

# ESTUDIOS PREVIOS A LA RESTAURACIÓN DE LOS PUENTES HISTÓRICOS DE TRINIDAD Y SERRANOS DE VALENCIA

Margarita Fernández Gómez, Arturo Martínez Boquera, Ignacio Bosch Reig y Paz Cortés Alcober  
 Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia  
 Análisis e Intervención en la Arquitectura Monumental e Histórica

AUTOR DE CONTACTO: Ignacio Bosch Reig, [ibosch@pra.upv.es](mailto:ibosch@pra.upv.es)

**RESUMEN:** *En el presente artículo se exponen de forma resumida, los análisis realizados, métodos empleados, y resultados obtenidos en las investigaciones previas efectuadas en los campos histórico-cultural, gráfico-urbano y constructivo-estructural, para determinar la situación real de conservación de los puentes históricos de Serranos y Trinidad de Valencia, para con ello, poder determinar con rigor las actuaciones de restauración que deben aplicarse para su valoración y permanencia.*

**PALABRAS CLAVE:** estudios previos, restauración, puentes históricos, Trinidad, Serranos, Valencia

Los estudios previos para la conservación-restauración de los puentes de Trinidad y Serranos de Valencia, se han realizado en base al convenio de investigación firmado entre el Excelentísimo Ayuntamiento de Valencia y la Universidad Politécnica de Valencia en fecha 22 de Agosto de 2005.

Para la definición de las propuestas de intervención, se han desarrollado investigaciones previas en tres direcciones: lectura histórico-cultural; lectura gráfica, y lectura constructivo- tecnológico-estructural.

## OBJETO

El conocimiento de los orígenes e influencias, evolución histórico-constructiva, la caracterización físico-química de los materiales pétreos, el reconocimiento de los procesos de degradación con definición de los agentes causantes, el análisis del comportamiento estructural, y la evaluación de los mecanismos y sistemas más adecuados para interrumpir dichos procesos, y consiguientemente, conseguir su conservación y restauración, es el objetivo al que se enfrenta la actuación restauradora que aquí se expone.

## METODOLOGÍA

La lectura histórico-cultural se ha desarrollado mediante el análisis de las influencias culturales, el estudio del origen, datación y autoría de las fábricas de piedra, la evolución constructivo formal... así como la lectura urbana y el papel que en ella han desempeñado los puentes a lo largo de la historia.

La lectura gráfica se ha realizado mediante la toma de datos gráficos a través de la utilización conjunta de las técnicas de Scanner Láser 3d, fotogrametría, topografía, fotografía, y medición directa.

La lectura constructivo-tecnológico-estructural, se ha desarrollado en cinco niveles de reconocimiento: arqueológico, geotécnico, geomorfológico, constructivo-estructural y físico-químico-medioambiental. Ello ha supuesto una campaña de inspecciones de cuatro sondeos geotécnicos con profundidades entre 20 y 30 metros, apertura de 9 calicatas

geotécnicas, arqueológicas y transversales del tablero, extracción de micromuestras de morteros, pigmentos o agentes de deterioro, y extracción de 4 probetas de material pétreo.

Para ello se ha procedido mediante un proceso riguroso de examen-reconocimiento-grafiado, y realización de ensayos.<sup>1</sup>

## RESULTADOS HISTÓRICO-CULTURALES

### La arquitectura medieval

La arquitectura gótica se inició a mediados del siglo XII y se difundió rápidamente por toda Europa en el siglo siguiente. Representó un cambio brusco respecto a la arquitectura precedente, románica, pues se consiguieron obras más ligeras, espaciales y elevadas, procurando puentes de características claramente identificables: arcos apuntados, vanos de luces generosas, mayor altura de gálibo, pilas más reducidas...

### Los puentes

La Edad Media, profundamente sacralizada, precisaba de grandes templos, en los que acoger a los fieles y fomentar su piedad y hasta su temor por el más allá. La arquitectura se convirtió en una herramienta poderosa para la Iglesia. Afianzada esta necesidad se planteó la preocupación por agilizar las comunicaciones, con lo que los puentes pasaron a ser objeto de una atención singular. Se recuperaron y restauraron los caminos y con ellos las obras públicas teniendo prioridad aquellas más convenientes a la Cristiandad, que fueron las rutas de peregrinos, también llamados romeros<sup>2</sup>. La primera fue la de Roma, la segunda en importancia la de peregrinación a Jerusalén, y la tercera de las rutas y la más segura, la de Compostela, al lugar donde se suponía enterrado el Santo Apostol Santiago.

