

POR LA
REDACCIÓN



Acto de inauguración

El pasado 5 de octubre, y organizada por el Ministerio de Fomento, el CEDEX y la Asociación Técnica de Carreteras con la colaboración del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, tuvo lugar en la sede de este último la citada jornada, cuyo acto de inauguración comenzó con el saludo y agradecimiento a los asistentes de **D^a M^a Ángeles Yáñez**, Subdirectora General de Planificación del Ministerio de Fomento. Posteriormente, **D. Ramón del Cuvillo**, Presidente del Comité de Puentes de la A.T.C., hizo una breve historia del Comité, explicando su funcionamiento, fruto del cual se había editado un primer glosario de términos con el fin de definir y clasificar su terminología, calificando de "ilusionante" el trabajo sobre este tipo de puentes. Finalizó su intervención agradeciendo el esfuerzo personal de **D^a M^a Ángeles Yáñez** en este Comité.

Después intervino **D. Rafael Astudillo**, Director del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX, subrayando la importancia de este tipo de estructuras y resaltando algunas actuaciones del CEDEX en relación con los puentes de fábrica, desde acciones puntuales sobre estas estructuras (puentes en Molina de Aragón, Burgos, etc.) o de inspección de puentes de RENFE (inspección general,

caracterización geométrica, daños y recomendaciones) hasta el Proyecto Albaplata, que se realiza en un tramo de la Ruta de la Plata y del que explicó su proceso. Finalizó su exposición destacando el "Manual de inspección de puentes de la Dirección General de Carreteras", y el hecho de que existan tan pocas especificaciones sobre este tipo de puentes.

Desarrollo de la jornada

D^a María Ángeles Yáñez, del Ministerio de Fomento, y **D. Luis M^a Ortega Basagoiti**, de Geocisa, presentaron la ponencia "**Puentes de fábrica: Situación actual**", en la que la primera fue justificando el porqué de esta jornada. Tras ello, dividió a los puentes de fábrica en tres familias: puente recto, puente arco (casi la totalidad del patrimonio histórico) y puente colgado cuya tipología cae en desuso a

Jornada sobre puentes de bóvedas de fábrica



De izquierda a derecha, D. Rafael Astudillo, Dña. M^a Ángeles Yáñez y D. Ramón del Cuvillo.

partir de los puentes metálicos y de hormigón armado o pretensado. Posteriormente presentó unos datos sobre su número y materiales (figuras 1 y 2), destacando que el 85% de los puentes de bóveda existentes son de piedra u hormigón, mientras que los de ladrillo se sitúan en torno al 10%. Así mismo, los porcentajes de piedra y hormigón resultan similares (>40%) en la Red del Estado, mientras que en la Comunidad de Madrid predomina el hormigón (62%) frente a la piedra (24%).

Más adelante, afirmó que, de los puentes de bóveda en la CAM, el 30% está sometido a una IMD superior a los 7 500 veh./día con un 7,5% de pesados y al menos un 10% son de alto valor patrimonial.

Finalmente y tras relacionar la estructura de las jornadas tanto en su temario como en las intervenciones y justificando su relación con las diferentes circunstancias de los puentes, concretó que los objetivos de las jornadas

eran aportar los conocimientos y la situación actual de la técnica, suministrar una información básica sobre este tipo de puentes para los ingenieros dedicados a su conservación, alimentar el interés por este patrimonio así como su conservación y propiciar el avance de técnicas de rehabilitación respetuosas con ellos.

“La identificación de los elementos constructivos de los puentes de fábrica”, fue presentada por **D. José M. Simón Talero Muñoz**, de José A. Torroja, Oficina Técnica, S.A. En ella y tras hacer una breve introducción histórica, se refirió a las partes de los puentes de fábrica que fueron definidas, tal y como aparecen en el Primer Glossario anteriormente enunciado.

En cuanto a los estribos, hizo referencia a las fórmulas empíricas de Leveillé para determinar su espesor en bóvedas escarznas y de medio punto, y, por lo que se refiere a las pilas, explicó la evolución de los espesores en arranque, desde los romanos (0,3 L), época medieval (0,5 L) y S. XVIII, en donde las pilas se utilizan con espesores del entorno del 10% de la luz a salvar.

Ya en las bóvedas y tras citar una curiosa referencia sobre un puente sobre el río Tormes, afirmó que los dos problemas principales de diseño, en cuanto a su capacidad de soporte son su forma y su canto, pasando revista a las bóvedas de medio punto (romanas y medievales), en las que el rebajamiento del intradós es de 0,5, bóvedas escarznas y carpaneles, las elípticas que dan rebajamientos menores de 1/2 (si son superiores, se denominan peraltados) y las ojivales, deteniéndose en el concepto de espesor en clave, la “esbeltez” en la Edad Media, bóvedas de sillaría, etc.

