasta su altura, que seguirá el trazado del tablero definido por el relleno. Se coloca a continuación las piezas de granito que conforman el tablero, cogidas con mortero de cal.

El descimbrado no tendrá lugar hasta que haya pasado el tiempo suficiente para que las juntas del pavimento del tablero hayan adquirido suficiente consistencia. Cuando se proceda a descimbrar se hará de forma regular en todos los puntos de apoyo y controlando en todo momento que no se produzcan movimientos excesivos en las bóvedas. Se realizará el descimbrado simultáneamente al desapeo de la bóveda existente para evitar la aparición empujes laterales en la pila central que puedan resultar peligrosos para la estabilidad del conjunto.

## Tratamientos preventivos

- Aplicación de producto hidrófugo en elementos nuevos y originales
- Inspecciones periódicas

**GRACIAS**