Los primeros puentes fueron de madera. Más tarde, cuando el puente afianzó su funcionalidad y pasó a considerarse emblema de la ciudad y adorno de la misma, se construyeron de piedra. Los puentes así contruidos solían ser más estrechos, de luces menores y mayor ancho





Figura 3. Vista de la inundación que sufrió Valencia en 1957

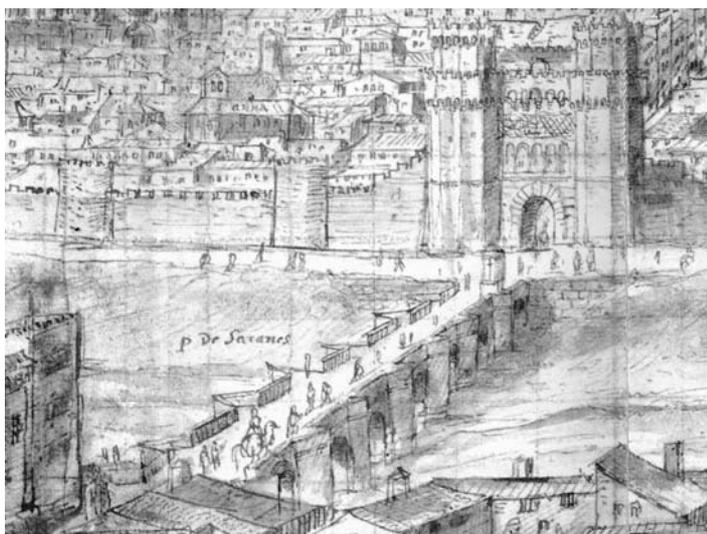


Figura 4. Detalle portal y puente de Serranos y su extensión por la calle Morvedre. Vista de Valencia por Wijngaerde (1563)

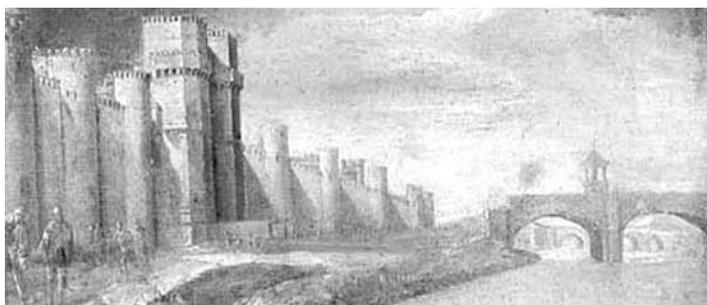
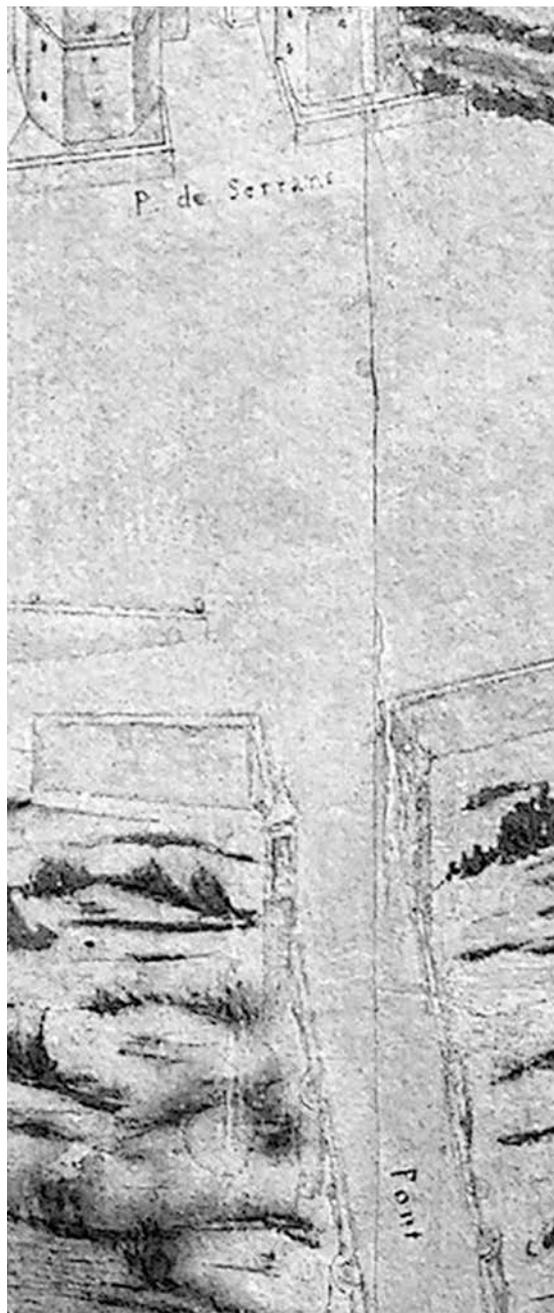
Figura 5. Detalle del cuadro *Venida a Valencia del Cristo del Salvador*, del pintor Vicente Salvador Gómez (1668), perteneciente a la Colección Pere María Orts. Museo de Bellas Artes de Valencia