En cuanto a los tímpanos, en general son siempre macizos para puentes de luz menores de 20-30 m, aligerándose en algunas ocasiones.

Finalmente, trató del relleno, que habilita una rasante diferente a la de la bóveda, transmite y reparte las cargas de uso a la bóveda resistente y la estabiliza frente a posibles fletores.

D. Bienvenido Martínez Fernández, del CEDEX, intervino con la ponencia **“Daños en los puentes de fábrica y sus causas”**, subrayando que el fallo por cimentación ha sido la causa más frecuente del colapso natural de los puentes de fábrica. Entre los daños en las cimentaciones, destacó los más frecuentes, como la disolución de

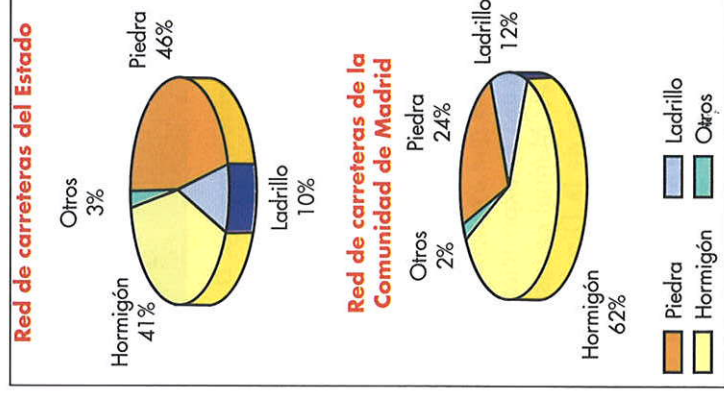
por la acción de las aguas sobre el conjunto de su canal y la modificación del trazado de un río, así como la evolución de su perfil longitudinal.

Posteriormente, se detuvo en otros problemas como la erosión del lecho bajo los arcos y la formación de fosas aguas abajo, el paso del agua por el trasdós de estribos, el deterioro de las protecciones de escollera, la formación de cavidades bajo los apoyos y la desprotección de pilotes y arrastres de bloques por la corriente.

Tras ello, destinó la segunda parte de la ponencia a los daños en la subestructura y en la superestructura, comenzando con los extractos de diferente estructura o composición, la alveolización y la erosión, piedra con exceso de humedad en reconstrucción, puesta en obra de sillares de rocas sedimentarias con placas de estratificación inadecuadamente colocados, la incompatibilidad de materiales, las erosiones por disolución de carbonato cálcico o en atmósfera sulfurosa, eflorescencias, tensiones internas, la helicidad, así como los asentamientos uniformes del terreno o la deficiente canalización de las aguas superficiales o infiltradas en el relleno, etc.

En cuanto a la superestructura, presentó los agrietamientos de bóvedas y fisuraciones, tanto longitudinales en la banda central o en uniones entre bordes y boquillas, como transversales en arcos, bóvedas y que triarticulan la bóveda. Además, expuso y contempló los problemas de agrietamiento y fisuras de diagonales en la bóveda, deslizamiento y caída de dovelas, defectos de comportamiento estructural de la bóveda y que se observan en los tímpanos, deslizamiento horizontal o giro del tímpano, tajamares, impostas, etc.

La **“Inspección y conservación”** fue la ponencia presentada por **Dña. Olga Calvo Lucas**, del Ministerio de Fo-



Gráficos 1 y 2.

cal que conduce a la disgregación de morteros y de antiguos macizos de hormigón de cal, cuyo proceso no se puede impedir, pero sí ralentizar en función de la permeabilidad del hormigón y del mortero. Tras ello, destacó la alteración química por aguas agresivas de morteros y hormigones, la abrasión de los pilotes de madera, la pudrición de la madera y la corrosión de los elementos metálicos. Seguidamente, definió la socavación y explicó los efectos

