



Vista del puente de Mostar reconstruido

La reconstrucción del puente de Mostar en Bosnia-Herzegovina

Manfredo Romeo* y Ferran Roig**

El puente de Mostar ha sido un desgraciado representante de la macabra práctica que ha tenido por objeto la destrucción del patrimonio cultural como arma contra el enemigo étnico en la antigua Yugoslavia. La denuncia, recogida en *Loggia, Arquitectura & Restauración* nº 1, encuentra hoy un motivo de satisfacción en la reconstrucción de este símbolo Patrimonio de la Humanidad, que no dejó de serlo incluso cuando sus piedras estaban bajo las aguas del río Neretva, y no se albergaban esperanzas ciertas de reconstrucción.

Reconstruction of Mostar Bridge in Bosnia-Herzegovina. Mostar Bridge is an unfortunate example of the macabre practice of destroying cultural heritage as a weapon against the ethnic enemy in the former Yugoslavia. The denouncement included in *Loggia, Arquitectura & Restauración*, no. 1 has the satisfaction of addressing the reconstruction of this symbol of World Heritage, which did not cease to be so even when its stones lay at the bottom of the Neretva River and nobody had any great hopes of reconstructing it.

*Manfredo Romeo es arquitecto y máximo responsable de General Engineering para el proyecto arquitectónico de reconstrucción del puente viejo de Mostar

**Ferran Roig es arquitecto técnico y colaborador en el proyecto arquitectónico de reconstrucción del puente viejo de Mostar realizado por General Engineering

1 y 2. Vistas del puente de Mostar antes de su destrucción

El puente como símbolo

“El gran puente con dos torres se tiende sobre el río rauda, y con su magnífico arco, parece un arco iris multicolor”¹ así definió el poeta turco Dervis Pasa Bajezidagic la silueta del puente de Mostar, ciudad donde nació y de la que llegó a ser gobernador. Mostar, segunda ciudad en importancia del “nuevo” estado de Bosnia-Herzegovina después de Sarajevo, fue un importante centro turístico en la época de la Yugoslavia de Tito.

Mostar era un núcleo turístico a medio trayecto entre la atractiva costa dálmata y la montenegrina. El principal reclamo turístico de esta ciudad era la mezcla de la arquitectura austro-húngara con la otomana y por encima de todo su elegante puente de piedra que cruzaba el Neretva con un solo arco, el puente viejo o *Stari most* como se conoce allí, y el barrio de los artesanos conocido como Kujundžije. La imagen del *Stari most* sobre el espectacular río Neretva de color verde jade había sido un delicioso atractivo para los turistas.

Desde su construcción, e incluso después de su destrucción en el año 1993, el puente viejo siempre fue el símbolo de la ciudad, como la torre Eiffel en París o el Coliseo en Roma. El icono de una ciudad que la guerra ha dividido en dos bandos: por un lado la Mostar croata y por el otro la Mostar musulmana.

Las diferentes guerras acaecidas en los Balcanes durante la pasada década han tenido, por desgracia, un denominador común: el intento de borrar las huellas de identidad cultural del enemigo, es decir, su patrimonio histórico-cultural. Hemos visto como el ejército federal yugoslavo atacaba el casco antiguo de Dubrovnik, Zadar o Split entre otros; la voladura de iglesias y monasterios ortodoxos como sucedió en Karlovac, la misma Mostar y en Kosovo; y la más común de las atrocidades durante las guerras de los Balcanes: el intento de borrar las huellas musulmanas del territorio volando puentes, hammams (edificios públicos de baño) y mezquitas con sus minaretes. Mostar no fue una excepción. El *Stari most* estaba en la mira de los cañones enemigos y acabó cediendo ante un certero disparo efectuado en la mañana del 9 de noviembre de 1993.



1 y 2



3. El complejo monumental del puente de Mostar

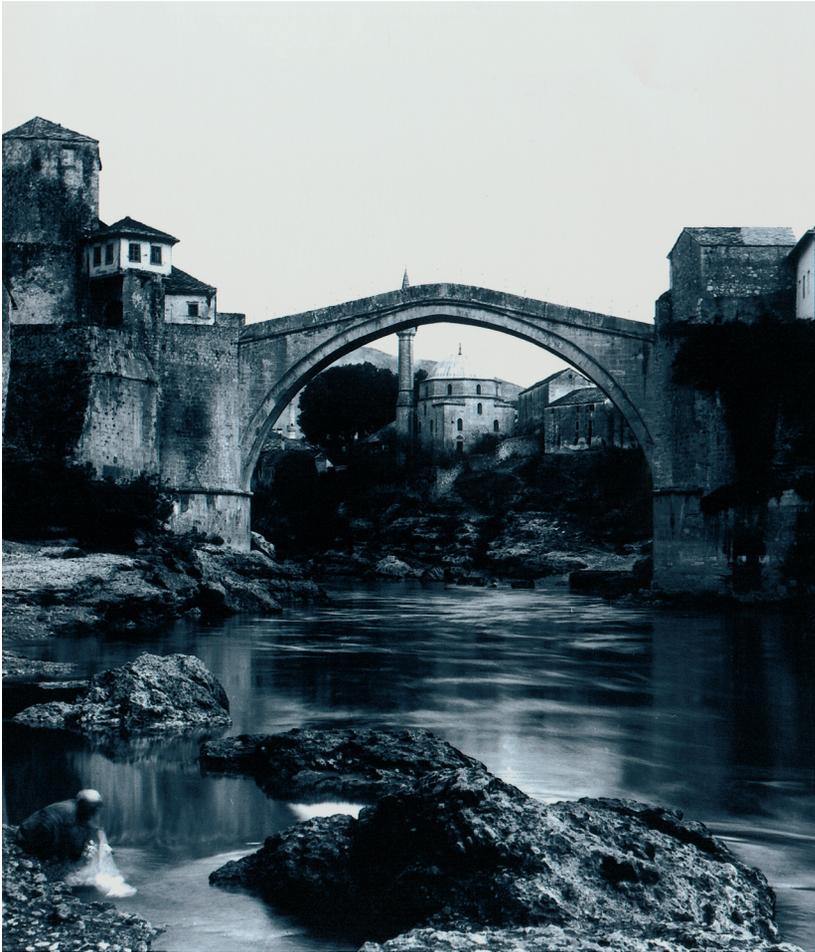
4. Foto antigua del puente de Mostar construido por los otomanos en el año 1566 y atribuido al arquitecto Hayreddin. (fuente: Albert Kahn Museum, Department Hauts-de-Seine (París), Inv. A 1568, Bosnia Herzegovina. Clichés die Mostar del 1912)

Los orígenes del *Stari most*

En contra de lo que se explica en muchos libros el topónimo Mostar, derivado de la palabra *most* que significa puente en serbo-croata, no se refiere al puente viejo sino que significa “guardián del puente”. El nombre de Mostar, hallado en un escrito de 1474 como primer registro del nombre de la ciudad tal y como se la conoce hoy en día, es pues más antiguo que el propio puente de piedra. Se atribuye a un puente de madera colgado de cadenas que atravesaba el Neretva apenas aguas arriba desde el *Stari most* y del que el geógrafo otomano Katib Çelebi escribió: “Está hecho de madera y cuelga de unas cadenas, y como no tiene pilares resultaba tremendo ver como esa gente lo cruzaba temiendo por su vida”². El origen de la ciudad de Mostar se remonta a un pequeño asentamiento a ambos lados del Neretva³ unidos por dicho puente de madera, antes de la conquista de los otomanos en el año 1493. Cruzar el Neretva por Mostar era obligado para la importantísima vía comercial que unía Bosnia central con el Adriático en Ragusa principalmente, actual Dubrovnik, por lo que enseguida se vio la necesidad de sustituir el antiguo puente de madera por uno nuevo, más sólido y majestuoso. En esa época en Mostar, bajo dominio otomano, durante el reinado de Suleyman II el Magnífico (1520-1566), se pensó en Mimar Sinan, el arquitecto turco más famoso del momento, como posible autor de un nuevo puente para la ciudad. Sin embargo, según rezan los escritos de Kalib Cehaja, el mismo Sinan afirmó que era virtualmente imposible erigir un puente de un solo arco en el lugar propuesto y, acto seguido, abandonó la ciudad. Otro de los misterios del puente estriba en las razones de la osadía de un discípulo de Mimar Sinan de erigir un puente de arco único dónde el maestro lo había visto imposible.