Figura 6. Detalle del Plano de Tosca. 1704

El puente resistió las avenidas del siglo XV. En el siglo XVI se vió afectado por la fortísima riada de 1517 que le arrancó parte de los pretiles, daño irrelevante comparado con el sufrido por los otros puentes del cauce que quedaron inservibles siendo éste el único que quedó en uso. Posteriormente ha resistido todas las riadas, incluso la de 1957, en la que, de nuevo, sólo sufrieron daños los pretiles. Los casilicios<sup>15</sup> actuales ni son de la época en que se construyó el puente ni tampoco corresponden a los primeros que se levantaron. La primera noticia que se tiene sobre la intención de situar esculturas en el puente es de 1614, cuando fue encargado a Génova un grupo escultórico de la Santísima Trinidad, pero no se llegó a hacer o no llegó a colocarse.

Se hicieron otros en 1722, según Teodoro Llorente, a expensas del canónigo magistral D. Jaime Cervera, el mismo que costeó la cárcel de San Valero. Levantados sobre dos peanas triangulares se dedica-

ron a los santos conversos de Alcira: San Bernardo, María y Gracia, aquel a la izquierda, saliendo de Valencia, y sus hermanas enfrente. Cavanilles los menciona, sin referencias gráficas. Se mantuvieron en este lugar hasta la guerra de la Independencia en que fueron prácticamente destruidas permaneciendo sus restos hasta 1823, en que se demolieron por completo. En 1947 se colocaron sobre los pedestales las estatuas de Santo Tomás de Villanueva, saliendo de Valencia a la izquierda y San Luis Beltrán, a la derecha, ambas obra de Ponzanelli.<sup>16</sup>

El puente tiene dos canalones de piedra en cada tramo, situados en los tímpanos. Quedan restos apreciables de las dos escaleras degolladas, ambas aguas abajo. El pretil es de 1,20 metros de altura y se remata con albardilla biselada. La altura del puente, hasta la rasante, antes de la desviación del río, era de algo más de 6 metros.

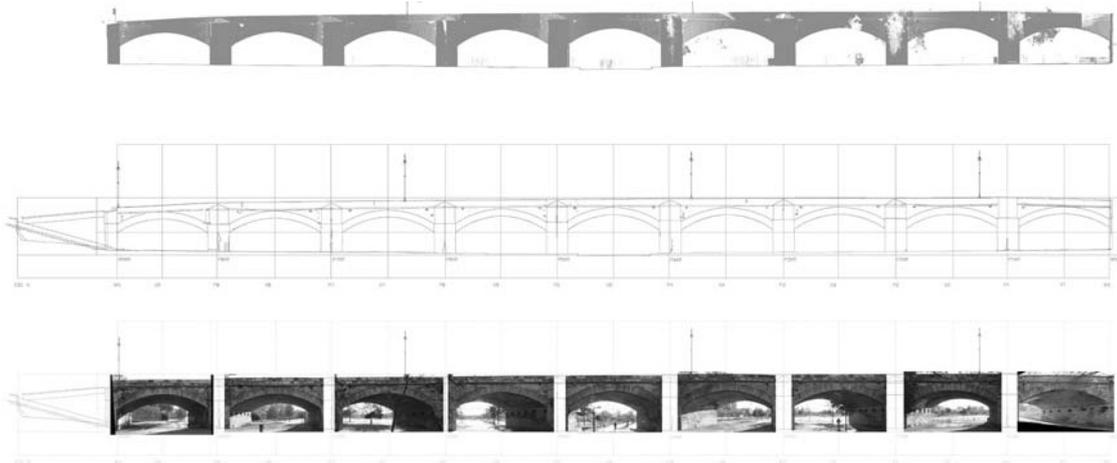


Figura 7. Proceso seguido para la representación gráfica del alzado aguas arriba del puente de Serranos