análisis estructural de puentes de bóveda de fábrica, para cuya consecución es necesario partir de una documentación, "cuanta más, mejor" sobre su geometría, naturaleza y estado del puente y las características de los materiales. Posteriormente, procedió a la caracterización de la estructura, con su configuración general y sus elementos estructurales. Tras subrayar la necesidad de su clasificación tipológica, se detuvo en las bases de cálculo que están íntimamente vinculadas a los modos de fallo que se han de prevenir y el fomento de seguridad que se adopta. El tema lo dividió en 1) Acciones (fundamentalmente los consignados en los vigentes /AP e IAPF): *permanentes gravitatorias*, debidas al peso de la estructura y a las cargas muertas correspondientes; *Sobrecargas gravitatorias*, cuyo tren de cargas condicionante no es siempre el mismo, lo que hace estudiar los posibles envoltentes de rotura para todos los diferentes modos de fallo; *de frenado, eólicas, térmicas, reológicas y movimientos impuestos*. 2) Materiales, explicando sus características y los comportamientos uniaxial, biaxial y fuera de plano, así como la resistencia al corte. 3) Modos de fallo: por formación de mecanismos asociados a la aparición de tantas rótulas como sea preciso para convertir la estructura en un mecanismo; por inestabilidad; por pérdida de material (compresión excesiva), que es raro; por separación de roscas (rasante), en bóvedas de varias roscas por rotura de la adherencia del del mortero entre ellas, si no existe trabazón por aparejo entre heladas; y otros formatos de fallo, como por formación de mecanismos multiarco o de corante o agotamiento por compresión. 4) Formato de seguridad.

Finalizó su intervención subrayando, entre otras, la necesidad de realizar más ensayos para caracterizar los puentes de fábrica.



D^a Olga Calvo Lucas en un momento de su exposición.

ca y que las reglas de proyecto de otros tiempos no son válidas para las actuales exigencias.

La "**Evaluación estructural (II)**" fue presentada por **D. José Antonio Martín-Caro**, de la ETSICCP de la Universidad Politécnica de Madrid, en la que expuso los métodos imprescindibles para abordar un estudio suficientemente acotado. Éste lo dividió en agotamiento y en servicio; y, dentro del primero, comenzó con los procedimientos basados en el equilibrio: obtención de línea de presiones y el método plástico, que no necesita conocer el estado tensional bajo el que se encuentran las secciones de la bóveda en el momento de la evaluación. Entre otros aspectos, y sobre la línea de presiones, afirmó que la real es aquella que consigue un mínimo empuje en clave y cuya construcción se puede realizar por procedimientos gráficos o analíticos. Una línea de presiones circulando por el núcleo central de la bóveda indica que está totalmente comprimida, y la validez de este procedimiento está acotado por el teorema del límite inferior de la plasticidad.

Sobre los métodos plásticos, afirmó que, mediante su aplicación se obtiene una sobrecarga última de colapso de la estructura.

ra que está asociado, en este caso, a la función de un mecanismo de flexión. Para su obtención, se hace uso del análisis plástico y del teorema del límite superior de plasticidad. Tras ello, presentó los procedimientos basados en los bloques rígidos que propugnan la obtención de la sobrecarga última de mínima energía, tomando como hipótesis de partida la indeformabilidad de los cuerpos que forman la estructura y el análisis elastoplástico a niveles estructura y sección. Luego se detuvo en la direccionalidad del comportamiento y en los dominios de deformación, presentando a continuación el modelo de cálculo, basado en una bóveda que se representa a través de elementos barra y el relleno granular a través de muelles no lineales. Posteriormente, presentó el estudio en servicio, el modelo de cálculo y las variables de control, así como un ejemplo práctico (de puente de arco de fábrica de finales del S. XIX y compuesto por una sola bóveda), clasificado tipológicamente, presentando sus ratios geométricos, parámetros mecánicos y su evaluación estructural que contemplaba tanto el estado en agotamiento como en servicio, concluyendo que dentro del agotamiento por formación de mecanismos el coeficiente de seguridad obtenido es al menos de 3,00 bajo cualquiera de las aproximaciones, que la seguridad frente al posible agotamiento por compresión en la fábrica es difícilmente cuantificable y que el modo fallo por separación de roscas es muy improbable en esta estructura debido al aparejo atizado utilizado en la confección de la bóveda.