3





4

La construcción del puente empezó el año 1557 bajo la dirección de Mimar Hayreddin, que respetó la ubicación del viejo puente de madera por varios motivos, sobre los que destacan dos: la localización del puente correspondiente a una de las distancias más cortas entre las dos orillas del río, justo después de un giro del mismo que ayudaría a apaciguar la fuerza de embesida del Neretva en caso de crecida, y su considerable altura respecto al nivel del agua en una zona con orillas rocosas.

La piedra utilizada para la ejecución del puente es la *Tenelija*, una piedra caliza procedente de canteras de Mukoša, unos 5 km al sur de Mostar, con la cual se habían realizado ya otros edificios de importancia. La dificultad técnica más importante que encontró Hayreddin en este trabajo era la ejecución de la cimbra del arco, ya que la distancia a salvar no permitía usar las técnicas de los puentes multiarco usadas por su maestro Sinan en Višegrad⁴ o Konjic. La cimbra utilizada por el maestro otomano fue origen de la leyenda más famosa de la historia de Mostar, que cuenta como, estando Suleyman II de visita en Mostar e impresionado por la osadía casi insultante de cruzar el río con un solo arco, prometió cortar la cabeza de Hayruddin si al descimbrar el arco el puente colapsaba. También narra la misma leyenda que durante las últimas semanas de la construcción del puente se le perdió el rastro a Mimar Hayruddin, quizás porque no las tendría todas consigo.

Las torres Halebija y el famoso *čardak*

Un elemento importante de la imagen que todos tenemos del *Stari most* de Mostar son las rígidas torres que se erigen a ambos lados del puente. Si bien su origen ha sido motivo de controversia y variopintas teorías durante años, las torres Halebija y Tara a las riberas Oeste y Este respectivamente del río Neretva constituyen un elemento clave que ha permitido desvelar el origen y la evolución del puente en un pasado cercano.

La teoría de Dž. Čelić y M. Mujecenović⁵, la más aceptada hasta tiempos recientes, se basaba en las inscripciones existentes en el puente (1556) y en las torres (1676, 1737) y afirmaba en consecuencia que las torres se habían construido con posterioridad al puente. El estudio posterior de estas inscripciones llevó a la conclusión que en 1737 se terminaron unos trabajos de adecuación de las torres y que la fecha de finalización de las mismas que aparecía (1676) era falsa, hecho demostrado por la canción popular de Bejazigadic del año 1592 que hablaba del “puente con dos torres, una a cada lado del Neretva”⁶ y los estudios realizados sobre la construcción de las mismas. En concreto, el estudio del mortero existente entre los sillares de la torre permitió datar, por comparación, la construcción original de las torres en los tiempos del estado medieval Bosnio.

El otro elemento representativo del conjunto monumental del puente es el famoso *čardak*. Los *čardak* son construcciones que se encuentran a lo largo de todo el territorio de la ex-Yugoslavia y cuya finalidad era ser un lugar acogedor para el disfrute de las escenas callejeras, estratégicamente situado para ser “caldeado” por la luz solar y con unos detalles muy cuidados. Entre las diversas tipologías de *ardaks* (rurales, urbanos, militares y religiosos) el de Mostar era el más representativo de los de tipología militar en todo el territorio de la antigua Yugoslavia. Su función original radicaba en el control de paso del nuevo puente de piedra; ya en los siglos XIX y XX pasó a tener una función social de reunión de los hombres “con conocimientos”⁷ de la ciudad y en tiempos recientes había sido un pequeño café, lugar privilegiado para turistas, sobre todo durante el concurso de saltos desde el puente que se celebra en el mes de Julio dónde los jóvenes locales demuestran su habilidad saltando al agua desde el punto más alto del puente con saltos acrobáticos. Al parecer en la fortificación del lado izquierdo del río (lado de la torre Tara) existía un *čardak*⁸ del que no queda el más mínimo rastro y es muy posible que fuera suprimido durante los trabajos de adecuación de las torres, durante la administración turca, después del proceso de unificación de las torres-ciudad.

La arquitectura del puente

El *Stari Most* es un puente de un solo arco que salva una luz de 28.7m, y tiene una altura sobre el nivel del río de unos 20m en verano. El secreto de la estática del increíble puente de Mostar radicaba en las características de la piedra caliza local, resistente y ligera, además del ingenio de Hayreddin. El puente no sólo desafiaba la gravedad sino también resistía los embates del furioso río Neretva en época de crecidas. Mimar Hayreddin fue capaz de crear un puente más ligero de lo habitual, de un solo arco, mediante refuerzos metálicos en la fábrica de sillería que le aportaban una mayor resistencia a esfuerzo cortante. Sobre la



5

bóveda del puente de casi 4 metros de ancho, descansaban tres muros de sillería, uno bajo cada pretil y otro central. La estructura del puente tiene dos cornisas, una encima de la bóveda que tiene trazado semicircular y la otra está justo encima de la fábrica de sillería y dibuja las pendientes del pavimento del puente. Sobre esta última cornisa se levanta una barandilla de piedra de unos 95 cm de alto. Durante el periodo austro-húngaro se añadió una protección metálica quitamiedos ya que la barandilla original no ofrecía confianza a los peatones.

Los puentes otomanos responden, generalmente, a una tipología de estructura multiarco, en la que cada uno de éstos salva una luz comprendida entre 10 y 15 metros. El puente viejo de Mostar prácticamente doblaba con un solo arco la luz normal de otros puentes otomanos de un solo ojo, como el Kozja Cuprija en Sarajevo o el Kriva Cuprija en Mostar.

El territorio de la antigua Yugoslavia, y en concreto en la actual Bosnia-Herzegovina posee grandes valles y cuencas de importantes ríos. Su historia bajo el yugo alternativo de dos grandes imperios, el austro-húngaro y el otomano, permitieron la construcción de grandes obras de ingeniería y arquitectura. En el caso de los puentes la influencia otomana es notable y particularmente exclusiva en Bosnia. Los puentes alcanzan el grado de obra de arte en los casos de Visegrad, Konjic, Buna, Sarajevo (Kozja Cuprija y Latinska Cuprija) y Trebinje (Arlanaglica most). El puente viejo de Mostar era junto con el puente de Visegrad el máximo exponente de este grupo de obras maestras.

Los puentes importantes de gran longitud disponían en su parte central de dos elementos significativos el *sofa* y la *kapija*. El *sofa* era un lugar de encuentro para la gente de la población y tenía la función de facilitar descanso a quien lo cruzase y lugar de contemplación del curso del río. La *kapija* era un elemento en forma de muro que sobrepasaba normalmente los 2 m de altura que estaba decorado con

5. *Kapija* del puente multiarco de Višegrad

motivos ornamentales, donde se recogían inscripciones con datos de la construcción del puente. Dos ejemplos significativos de estos elementos son los existentes en el puente de Visegrad y los presentes en el puente de Konjic antes de su voladura en la Segunda Guerra Mundial. En el *Stari Most* no se dispuso de ninguno de estos dos elementos seguramente debido a la elegancia de su pureza de línea. Sin embargo, sí se colocaron varias inscripciones en piedra sobre las fechas de construcción del puente⁹.

Incidencias históricas

El mismo día en que se finalizó la construcción del puente viejo de Mostar, comenzó la historia del símbolo de una ciudad. Aquel lugar que recuerdan los oriundos cuando rememoran sus historias de infancia, y los turistas que tuvieron el privilegio de apreciar tan valioso monumento sin sospechar que al inicio de los años 90 una guerra civil iba a llevar a la desintegración de Yugoslavia y a la destrucción intencionada de aquel puente que cruzaban y en el que se estaban fotografiando. Los conflictos bélicos (Bosnia-Herzegovina ha estado en medio de dos guerras mundiales y una guerra civil en el siglo XX) y los usos indebidos¹⁰ acabaron con muchos otros puentes de gran valor artístico.

Los principales daños sufridos por el *Stari Most* se han producido en el siglo XX. La mayor agresión sobre el puente registrada antes del siglo XX fue una crecida del río en el año 1713 que prácticamente lo cubrió por completo sin que las gentes de Mostar pudieran dar crédito de la resistencia de “su puente”. Otra gran crecida del Neretva volvió a embestir fuertemente contra el puente en 1860, una crecida en la que el nivel del agua llegó a estar a escasos 5 metros de cubrirlo por completo y aún así tampoco pudo con él. Ya en el siglo XX, y durante dominación austro-húngara, se produce el primero de una serie de despropósitos e intervenciones desafortunadas que fue la reparación de sillares dañados con mortero de cemento, con la consecuente disociación de colores que se acentuó con el paso de los años y la intervención de los agentes atmosféricos. En este mismo periodo se constató un desarrollo de la ciudad (desde finales del siglo XIX) y una cierta política de descuido hacia el puente ya que se llegó incluso a cubrir las pendientes del puente con arena y gravilla para poder permitir el paso de vehículos a motor sobre el mismo.