### Puente de Serranos

Era llamado en las crónicas árabes Bab al-Qantara (el puente), por ser el único que por entonces existía en el cauce<sup>17</sup>. En la riada de 1088, según Ibn al-Qardabus<sup>18</sup>, el puente fue destruido, aunque debió de repararse convenientemente en décadas sucesivas pues en el Llibre del Repartiment de 1244 se hace referencia a su amplitud y solidez.

Se menciona un “puente de piedra” situado aquí en las crónicas de 1248, 1254 y 1262, que no debía serlo totalmente ni era el único puente sobre el Turia, pues hay referencias anteriores a las fechas mencionadas, es decir a 1248, de otro puente llamado “del Real” o “del Temple”, que debía ser una palanca, o pasarela de madera. El de Serranos con el tiempo y las avenidas debió sufrir daños que peor o mejor reparados fueron minando su solidez de manera que en 1349 el Consejo de la Ciudad fijó una cantidad destinada a construir un puente todo de piedra, lo que hace pensar que el anterior si es que fue de piedra, lo sería parcialmente. El nuevo puente cristiano de Serranos se considera el primer puente construido en piedra de la ciudad de Valencia, y fue dañado repetidamente en las riadas de 1358 y 1406, llegando la de 1427 a destruir 4 bóvedas (dos, según Teixidor, 1895). Aunque en 1475 no fue arrasado como las palancas de San José y Mar, no pudo resistir la avenida de 1517 que lo destruyó por completo, por lo que el 22 de junio de 1518 la Junta Vella de Murs y Valls acordó construir uno nuevo tomando como referencia el de la Trinidad, que era el único que seguía en pie<sup>19</sup>. El nuevo puente de piedra de Serranos ya no tuvo problemas, resistiendo todas las avenidas y riadas, aún las más catastróficas como las de 1590, 1883, 1897, 1949 y sobre todo la de 1957, ver figura 3.

En el dibujo de Anthoine van den Wijngaerde de 1563, del que se reproduce un detalle en la figura 4, se aprecia la existencia de arrimaderos sobre los tajamares, que muy posiblemente fueron suprimidos por estar muy dañados a raíz de la defensa de la puerta de Serranos en la invasión francesa. También en el dibujo se aprecia un pedestal con escultura sobre el primer tajamar de la izquierda saliendo de Valencia, posiblemente el “torregó” destinado a la inscripción conmemorativa del puente y plataforma sobre la que se debió construir el casilicio, pues éste fue el primer puente con casilicios de los existentes en el cauce, aunque hoy sea, curiosamente, el único que no tiene ni esculturas ni casilicios. Por decisión de los Jurados, en 1538, se empezó a construir un casilicio dedicado a la Cruz Patriarcal de San Bartolomé -perteneciente a la cercana parroquia, desaparecida tras la Guerra Civil-, realizada en piedra barcheta. En el cuadro *Venida a Valencia de Cristo del Salvador*, reproducido en la figura 5, del pintor Vicente Salvador Gómez, fechado en 1668, aparece como el único casilicio construido sobre el puente de Serranos. Dos años más tarde, se levantó en frente otro casilicio bajo la advocación de San Pedro Nolasco, a expensas de la Orden de la Merced. Según el testimonio de Teodoro Llorente<sup>20</sup> sendos casilicios y los pretiles del puente desaparecieron con motivo de la defensa de la ciudad contra los franceses.<sup>21</sup>

Destrozados en la guerra de la Independencia en que se echaron al río los pretiles y casilicios para la defensa de la ciudad, se acordó reponer las barandas siguiéndolas rectas por donde estaban los casilicios. Observación que invita a pensar en la existencia de arrimaderos ante esa insistencia en “rectas”. Se le pusieron aceras en 1876 y se pensó, ya en este siglo, en una ampliación, como en el del Real, que felizmente, no se llevó a cabo.