"**Las técnicas de reparación**" fueron presentadas por **D. Carlos Peralta Fernández**, de *Composan*, quien las clasificó en dos grandes grupos: *reparaciones*, que subsanan deterioros o daños de pequeña importancia que no hacen peligrar la estabili-

dad de la obra de fábrica, y *refuerzos*, que son necesarios para devolver a una estructura sus cualidades primitivas de estabilidad y servicio. En general, las reparaciones se pueden clasificar en a) *Cimentaciones*: las socavaciones, si son importantes, precisarán de refuerzo estructural y, si no lo son, a base de zunchos perimetrales, escolleras, etc. Los zunchos deberán abarcar todo el perímetro de la cimentación, ser de hormigón armado y 30 cm mínimo de espesor, etc. Las escolleras deberán pesar, como mínimo, entre 500 y 800 kg por elemento en la capa inferior, y entre 80 y 150 kg en capas superiores; y las soleras se ejecutarán en hormigón armado de entre 20 y 30 cm de espesor. b) *Bóvedas*: los grietas, si son importantes, deberán coserse mediante bulones y grapas, y, si son de menor importancia, con grapas o simplemente sellados e insecticidas de elementos se tratarán de igual forma que las cimentaciones. Si se observa una erosión y pérdida de elementos generalizada se podrá optar por un gunitado de protección de pequeño espesor y armado con un ligero mallazo y, si ha tenido grandes daños, se reforzará la bóveda con una contrabóveda y hastiales de hormigón armado. c) *Paramentos*: retirada a mano de vegetación, pérdida de rejuntado que se realizará con mortero de cemento previa eliminación profunda del material, dejando una huella de 1 cm. Se evitarán las grapas por motivos estéticos. d) *Calzada*: los daños en pretiles se tratarán de idéntica forma que los métodos descritos con anterioridad y para la falta de impermeabilización se colocarán desagües con sus correspondientes gárgolas o mechinales o sustituyendo la calzada de rodadura.

Finalizó presentando algunos ejemplos de reparaciones efectuados por su empresa, como el puente de Reinosa.

D. Luis Salas López de Lerma, de TYFSA, presentó los **“Métodos de refuerzo”**, comenzando por presentar el objetivo de su ponencia y dividirla en *refuerzos de la infraestructura y estructurales*. Dentro de los primeros, presentó la *mejora del terreno mediante inyecciones* que corrigen las características geotécnicas del terreno y obtiene una respuesta resistente apta para soportar las capas actuantes y que se pueden conseguir por inyección de cementación y relleno o por inyecciones de compactación. Tras ello, presentó la *protección contra las socavaciones* (mantos de escollera, protección de gaviones, soleras, etc.); *recalcas profundas*, destacando la ejecución de micropilotes, atravesando las cimentaciones existentes, e incluso pilas, estribos y rellenos, ejecutándose desde la superestructura; *recalcas superficiales* para para disminuir tensiones sobre el terreno, saneo o refuerzo y saneado de los ciementos, con la utilización, en cada caso, de bataches, plintos o zunchos.

Los segundos, los refuerzos estructurales, los dividió en *morteros proyectados*, explicando los tres métodos de gunitado; *ensidos* estéticos y bulonados; *ensillados*, lo que supone la construcción de una segunda bóveda por el trasdós de la existente; *losas superiores*, que consiste en la construcción de una losa bajo la calzada para mejorar el reparato de sobrecargas sobre la bóveda; *arcos botareles* o bóvedas botareles, interpuestas entre pilas y/o estribos a una altura intermedia entre infraestructura y la bóveda principal; *anclajes al terreno*, muy útil en estribos altos y aletas con problemas de empuje y abombamientos de paramentos; *contrafuertes* y *refuerzo de alzados*, aplicable a boquillas y muros en vuelta o de acompañamiento; *cercados*, normalmente utilizados como refuerzo eventual que pueden ser

abiertos sobre zunchos de hormigón o vigas metálicas, incluso anclados a los estribos, o cerrados sobre solera y contrabóvedas de hormigón con perfiles menores o redondos de acero; *refuerzos y forros metálicos*, considerando las bóvedas de chapa plegada, tubos y ovoides bóvedas contrabóveda también de chapa plegada y forros o corazas de pilas circulares o tipo tabique; y, finalmente, los *anillos de hormigón*, que son refuerzos ejecutados por el intradós de bóvedas y cañones dañados, con nuevas bóvedas y cañones de hormigón, generalmente armados y, ocasionalmente, cerrados inferiormente con solera y contrabóvedas, y conectados a las fábricas existentes con anclajes a base de barras cortas.

“Un ejemplo de intervención en la red ferroviaria. Puente de los Franceses”, fue presentado por **D. Luis López Ruiz**, de RENFE. En cuanto a su patrimonio actual, informó que la red se compone de 6 300 puentes mayoritariamente de fábrica y, entre ellos, los de arco o bóveda representan el 58%. Después presentó, como ejemplos tipo, el puente sobre el barranco dels Masos, a base de sillera caliza y ladrillo cerámico; el puente sobre el río Alberche, básicamente de ladrillo sobre ciementos de mampostería ordinaria y pilotes de madera; y el viaducto sobre río Rianza, de hormigón en masa.