No hay registrados daños durante la primera guerra mundial, lo que muy probablemente se deba a la escasa existencia de armamento rodado pesado. Durante la segunda guerra mundial el puente sobrevivió al paso de tanques por encima de él. Respecto a este hecho se sabe que un mando de las fuerzas alemanas mandó extender una capa de arena por encima del puente, supuestamente para una correcta circulación de los carros de combate. Sin embargo se ha rumoreado mucho durante años que es posible que este gesto se tratara de un intento de proteger el puente ya que, a pesar de las atrocidades cometidas, los hombres del Reich eran cultos y con conocimientos de arte.

También se cometieron acciones nefastas contra bienes culturales. En su retirada de la ciudad de Konjic, también bañada por el Neretva, en 1945 el ejército alemán voló el puente multiarco que cruzaba el río. Durante la retirada de las tropas



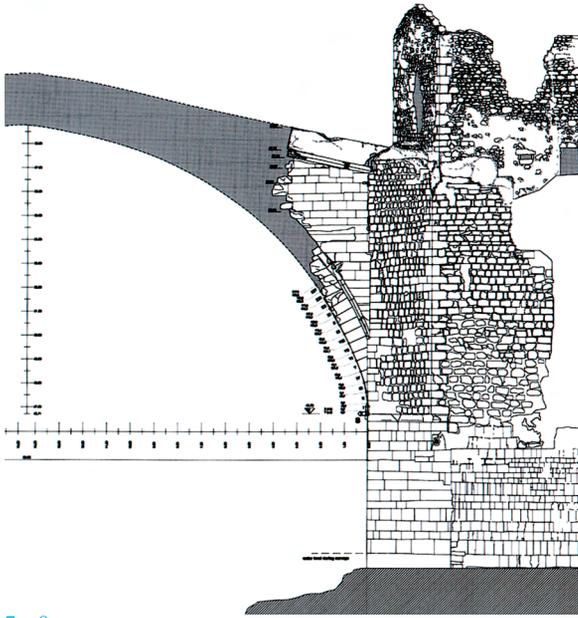
6

alemanas de Mostar se colocaron cargas explosivas a un cuarto de la distancia de los hombros del puente para volarlo. Por suerte las detonaciones no llegaron a producirse, por lo que el único daño ocasionado al puente fueron los huecos practicados en la estructura para depositar los explosivos. Estos huecos fueron rellenos con material inapropiado y el agua fue penetrando en la estructura.

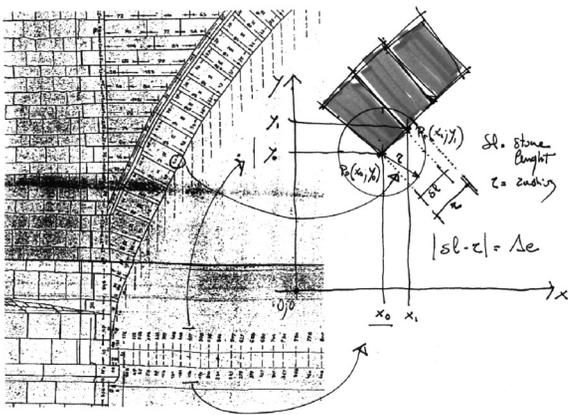
En 1955 empezaron los preparativos para una restauración del puente. Una comisión de expertos acordaron que se empezaría por un estudio geotécnico y de la cimentación existente. Los resultados de dicho estudio concluyeron que el puente estaba descansando sobre rocas “en voladizo” ya que las corrientes del río junto con las oscilaciones del nivel, habían ido erosionando las rocas de apoyo en su parte sumergida. De inmediato se puso en marcha un plan de acción para paliar estos importantes daños y los trabajos se completaron en 1957. Durante el año 1963 se efectuaron trabajos de reparación de la bóveda del puente, que principalmente consistieron en el relleno de juntas que prácticamente habían desaparecido por la acción de los agentes atmosféricos. En 1970 se sustituyeron algunas dovelas en mal estado y en 1982 se descubrió que los trabajos realizados en la cimentación en el año 1955 habían sido inapropiados. En 1985 se detectó que la estructura se había ido dañando debido a congelaciones internas del agua y en 1986 se aplicó un tratamiento de unión e impermeabilización en las juntas de los sillares exteriores e inferiores en las zonas dañadas. Finalmente en 1991 se creó una comisión para el cuidado permanente del puente¹¹, después de todo un siglo de percances. Poco después, Yugoslavia entró en una espiral de violencia que desembocó en su desintegración y en la destrucción de uno de sus hitos más preciados, el puente viejo de Mostar.

El puente viejo de Mostar estaba incluido en la lista de patrimonio mundial de la UNESCO. La conservación del núcleo de la ciudad vieja o “Stari Grad” ganó el premio Aga-Khan de Arquitectura islámica en su tercer ciclo comprendido entre los años 1984-1986 por la política de conservación y adecuación de esta parte de la ciudad después de los deterioros realizados en los años 60. En 1977 se empezó un periodo de documentación que duró tres años y el cual condujo a la restauración de los elementos más significativos incluidos el puente y las torres.

6. El lugar después de la destrucción del puente



7 y 8



7 y 8. Dos esquemas relativos al complejo levantamiento planimétrico del puente con la intención de que fuese lo más concordante con la estructura destruida

El proyecto de la reconstrucción del puente piedra a piedra

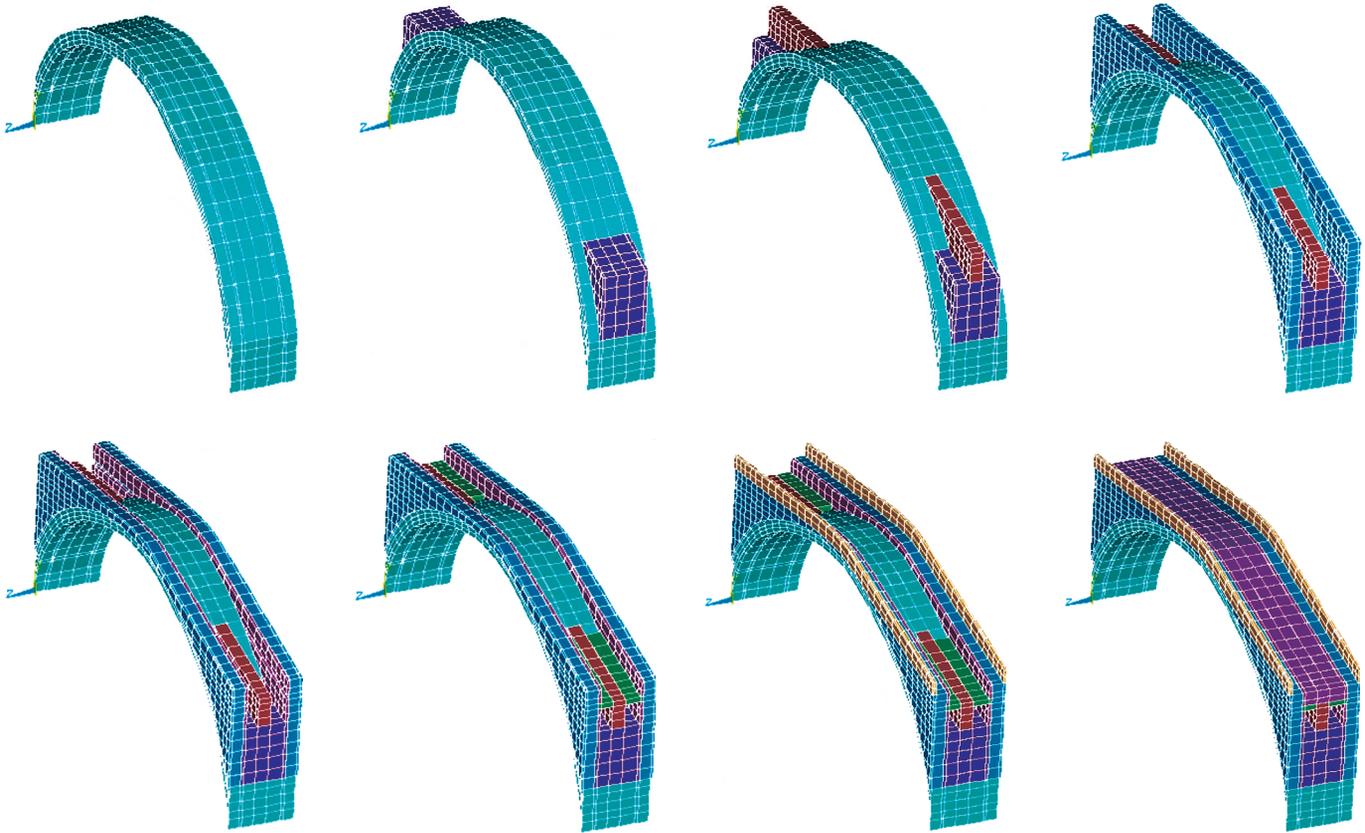
La mañana del 9 de Noviembre de 1993 fue fatal para el *Stari Most*. En aquella guerra de los Balcanes, en que la destrucción de símbolos de identificación étnica era una de las afrentas más incisivas en la moral del enemigo, el puente viejo de Mostar desgraciadamente no pudo ser una excepción. El puente viejo era el único que quedaba en pie de los tres principales puentes que cruzaban el río Neretva. Los vecinos de Mostar, civiles de ambos bandos, intentaban desesperadamente amortiguar los destrozos de los continuos impactos que sufría el puente colgando neumáticos viejos de la barandilla del puente. Un cañonazo certero, en el punto más frágil de la estructura de piedra ocasionó el colapso inmediato a las 10.28h de la mañana de aquel día. Como había sucedido durante los ataques serbios a las ciudades amuralladas de Dubrovnik, Split y Zadar, el territorio de la antigua Yugoslavia había perdido otro de sus numerosos tesoros arquitectónicos, y la población bosnio-musulmana recibía un golpe más en su ya malherida moral. Pasó el tiempo y con los acuerdos de Dayton en 1995 se llegó al final de la guerra en Bosnia-Herzegovina.