### Aspectos relevantes de los puentes de Serranos y Trinidad

Los tajamares en los dos casos son triangulares aguas arriba y abajo, en una solución que denuncia una preocupación por equilibrar su estructura, dando solución simétrica a cada lado. Tienen distinta altura. El de la Trinidad es más bajo y sólo sobrepasa en dos hiladas el intradós del arranque de la bóveda. En Serranos, el tajar llega hasta el nivel del tablero y se estructura en dos cuerpos.

Es interesante la moldura corrida que discurre a lo largo del puente de Serranos, bordeando también los tajamares, moldura que es tangente al trasdós de la clave de las bóvedas y sirve de base, en los tajamares, al sombrerete de remate, enlosado con piedras.

Estas peculiaridades del puente de Serranos, permiten respaldar la posibilidad de que tal como Wijngaerde señala, el puente tuviera arrimaderos triangulares, aunque no semicirculares, como señala el dibujo del Padre Tosca de 1704 reproducido en la figura 6.

## RESULTADOS GRÁFICOS

### La técnica scanner-láser 3D

La aparición de los digitalizadores tridimensionales ha supuesto una enorme simplificación respecto al tradicional método fotogramétrico<sup>22</sup>. Las nubes de puntos del scanner son manejables y podemos disponer cualquier tipo de proyección. Además es posible obtener secciones del modelo puntual.<sup>23</sup>

El equipo de escáner-láser 3D utilizado, se denomina CYRAX 2500, y se caracteriza porque emplea un rayo láser verde de rápido disparo. Es un láser del tipo pulso, de clase II, seguro para la vista. El rayo producido presenta un diámetro de 6 milímetros, en un rango de medición que abarca desde 1,5 metros hasta 150 metros.<sup>24</sup>

### Levantamiento gráfico de los puentes de Serranos y Trinidad

El levantamiento planimétrico y tridimensional de los Puentes se ha realizado mediante la aplicación interactiva de la técnica de scanlaser 3D, con las técnicas más tradicionales de toma de datos como: croquización, fotografía, topografía y fotogrametría.

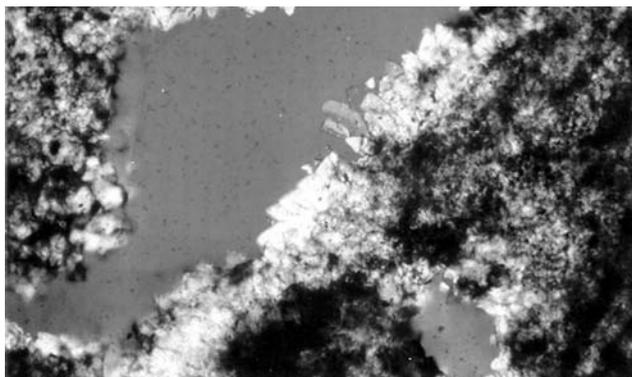


Figura 8. Sección delgada a 100x, NX+C de tosca de Rocafort alterada. Porosidad de primera generación conservando los cristales bordes perfectos y un bandeo paralelo al límite del poro



Figura 9. Vista representativa del deterioro de la piedra

La medición con scanlaser 3D se ha realizado en tres fases: obtención de modelos fragmentados y autónomos de pequeñas zonas del puente<sup>25</sup>; unión de los citados modelos<sup>26</sup>; y dibujado de plantas y secciones.<sup>27</sup>

Todos los datos obtenidos han sido procesados mediante técnicas de dibujo asistido por ordenador (CAD) y modelización en 3D, consiguiendo como resultado de ello un levantamiento gráfico preciso y detallado de cada puente.

La base geométrica para la elaboración de las representaciones se obtiene a partir de la nube de puntos registrada mediante el scanner. Esta nube de puntos constituye la referencia sobre la que se dibuja, bien directa o indirectamente. Importada la nube de puntos a AUTOCAD, se procedió a dibujar la posición absoluta del modelo en el espacio directamente sobre la nube de puntos. Se dibujaron así todos los elementos reconocibles.