Posteriormente, se refirió a los daños más frecuentes de carácter estructural, funcional y ornamental explicando algunas de las actuaciones realizadas y explicando —a modo de ejemplo— la obra realizada en el paso inferior de la Cañada de San Pedro, de la línea Chinchilla-Cartagena.

Posteriormente, abordó la rehabilitación del Puente de los Franceses, el cual describió, pasando a las conclusiones que sobre su inspección realizó el CEDEX y finalizando su exposición

con las actuaciones realizadas: impermeabilización del tablero (geocompuesto de bentonita y sistema de drenaje con drenes de corte transversal), tratamiento de los paramentos de fábrica de ladrillo (picado de enfoscado y limpieza, tratamiento de grietas y fisuras, saneado y rellenos con resina y mortero epoxi, regeneración del paramento con mortero de reparación, separación y aplicación capa de mortero con pigmentos de 1 cm de espesor), tratamiento de paramentos de hormigón (limpieza de material con chorro de arena, regeneración de superficie mediante mortero de dos componentes, resina epoxi bicomponente en fisuras longitudinal central y transversales y tratamiento de las superficies de hormigón con pinturas anticarbonatación), tratamiento de superficies de granito y complementarias.

D. Leonardo Fernández Troyano, de *Carlos Fernández Casado, S.A.*, presentó la **“Adaptación funcional de los puentes de fábrica”** en cuya introducción afirmó que hasta el S. XVIII se han construido con una técnica que ha permanecido prácticamente invariable: la bóveda de dovelas yuxtapuestas. Más adelante dividió las intervenciones en los puentes de piedra en tres grupos: a) reparaciones, reconstrucciones o restauraciones para asegurar su supervivencia; b) actuación para adaptarles a nuevas necesidades funcionales; y c) la sustitución por otro nuevo cuando no es posible mantener su tráfico.

Dentro del *primer grupo*, dividió las causas en naturales y artificiales, destacando que la acción natural más destructiva en el puente es el propio río, citando el puente medieval de Port de Bar, que desapareció totalmente. Tras subrayar a la cimentación como punto débil de los puentes de piedra, se detuvo en los problemas en las bóvedas de arcos y sus causas, así como las causas-



Mesa de clausura presidida por el Director General de Carreteras, D. Antonio Alonso.

tes de las características de la piedra, las filtraciones de agua en el interior del puente, el empuje de las tierras sobre los tímpanos (puentes de Guardiola de Berga, Peñafiel sobre el Duero, etc.).

Por otro lado y en lo relativo a *actuaciones de adaptación*, entronizó históricamente el tema, justificando algunas adaptaciones y ensanches y explicando algunas soluciones como los ensanches de los arcos mediante bóvedas de hormigón adosadas (Arfá sobre el Segre, Duque sobre el Tormes), mediante vigas adosadas al puente original (de Trujillo en Plasencia, Astigarraga sobre el Urumea, etc.), realizando una nueva bóveda con el intradós por encima del trasdós de la primitiva (Burgo sobre el Lérez, San José sobre el Turia), por voladizos de laterales (Alcolea sobre el Guadalquivir, Algete sobre el Jarama), mediante traslación paralela de uno de los paramentos (puente de Segovia en Madrid) y adaptaciones en alzado (Caldas de Montbuy, entre otros).

Finalmente, se refirió a la *sustitución* de los puentes históricos, destacando que la solución adecuada pasa por hacer una variante de la carretera y situar el

nuevo puente en diferente lugar y conservando el antiguo, de forma que éste sea visitable.

La jornada finalizó con la intervención del *Director General de Carreteras del Ministerio de Fomento, D. Antonio Alonso*, quien llamó la atención sobre el alto valor patrimonial y testimonial de los puentes de fábrica, algunos en estado de abandono, y sobre la necesidad de su conservación, la cual se realiza algunas veces de forma artesanal.

D. Antonio Alonso animó a los presentes a difundir toda la experiencia sobre el tema, ya que algunas Comunidades Autónomas y Administraciones locales se encuentran un poco “huérfanas de criterios y documentación”, y ello ocurre en el país con mayor número de puentes de este tipo que hay en Europa. Sus palabras sobre reivindicar el análisis de estas estructuras antiguas, la importancia de que “nuestra profesión adquiera el protagonismo en estos temas, ya que la ingeniería civil no puede vivir ajena a ello” y el fomento de cualquier tipo de esfuerzo para la recuperación de este patrimonio dieron paso a la clausura de las jornadas. ■