Los civiles de Mostar, empezaron a rescatar sillares del fondo del río, con la ayuda de especialistas del ejército húngaro desplazados a esta ciudad en misión de paz por Naciones Unidas (ONU). Pese a no existir un plan claro sobre el futuro de la ciudad sin su puente-símbolo, parecía claro que lo único que deseaba todo el mundo era rescatar los sillares que conformaban la obra maestra de Hayreddin, para volver a colocarlas en su sitio, como si de piezas de un puzzle desmontado se tratara. Esta primera hipótesis de reconstrucción por *anastilosis*, apoyada por la ciudadanía de Mostar en un intento natural de reponer lo arrebatado por el conflicto bélico y restañar la herida, resultaba inviable desde un punto de vista tanto técnico como teórico. Técnicamente era imposible la restauración del puente con las mismas piezas ya que el material recuperado del río no llegaba a representar ni el 10% de la materia del monumento. Teóricamente tampoco porque, aunque se hubiese podido restaurar el puente con los sillares originales, éste nunca habría sido el mismo de antes.

Finalmente, la ciudad de Mostar, representada por una institución imparcial creada para tal propósito denominada PCU (Project Coordination Unit) llegó al consenso de reconstruir el puente de la misma forma y con las mismas técnicas y materiales con las que se construyeron el puente original; así como las torres y los edificios próximos.

El levantamiento proyectual de algo que ya no existe

Una vez establecidos los objetivos se planteó de forma casi automática la principal controversia de la enmienda: ¿cómo era el puente? La única documentación técnica del puente eran los planos que se habían realizado para los diferentes trabajos de restauración y mantenimiento durante el siglo XX. Concretamente se tenía documentación gráfica de 1955 y de 1982, principalmente, de los levantamientos realizados para los trabajos de reparación de la cimentación del puente.

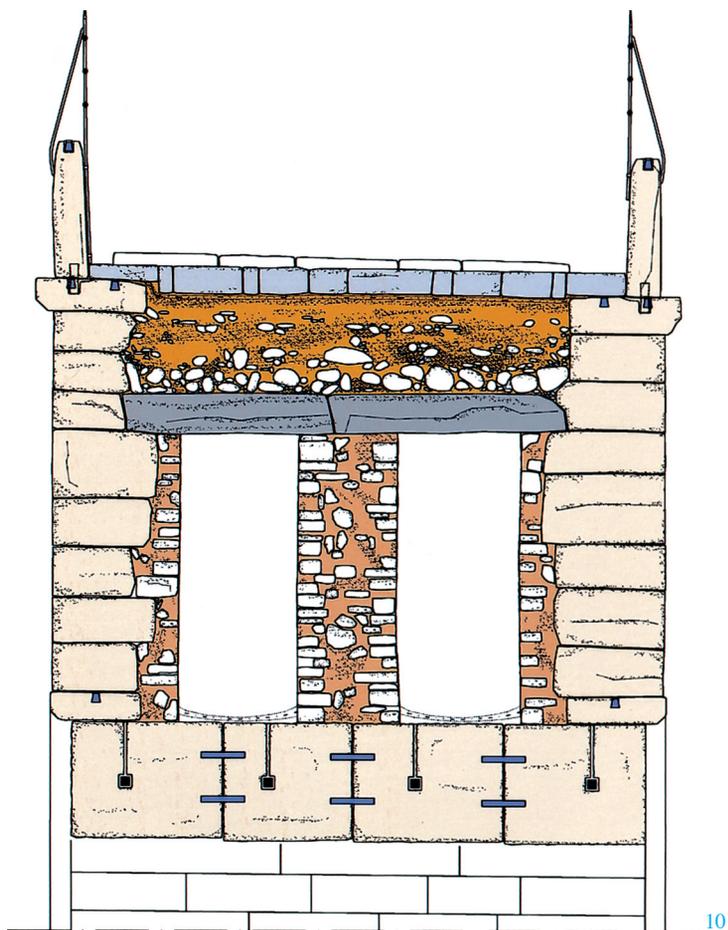


9

Como primer paso se estableció un estudio comparativo de los diferentes datos compilados. El resultado constató lo que parecía inevitable: existían divergencias entre los documentos y, además, todos presentaban evidencias de las peculiaridades del puente, entre las cuales destacan la diferencia de longitud del arco del intradós en los alzados norte y sur y la diferente altura respecto al nivel del río de una misma línea de dovelas. Ante tal panorama se optó por reconstruir lo que se denominó “el más probable puente de Mostar” que consistió en concretar las coordenadas del puente respetando estas peculiaridades. Para tan singular trabajo se desarrollaron en Florencia unas rutinas informáticas¹², que mediante la interpolación de datos de campo, y adoptando como criterio el mismo que en los alzados de 1955 situaba el origen de coordenadas del arco en la cara Este tanto para la fachada Norte como para la Sur, proporcionó coordenadas exactas para el nuevo puente.

Tan importante como definir las coordenadas concretas del puente ha supuesto la traducción de estas coordenadas a sillares. Para ello ha sido necesario un conocimiento completo del sistema constructivo empleado para la construcción del puente por Hayreddin. Existían al respecto diversos estudios y publicaciones, entre las cuales cabe destacar la de Džemal Čelić y Mehmed Mujezinovic sobre puentes de piedra en territorio bosnio¹³. En todos estos estudios se hablaba de la existencia de unas cavidades en los laterales del puente para aligerar la estructura, un hecho que se

9. Vistas axonómicas del modelo en elementos finitos: en diferente color se aprecian en las que ha sido discretizada la estructura con fines de cálculo. En estas representaciones se han omitido los estribos del puente



descubrió después de la Segunda Guerra Mundial, cuando los daños efectuados al puente por unas voladuras fallidas dejaron al descubierto una de éstas. No fue, sin embargo, hasta el colapso del puente que se vio el secreto de su refinada ingeniería. El uso de cavidades aligerantes y otros avances técnicos sorprendentes para la época en que fueron ejecutados, como la utilización de grapas y pernos metálicos para la unión de sillares, fueron conocidos por todos a medida que se rescataban los sillares del río Neretva. Puede decirse pues, que la voladura del puente dio respuesta a las preguntas que técnicos de todo el mundo se hacían sobre la estabilidad del monumento. Una ingeniería avanzada a su tiempo era la respuesta a tan osada estructura.

Con una geometría redefinida y un conocimiento ya completo y sin vacíos del sistema empleado originalmente para la ejecución de la estructura se ideó una metodología a seguir sobre el corte de sillares y nomenclatura de los mismos para un sistema idóneo de almacenaje e identificación en las diferentes fases previas a su colocación sobre la cimbra del arco. La nomenclatura usada tiene dos categorías, en la primera se localiza la piedra y incluye sub-grupos y sub-localizaciones (figs. 1 y 2); en la segunda se especifica la fase de avance en el trabajo de la piedra desde su estado de extracción de la cantera (QY) hasta el estado de ajuste final en obra (SF) (fig. 3).