Por este procedimiento pudo representarse toda la geometría de la estructura de los puentes, a falta únicamente del detalle del despiece de sillares y de daños estructurales y deterioros de la piedra. Esto se resolvió de un modo alternativo superponiendo en AUTOCAD fotos digitales restituidas de alta resolución sobre la propia geometría de la nube de puntos. El ajuste de la imagen sobre AUTOCAD se realizó rectificando cada imagen en cada área de trabajo, con la ayuda del programa IRAS/C. Esta secuencia de trabajo se puede ver en la figura 7.

#### Apoyo topográfico y fotográfico

Se debe mencionar el apoyo adicional, al levantamiento arquitectónico, mediante técnicas de levantamiento topográfico. Se situaron cuatro estaciones en el entorno de ambos puentes. Con ello, se obtuvieron coordenadas altimétricas de los puntos más significativos del área de intervención y se permitió la inserción de éstos en el sistema de coordenadas UTM, aquel que sigue la cartografía del Exmo. Ayuntamiento de Valencia.

Como complemento gráfico-documental del puente se ha realizado un exhaustivo barrido fotográfico del mismo, de manera que, tras la adecuada clasificación del mismo, se dispone de un documento gráfico de gran valor informativo y documental sobre la obra en su estado actual.

## RESULTADOS CONSTRUCTIVOS

### Materiales existentes

- Materiales originales: sillares de piedra tosca de Rocafort, juntas de mortero de cal, rellenos de hormigón de cal y canto, pigmentación almagra de juntas.

- Materiales de reposición: sillares de piedra caliza de Godelia, juntas de morteros de cemento.

- Materiales añadidos: pavimento de adoquín de basalto (Serranos) o granito (Trinidad), recrecido de hormigón asfáltico, instalaciones, farolas, anclajes metálicos, carteles, ...

### Daños existentes en función de su origen

- Origen estructural: grietas, fisuras, desprendimientos, desplazamientos de sillares, ...

- Origen físico-químico-ambiental: erosión superficial y profunda, pérdida de sección, diferentes niveles de suciedad, costra negra, eflorescencias salinas, humedades, deposición de detritus de palomas, aparición de líquenes, vegetales, ...

- Origen humano: reparaciones inadecuadas con morteros de reposición no-compatibles con la piedra, grafitis, ...

### Ensayos realizados

Se han realizado cinco tipos de ensayos-análisis: los de caracterización mineralógica; los de caracterización físico-mecánica; para el reconocimiento de los procesos de degradación; el análisis medio-ambiental; y los que buscan reconocer los procesos de intervención más adecuados.<sup>28</sup>

### Características mineralógicas de la Piedra Tosca de Rocafort

El estudio mineralógico ha puesto de manifiesto que la piedra Tosca de Rocafort corresponde a una roca caliza de tipo travertino en tono beige claro, ligero, y que ocasionalmente contiene inclusiones localizadas de materiales arcillosos.

Es una roca esparítica constituida por agregados microcristalinos cuyo desarrollo posibilita una intensa porosidad al conjunto rocoso. En ella se disponen aleatoriamente restos de precipitaciones orgánicas de tipo algal y microplanos de deposición sedimentaria.

Presenta la textura de una caliza con factores organógenos escasamente diferenciables y de precipitación química; dando una micrita con algo de "spray" heterométrico y que con frecuencia cierran porosidades o al menos las tapizan.

A 30 cm de profundidad, cabe señalar la identificación de granos aislados de cuarzo dispersos en las formaciones de calcita.

El espectro de energías de rayos X pone en evidencia la presencia de Cl, S y Fe<sup>29</sup>. Se observa también una presencia significativa de Fe, Al y Si que se asocia a materiales arcillosos, muy posiblemente partículas en suspensión en el aire depositadas en la superficie de la piedra.

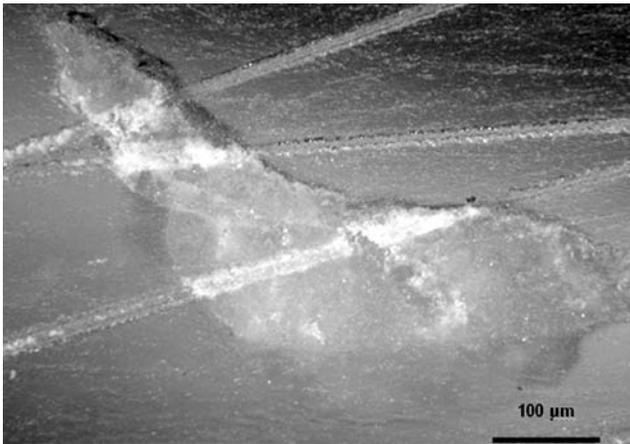


Figura 10. Eflorescencias Salinas. Microscopía óptica. Microfotografía 1 de la muestra PS-53