11

El proyecto estructural. Sillería armada

La voluntad de construir un puente con un modelo ya definido y con unas características de forma y materiales ya determinados ha obligado a un conocimiento profundo de las solicitaciones a las que estaba expuesta la estructura. Con este propósito se ha realizado un estudio riguroso de las solicitaciones y los márgenes de seguridad existentes en la estructura ya dimensionada. Este estudio ha facilitado un conocimiento detallado del estado de cargas del puente, así como de los puntos más solicitados y sobre todo de los estribos del mismo, que han permitido tener datos fehacientes sobre los esfuerzos en las partes existentes del puente para así poder intervenir y dotarlas de una capacidad mecánica suficiente para afrontarlos incluso mayorados con los factores de seguridad de la normativa europea vigente, tal y como marcaron las premisas del PCU TA (Project Coordination Unit Technical Assistance).

La reconstrucción del puente fidedigna al original en cuanto a forma y materiales no ha facilitado las cosas para el desarrollo del proyecto. Más bien lo contrario. Inicialmente y tan pronto como se tuvieron los valores de solicitaciones en la estructura parecía que no iba a haber problemas en la ejecución de la misma. La necesidad planteada por el PCU TA sobre los márgenes de seguridad según la normativa europea vigente cambió de alguna forma los resultados. Al parecer, mayorando los esfuerzos según la normativa vigente, la estructura proyectada



12



13



14

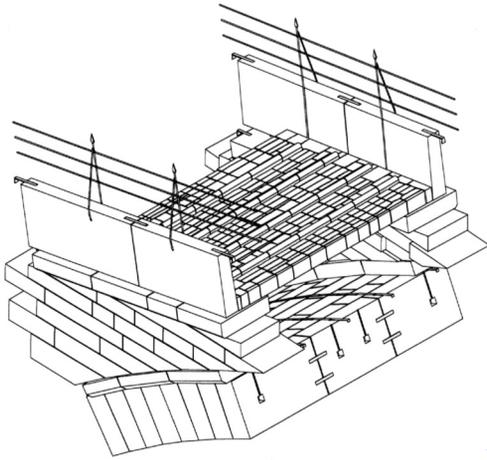
10. Sección transversal del puente en las zonas aligeradas

11. En los restos de la orilla este se podían apreciar claramente las cavidades aligeradoras y las soluciones constructivas adoptadas por Hayreddin (foto: Ferran Roig)

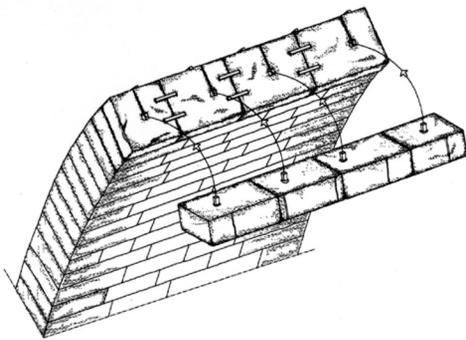
12. Grapa metálica con las extremidades recubiertas de plomo.

13. Restos de la cornisa, son visibles los pernos de anclaje para sujeción del parapeto de piedra.

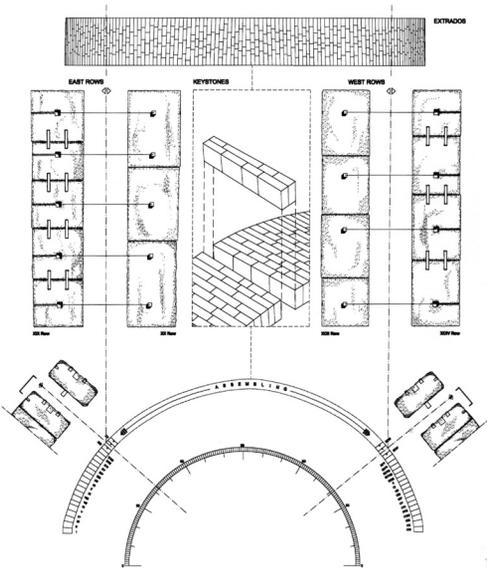
14. Dos dovelas del arco portante: son visibles las grapas sobre la junta, también puede apreciarse una grapa correspondiente al extradós. En los sillares componentes de una misma hilada de dovelas se usaron grapas procediendo con la misma metodología.



15



16



17

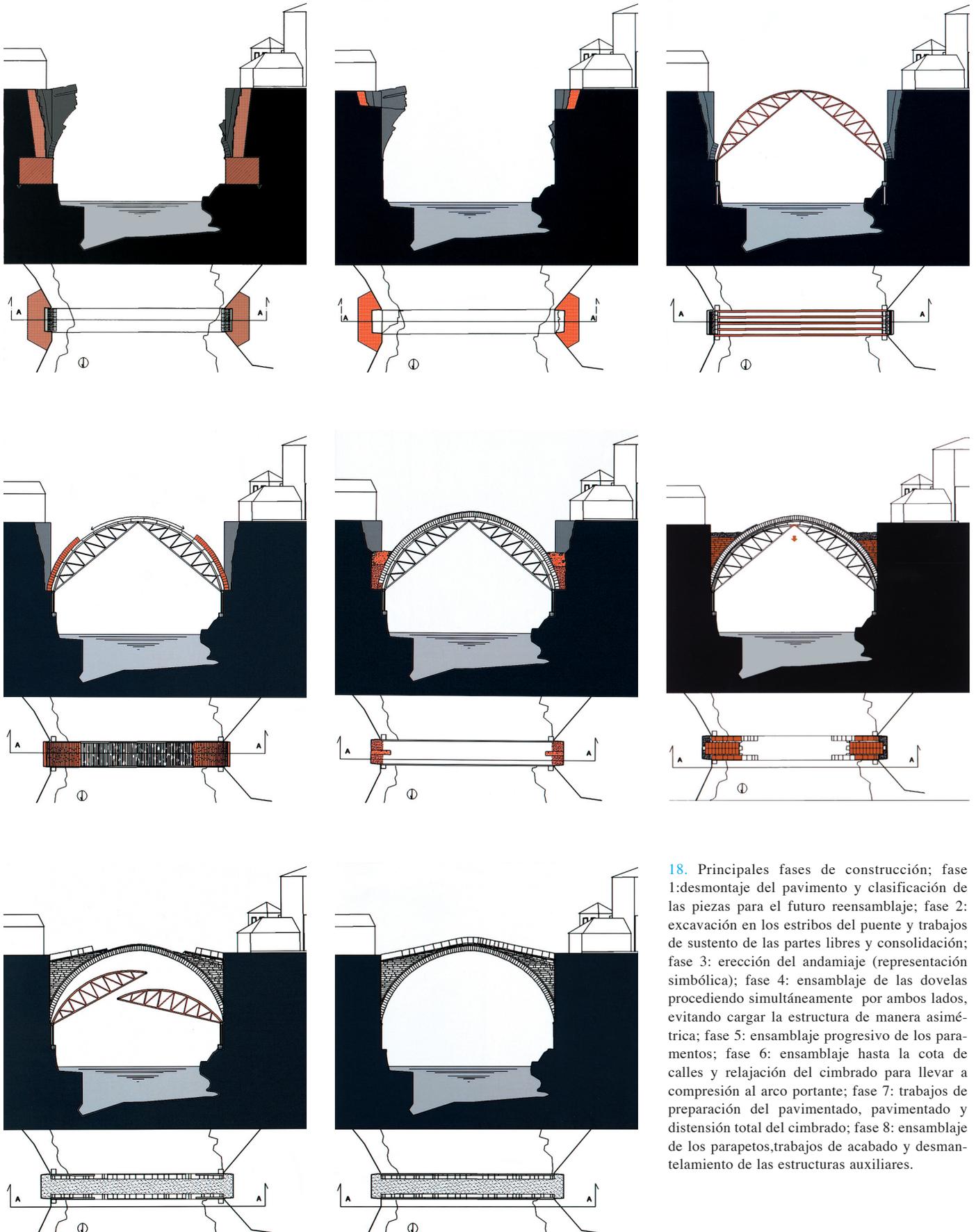
15, 16 y 17. Sistema de ensamblaje de los pernos en el arco portante: la dovela a ensamblar venía con un perno de sección cuadrada insertado hasta la mitad de su longitud y unido a la piedra mediante plomo fundido y con la otra extremidad. Las siguientes dovelas se ensamblaban insertando el perno saliente en la cavidad realizada en la piedra para tal propósito. Finalmente, se vertía el plomo fundido, mediante unos canales entallados en la piedra, hasta rebosar. En el extradós del arco, y entre los sillares componentes de una misma hilada de dovelas se usaron grapas procediendo con la misma metodología.

inicialmente no llegaba a cumplir los márgenes mínimos exigidos. Si la piedra a emplear estaba determinada desde un inicio a ser de la misma procedencia que la original (la caliza local llamada *Teneliija*), y teniendo en cuenta que las características resistentes de una fábrica de mampostería depende de la capacidad mecánica de los sillares, el mortero de las juntas y el grosor de las mismas, parecía claro que la única opción para mejorar la resistencia del puente, considerando que el grosor de los sillares y de las juntas venía definido por los existentes en el puente original, era a través de un mortero con mejores capacidades resistentes. Así, se trabajó en ese último punto. Cambiando las características del mortero original otomano por las de un producto del siglo XXI, un mortero con fibras de una resistencia característica de casi 5 Mpa, se han podido conseguir los resultados autoimpuestos por el exigente PCU TA.

La singularidad de la estructura del *Stari Most* era otro de sus tesoros ocultos. Además de las cavidades aligerantes, Mimar Hayreddin dispuso elementos metálicos entre los sillares para solidarizar la estructura, convirtiendo al puente en una fábrica de sillería armada, que se distingue de otros ejemplos de antaño también armados por el gran número de piezas metálicas empleadas y su peculiar puesta en obra. Los elementos metálicos utilizados en la estructura del puente pueden dividirse en dos grupos: las grapas y los pernos. Mediante las grapas de hierro forjado “se cosían” las dovelas de una misma hilera relleno el espacio restante con plomo fundido. Las dovelas se unían con las de otras hiladas mediante un sistema parecido pero en vez de grapas esta vez eran pernos. Una de las aportaciones más importantes que consiguió el maestro Hayreddin con esta idea fue el armado de la estructura frente a las solicitaciones horizontales, lo que muy probablemente le permitió sobrevivir a las múltiples crecidas del río y a las acciones sísmicas acontecidas durante estos cuatro siglos.

La cimbra y el andamiaje

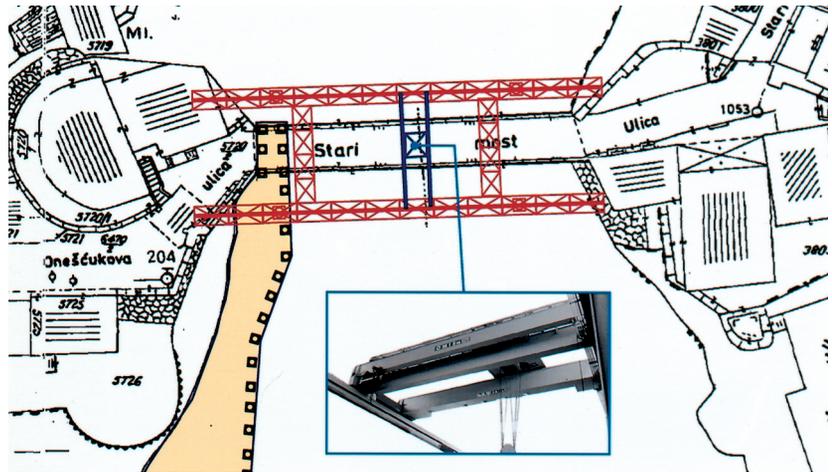
La ejecución del andamiaje y la cimbra del nuevo puente supusieron las primeras dificultades técnicas de este complejo trabajo de reconstrucción. A la ya difícil situación de montar un andamiaje para un arco “no perfecto” y desnivelado se añadió la complicada situación geográfica del puente dentro del valle del Neretva en la misma Mostar, por lo que a terreno firme de apoyo lateral se refiere. En la zona donde se encontraba el *Stari Most* no existe una superficie lateral de apoyo para ningún tipo de estructura, se trata de una zona donde las rocas marcan el curso del río en este tramo de la ciudad, y existen rocas salientes en forma de voladizo natural a las que, por supuesto, no se puede confiar para un trabajo de apeo de tal estructura auxiliar. La empresa turca ER-BU junto con el equipo técnico de supervisión de campo decidieron que se debían realizar unas consolidaciones en las rocas laterales a los estribos del antiguo arco, y ejecutar unos dados de hormigón armado rematados superiormente por pequeñas ménsulas cortas para el apoyo de las cerchas metálicas que constituyen el principal elemento sustentante del complejo sistema de cimbras. Estas cerchas recorren de una a otra orilla del río las dos fachadas del puente.



18. Principales fases de construcción; fase 1:desmontaje del pavimento y clasificación de las piezas para el futuro reensamblaje; fase 2: excavación en los estribos del puente y trabajos de sustento de las partes libres y consolidación; fase 3: erección del andamiaje (representación simbólica); fase 4: ensamblaje de las dovelas procediendo simultáneamente por ambos lados, evitando cargar la estructura de manera asimétrica; fase 5: ensamblaje progresivo de los paramentos; fase 6: ensamblaje hasta la cota de calles y relajación del cimbrado para llevar a compresión al arco portante; fase 7: trabajos de preparación del pavimentado, pavimentado y distensión total del cimbrado; fase 8: ensamblaje de los parapetos,trabajos de acabado y desmantelamiento de las estructuras auxiliares.



19



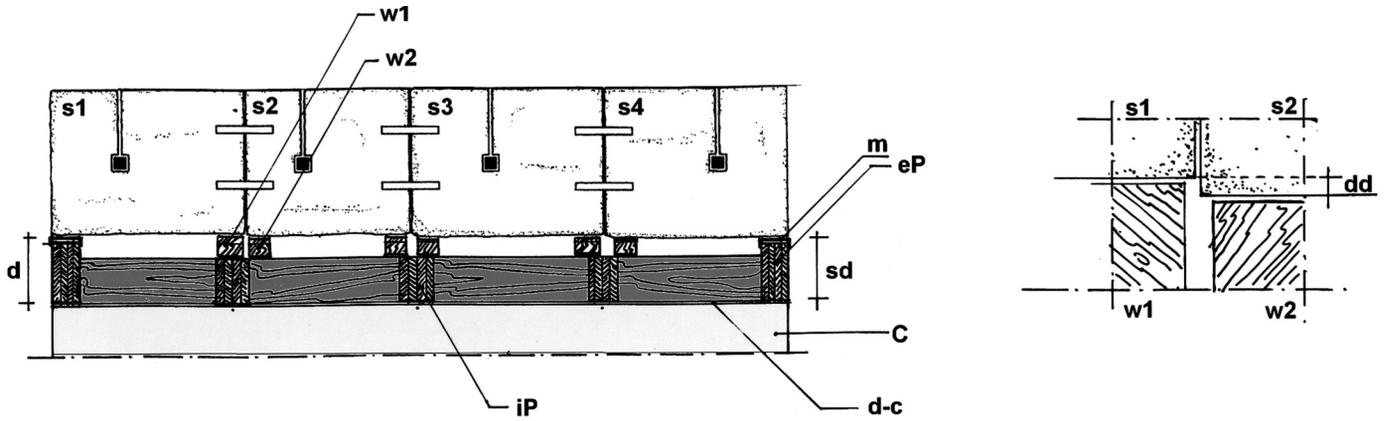
20

19. Una fase muy importante: el andamiaje casi acabado (sobre junio de 2003). Copyright: Rifat Kurtagic; MOST-MOSTOVI-MOST, Vienna; PCU, Mostar

20. La propuesta alternativa para la realización de un puente-grúa
21 y 22. Diseño técnico extraído del manual de instrucciones para el corte de las piedras. Informe final del proyecto. Se detallan los sistemas para la gestión progresiva de las irregularidades

23. Hoja de dimensionado de los sillares componentes de una hilada de dovelas del puente

Sobre las cuatro cerchas metálicas, dos en cada alzado, se dispone todo el sistema de cimbrado del arco del puente. Entre ellas, y perpendicularmente, se distribuyeron los perfiles sobre los que se elevaron una especie de rastreles que tenían como misión “certificar” las irregularidades de la bóveda constatadas en el levantamiento planimétrico del puente. Sobre estos rastreles-jácena se colocaron en todo el ancho de la bóveda 6 arcos de madera laminada que hacían la función sustentante y, entre ellos, unos rastreles de madera que se iban colocando a medida que avanzaban las líneas de dovelas simultáneamente desde ambas orillas del río. Uno de los aspectos más peculiares de esta cimbra ha sido la materialización de una grúa puente que corría sobre las cerchas metálicas principales y cuya única pero decisiva misión ha sido la de suspender los sillares de *Teneliya* para poder ser colocados correctamente. La revisión del sistema utilizado en el proyecto de reconstrucción del puente de piedra de Verona fue clave para adecuar este sistema al puente de Mostar. De hecho ha sido un elemento decisivo para que las obras del arco del puente se finalizasen antes de lo previsto inicialmente, hecho que de por sí demuestra el acierto de la elección.