G-33 A (azul)  
G-33 B (verde)  
G-33 C (rojo)  
G-33 D (negro-plateado)

Figura 11. Análisis de grafitis sobre la piedra. Sección transversal

A m.1	† m.6	+ m.11	△ m.16	‡ m.21	◻ m.26	* m.31	b m.36	P m.41	é m.46	ρ m.51	¶ m.56	→ m.61	◁ m.66	∩ m.71	∫ m.76	∫ m.81	∩ m.86
▷ m.2	† m.7	△ m.12	△ m.17	7 m.22	† m.27	# m.32	# m.37	∫ m.42	× m.47	+ m.52	◻ m.57	◊ m.62	▷ m.67	∫ m.72	∫ m.77	△ m.82	∫ m.87
∫ m.3	† m.8	∞ m.13	∞ m.18	k m.23	∫ m.28	∫ m.33	† m.38	∫ m.43	▷ m.48	◻ m.53	S m.58	△ m.63	A m.68	∫ m.73	× m.78	∫ m.83	∫ m.88
† m.4	∫ m.9	⊙ m.14	∫ m.19	∫ m.24	∫ m.29	∫ m.34	N m.39	b m.44	∫ m.49	∫ m.54	→ m.59	△ m.64	→ m.69	∫ m.74	∫ m.79	X m.84	
A m.5	∫ m.10	A m.15	+ m.20	∫ m.25	∫ m.30	S m.35	E m.40	∫ m.45	F m.50	* m.55	∫ m.60	△ m.65	∫ m.70	∫ m.75	∫ m.80	∫ m.85	

Figura 12. Leyenda de las Marcas de Cantería encontradas en ambos puentes.

Mediante la Difracción de Rayos X, se ha identificado la calcita como elemento mayoritario constituyente de este material pétreo.

**Características físico-mecánicas de la Piedra Tosca de Rocafort**

La alta porosidad ha sido puesta de manifiesto, tanto por el examen con lupa binocular, que indica la presencia de microporositos en los cristales de calcita de color meloso de bordes fuertemente irregulares, como por la microscopía electrónica con sonda de EDX, que en las imágenes obtenidas mediante electrones secundarios de las muestras de monumento interior y exterior presenta un aspecto macroporoso. Ver figura 8.

Igualmente se aprecia un incremento de la porosidad de la roca de monumento respecto a la fresca de cantera, y de la cara externa de monumento respecto a la cara interna. Su alta porosidad le dota de una gran penetrabilidad, tanto al agua como a los contaminantes atmosféricos y a otros agentes ambientales.

Los resultados obtenidos en los ensayos físico-mecánicos nos muestran un material pétreo con una fuerte porosidad (26% de porosidad y 12% de absorción de agua), baja densidad (1.747 kg/m3 en Serranos y 1.918 kg/m3 en Trinidad), y baja resistencia a compresión (5,75 N/mm2 en Serranos y 7,91 N/mm2. en Trinidad). Existiendo una gran diferencia al compararlos con los valores de la muestra de cantera: 10,1% de porosidad; 2,5% de absorción de agua; 2,346 kg/m3 de densidad, y 45,9 N/mm2 de resistencia a compresión.

El coeficiente de saturación (0,87), el comportamiento frente a ciclos de humectación y secado (0,3%), y el comportamiento frente a la cristalización de sales (0,3 y 0,0), se consideran satisfactorios. Igualmente la variación dimensional por cambios térmicos (0,36 de retracción y 0,07 de expansión), es similar a la de cantera (0,33 y 0,16), y no es excesivamente alta, por lo que no parece que suponga aspecto relevante en su proceso de degradación actual.