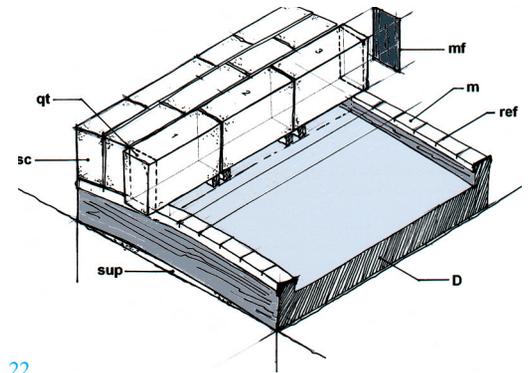
21

De la cantera en Komos al arco

Una vez solventados los problemas de geometría con este singular sistema de cimbrado, tan sólo quedaba la colocación de los sillares que conformaban la bóveda estructural del puente. A tal fin era clave un buen organigrama referente a los trabajos de cantería y suministro a pie de obra de los sillares. A tal propósito se usaron todos los datos geométricos indagados en la ya mentada aplicación informática de corte de sillares de piedra, cuyo criterio básico era el de proporcionar, a partir de las coordenadas de su ubicación, el paralelepípedo mínimo que pudiese contener la dovela con su tolerancia mínima de 3 cm en cada dimensión y teniendo siempre en cuenta la orientación natural de sedimentado de la piedra, para que ésta trabajase siempre en el sentido perpendicular a la curva de presiones del arco y ofrecer, de este modo, su mejor rentabilidad resistente.

Una vez obtenido el paralelepípedo venía una de las partes más delicadas del trabajo de cantería: el corte con sus dimensiones previstas. Para este trabajo, se preparó en la misma cantera de Komos un “montaje” de las condiciones de apoyo del sillar que permitía predecir “la geometría real” de una misma hilada de dovelas (en la dirección paralela al curso del río) simulando un soporte y una plantilla de la línea de dovelas en ese determinado punto. De este modo, se pretendía limitar al mínimo los trabajos finales de cantería en la fase de colocación de las dovelas. Antes de la colocación de las primeras hiladas de dovelas, se procedió a catalogar los sillares que aún permanecían en su lugar en lado izquierdo del puente, una vez catalogados se procedió a desmontarlos tal y como había especificado el estudio estructural previo a los trabajos de reconstrucción. En el lado derecho del río se dejaron intactas las cinco primeras hiladas ya que el estudio estructural las consideró aptas para su reutilización.

El ensamblaje de los sillares mediante los elementos metálicos permitió, como en el caso del mortero, poder intervenir para mejorar las características mecánicas del conjunto. El equipo de LGA (empresa alemana encargada de los ensayos de materiales) definió los porcentajes de una aleación a base de plomo líquido y cargas para optimizar el servicio de estos elementos estructurales.



22

23

33 GENERAL ENGINEERING GAULEO SISCAM TECHNOLOGY

ARCH STONE CUT joint number: **33** intrados row range number: **XXXIII** stones in current row: **5**

schematic drawing of the intrados row with reference dimensions:

On site final cut dimensions (cm) - joint tolerance=cm0							
north side	an= 35.3	bn= 79.5	cn= 37.0	dn= 80.2	en= 87.3	hn= 79.8	
south side	as= 36.9	bs= 84.6	cs= 37.2	ds= 86.7	es= 93.4	hs= 85.7	
row plan	n= 395.1	m= 395.2	s= 395.9	dev= 0.45			
current row stones	k1= 67.0	k2= 91.0	k3= 65.0	k4= 97.0	k5= 75.0		
	nov= 5						dev: deviation from row plan nov: number of voussains in current row

Quarrying dimensions (cm) and Volumes (cubic meters) - quarrying tolerance qt=cm3 each side							
stone face	Bqt= 46	Hqt= 93					
current row stones	k1qt= 76	k2qt= 99	k3qt= 74	k4qt= 106	k5qt= 83		
	nov= 5						
							dev: deviation from row plan nov: number of voussains in current row Vol: total volume of current row

Reference co-ordinates (cm)		index 0=joint n° 33		index 1=next joint	
row XXXIII	3d co-ordinates (1 origin)	=intrados E=extrados		n=north s=south	
	x= 696,8	x= 708,0	x= 727,4	x= 740,2	
	l _{0s} y= 981,5	l _{0s} y= 981,0	l _{1s} y= 999,1	l _{1s} y= 999,0	
	z= 0,0	z= -395,0	z= 0,0	z= -395,0	
	x= 657,5	x= 668,0	x= 689,9	x= 701,4	
	E _{0s} y= 1051,4	E _{0s} y= 1057,9	E _{1s} y= 1069,2	E _{1s} y= 1074,2	
	z= 0,0	z= -395,0	z= 0,0	z= -395,0	
joint 33	2d co-ordinates (2 origins)				
	l _{0s} x= 696,8	l _{0s} x= 657,5			
	l _{0s} y= 981,5	l _{0s} y= 1051,4			
	north-east origin: x=0.0 y=0.0				
	l _{1s} x= 704,2	E _{0s} x= 664,2			
	l _{1s} y= 980,0	E _{0s} y= 1056,9			
	south-east origin: x=0.0 y=0.0				

24. La caldera para la preparación del plomo fundido
 25. Un operario vierte el plomo fundido en las cavidades de las grapas de la cornisa inferior



24



25

El rompecabezas del plomo licuado

El fundir y verter una aleación de plomo líquida no ha sido tarea fácil. El manejo y fusión del plomo para su vertido en los surcos de los sillares para la “soldadura” de elementos metálicos y pétreos ha supuesto un pequeño rompecabezas para los operarios encargados de su ejecución. Los vapores de un material fundido a más de 300°C, su posible explosión en contacto con el agua, y los requisitos a respetar en cuanto a composición y temperatura de uso necesitaron de una especial atención en cuanto a la planificación de estos trabajos. Finalmente se encargó a un experto metalista de la isla croata de Korčula una caldera transportable que permitiese fundir una cantidad razonable de plomo para ser vertido en los huecos. Esto a su vez, y para mayor manejabilidad, implicó la fabricación de una herramienta de transición entre la caldera y la piedra que era una especie de esfera con dos orificios, uno de entrada (carga) y uno de salida (vertido), que también disponía de un brazo metálico para darle mayor alcance. El llenado de la esfera de vertido se realizó mediante un canal metálico.

Los requisitos necesarios para el vertido del plomo líquido eran: ausencia de polvo y arenilla en los canales de vertido, ausencia de mortero que obstruyese el recorrido del mismo y completa ausencia de humedad. Para todo ello, después de los trabajos de labrado de los sillares, se procedía a una limpieza mediante pistola de aire de los huecos y un secado de las acanaladuras para secar la humedad tanto de los sillares como del mortero.

Durante las primeras tareas de ensamblaje, los operarios tuvieron que idear un sistema para evitar la entrada de mortero en los canales verticales de las dovelas y otro para evitar que rebosara el plomo líquido en aquellas zonas de mayor pendiente. Para el primer caso, y teniendo en cuenta que el mortero debía ocupar toda la superficie lateral posible de las dovelas, casi instintivamente a algún operario se le ocurrió que podían utilizar las piezas de goma protectoras con las que venían de cantera para evitar la obturación del canal en la colocación contra la dovela de la hilada previa. Para el segundo, se utilizaron pequeños listones de madera a modo de tapa lateral de encofrado trabados en la piedra mediante puntas de acero. Para garantizar el contacto total de las dovelas con el mortero, dada la gran importancia de la resistencia de la fábrica en esta compleja estructura, éste se ha aplicado regleado en la cara de la hilada de dovelas receptoras. A tal fin, y teniendo en cuenta el grosor de mortero prescrito por la empresa LGA, se calculó de un modo aproximado el grosor mínimo inicial para conseguir el final requerido, una vez colocadas las primeras piezas. Con este valor se fabricaron unas pequeñas placas metálicas a modo de niveles distribuidos en las dovelas con las que se regleaba el mortero aplicado consiguiendo así un grosor uniforme.

El conjunto final. El futuro de Mostar

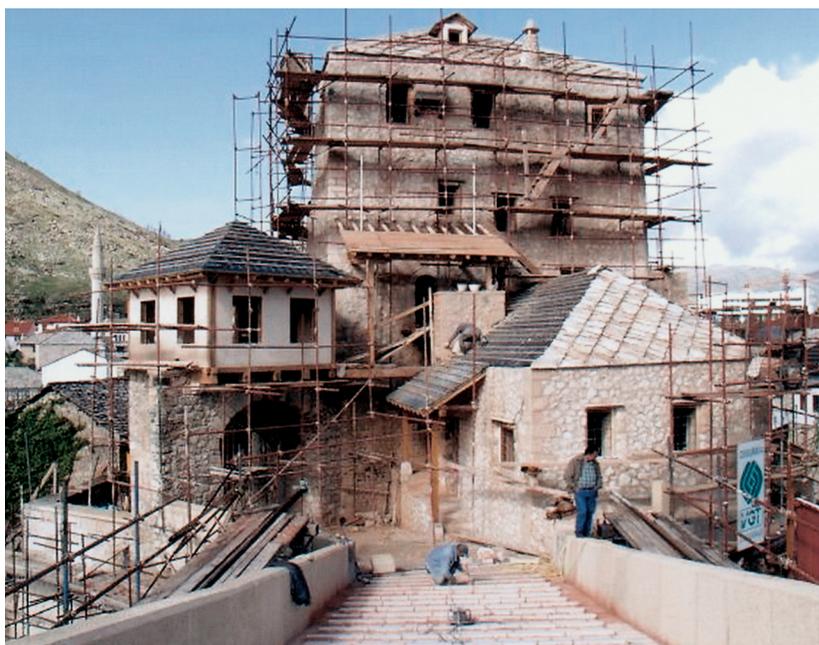
Finalizada la estructura, tan solo quedaban los trabajos de pavimentado del puente y colocación de barandillas protectoras. Para el pavimentado se previó la recolocación de los restos del puente original que quedaron en ambas orillas y que fueron catalogados y desmantelados al principio



26



28



27



29



30

de los trabajos de rehabilitación y la compleción de las partes restantes con adoquines nuevos. Para la barandilla, el equipo de coordinación del proyecto optó finalmente por la ejecución de una barandilla idéntica a la existente en el puente en el momento de su destrucción.

El trabajo incluía asimismo la limpieza de la sillería de los muros laterales al puente y la rehabilitación de las torres. Pese a las muchas hipótesis planteadas inicialmente no se llegó a ningún consenso para el uso que se debía dar a las torres una vez rehabilitadas. Finalmente se ha trabajado en ellas con la idea de que sean utilizadas como unas pequeñas salas de exposiciones sobre la guerra, y la reconstrucción del puente.

- 26. Trabajadores compactando el piso para la colocación del pavimento
- 27. Andamiaje para la restauración en la zona de la torre Halebija
- 28. Trabajos de colocación de la cornisa inferior
- 29. Colocación de uno de los sillares que conforman el parapeto. Nótese los pernos salientes a la espera de los sillares
- 30. Talla de acanalamiento para las grapas sobre uno de los muros exteriores del puente

NOTAS

1. S. Bašagić, “Bosnjaci i Hercegovci u islamskoj knjizevnosti”, Sarajevo 1899 p.42
2. K Grujic, “Najljepši turski mostovi u BIH”, Gajret, 1934 p.55
3. Ver teoría de A.Milošević al final del capítulo 2 del presente artículo.
4. Para hacerse una idea del tipo de tareas que realizaban todos los intervinientes en el proceso constructivo de un puente de la época, se recomienda la lectura de *El puente sobre el Drina*, del premio Nobel yugoslavo Ivo Andrić, que desarrolla su historia entorno a la construcción del famoso puente multiarco de Višegrad, también en territorio Bosnio.
5. Celic, Mujecenovic. “Stari mostovi u Bosni i Hercegovini” Sarajevo 1969.
6. Celic, Mujecenovic. “Stari mostovi u Bosni i Hercegovini” Sarajevo 1969
7. Evlija Čelebi “Putopis, u prevodu Hazima Šabanovića” Sarajevo, 1967
8. *Rehabilitation of Tara and Halebija Towers. Archeological Reserach Pilot cultural project for reconstruction of the old bridge in Mostar.* p.547
9. Amir Pasic “The old bridge in Mostar” p.17. Istanbul 1995; Celic, Mujicenovic. “Stari mostovi u Bosni i Hercegovini” Sarajevo 1969.
10. Generalmente una nula conservación del puente y la permisión de circulación pesada sobre el mismo.
11. Comisión organizada por el Instituto para planificación urbana y cuidado de bienes culturales “PROSTOR” Mostar.
12. Rutinas desarrolladas en lenguaje LISP, con sistemas DataBase y MatLab
13. Čelić y Mujecenovic realizaron un trabajo de referencia en la materia sobre los puentes de piedra en el territorio de Bosnia-Herzegovina: “Stari mostovi u Bosni i Hercegovini” Sarajevo 1969. En él se realiza un profundo estudio de los principales puentes existentes y destruidos o parcialmente destruidos tanto técnicamente como etnológicamente. Recoge información fotográfica y planimétrica.
14. Para más información: www.gen-eng.florence.it/momu

31, 32 y 33. Vistas del conjunto tras la reconstrucción y durante los festejos de inauguración



31

Algunos restos originales del conjunto monumental del puente que fueron rescatados del río o desmantelados, serán expuestos en un futuro museo de la ciudad denominado *MoMu* (de Mostar Museum)¹⁴ cuyo eje central será el puente viejo, sus restos y todo lo que está relacionado con él, ya que no en vano la historia de Mostar gira alrededor del mismo. Si se olvidan las ruinas del *Stari Most* se olvida lo más valioso del pasado y lo que realmente queda del puente original.

Alguien se refirió a este territorio como “el avispero de los Balcanes” alguna vez y sin duda sentó un tópico a la hora de hablar de la antigua Yugoslavia. En un territorio de paz frágil, donde los odios son tangibles con tan solo darse un paseo por la ciudad, el futuro es incierto. Son muchos los habitantes que dudan acerca de un futuro conjunto con sus vecinos croatas o musulmanes; y todo esto nos lleva a una pregunta ineludible: ¿merece la pena el esfuerzo realizado en la reconstrucción del puente, cuando es posible que vuelvan a la violencia? Creemos que sí.





32



33

FICHA TÉCNICA

RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE DE MOSTAR EN BOSNIA-HERZEGOVINA

Promotor:

Ciudad de Mostar – Bosnia-Herzegovina

Ente establecido:

PCU Project Coordination Unit–Mr Rusmir Čišić–Mr Tihomir Rozić

Gestión de fondos:

World Bank – Washington – USA

Gestión de concesiones y ofertas:

PCU TA - Technical Assistance – ing. Gilles Pequeux

Países donantes:

Italia, Turquía, Francia, Holanda, Croacia y Banco Europeo

Supervisión científica:

UNESCO y ICE – Comité Internacional de Expertos

Asesoría técnica:

Asesor por el World Bank – arch. Carlo Blasi

Importe de los trabajos:

16.500.000\$

Proyecto Arquitectónico Ejecutivo:

General Engineering - Firenze - arch.Manfredo Romeo - tech.Giovanni Checcucci - arch.Francesco Gazzotti - arch.Alessio Talarico - arch.Paola Marrone - arch. Orazio Soleti - arch.Giuseppe De Giosa - arch.Franco Gualtieri - arch.Patrizio Simoncini - arch.Malika Mela - arch.Francesca Tartaglione - arch. Antonio De Siervi - arch.Sabrina Fungi - arch.Barbara Corazzi - arch.Bernardo Rossi - tech. Miki Shinohara - arch.Giovanni Anzani - ing. Niccolò Baldanzini - ing. Francesco Cenni - ing. Giancarlo Capanni - tech. Bruno Bonuccelli. – arch. Ferran Roig

Proyecto Estructural Ejecutivo:

Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Florencia - prof.ing. Andrea Vignoli - prof.ing. Paolo Spinelli - prof.ing.Franco Angotti - prof.ing. Fabio Selleri - ing. Maurizio Orlando - ing.Cristiano Casamaggi

Ensayos de materiales:

LGA – Alemania – ing. Gregor Stolarski

Prospección geotécnica:

Conex–Yeralti Aramacilik–Bosnia y Turquía–ing.Zoran Steger

Dirección de los trabajos:

Omega Engineering – Croacia – arch. Zeljko Peković

Empresa: ER-BU – Turquía – ing. Omer Biyikoglu

Plazo de ejecución: 2002-2004