El análisis del contenido en sales solubles muestra concentraciones poco significativas de aniones y cationes.<sup>30</sup>

**Alteraciones Externas**

Las alteraciones más significativas que presenta la superficie pétreo, como se puede observar en la figura 9, son:

- Costras negras: en los análisis se ha reconocido un aspecto notablemente estratificado, que sugiere un proceso de formación progresiva por depósito laminado de materiales, con mecanismos de formación de microcristales a partir de los agentes de contaminación atmosférica.
- Eflorescencias salinas: se han detectado como componentes mayoritarios la nitrocalita, halita y silvita, reconociéndose como componentes moderados o minoritarios la arcanita, calcita, cuarzo, basanita, wollastonita, yeso, y presencia de óxido de hierro en el caso de la eflorescencia de color pardo-rojizo. La figura 10 muestra una microscopía de estas sales.
- Grafitis: en todos los grafitis analizados se ha localizado la presencia de una resina sintética de tipo alquídica, utilizada como aglutinante. Solo en el caso del grafiti asociado a eflorescencia, se ha detectado además una resina de tipo mixta alquimia-acrílica. La figura 11 muestra una sección.

**CONCLUSIONES SOBRE LA DEGRADACIÓN DE LA PIEDRA**

De los resultados antes comentados se pueden extraer las siguientes conclusiones como posibles causas de la alteración de esta roca:

- Procesos de meteorización (alveolización) por agentes físicos, especialmente el viento y el agua.
- Aparición de formaciones cristalinas de CaSO4 a causa de la presencia de un elevado índice de compuestos de azufre en la atmósfera.
- Presencia de cloruros que, a causa de su gran movilidad, han penetrado a gran profundidad por la red porosa.
- Presencia de nitratos en la superficie, originados bien por agentes de contaminación atmosférica, bien por agentes biológicos.
- Incremento de la porosidad y pérdida de la matriz y cemento calcítico de la superficie externa a causa de la acción química.



Figura 13. Cimentación de Trinidad



Figura 14. Cimentación de Serranos

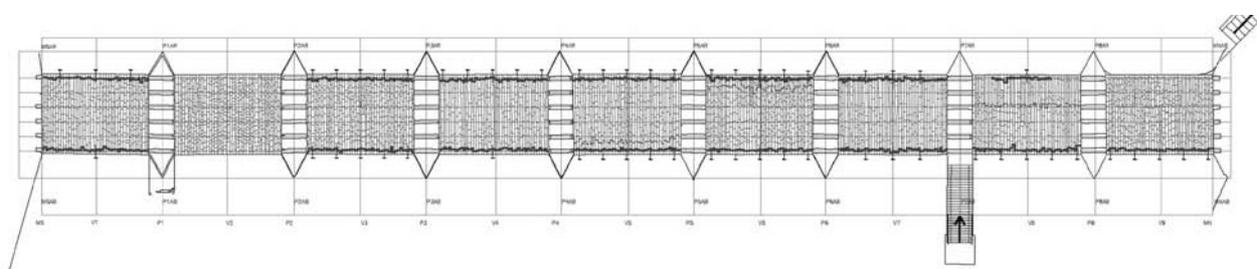


Figura 15. Cuadro fisurativo de Serranos

### Marcas de Cantería

Se han localizado hasta un total de 88 marcas de cantería diferentes entre ambos puentes, habiéndose situado las mismas en su posición exacta en el levantamiento gráfico. La figura 12 reproduce estas marcas.

## RESULTADOS COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

### Características del terreno

Hasta la cota de asiento de la cimentación (-2,80m), estratos de terreno vegetal, rellenos antrópicos y gravas de matriz areno-arcillosa. A partir de esa cota, sucesivos estratos alternativos de gravas con matriz areno-arcillosa de origen aluvial, y arcillas limosas, situándose el nivel freático a 4,20 metros de profundidad.

La aceleración sísmica básica en la zona es de 0,06g, según la Norma Sismorresistente (NCSR-02) y el terreno se puede clasificar como tipo II-III según la citada normativa.

Del ensayo de agresividad realizado siguiendo la EHE, se desprende que el suelo y el agua no son agresivos al hormigón.

Del perfil geotécnico obtenido en los sondeos realizados, se ha estimado una carga admisible frente al hundimiento  $q_{adm} = 15,00-17,00 \text{ kg/cm}^2$  a partir de la expresión de Brinch-hansen a largo plazo con un coeficiente de seguridad de 3, tensiones que darían lugar a asentamientos inadmisibles, con lo cual se ha limitado la tensión admisible de trabajo de una cimentación directa a partir de un asiento máximo de cálculo de 3,50cm, asiento que se daría lugar para una carga admisible de  $q_{adm} = 6,00 \text{ kg/cm}^2$ .

### Características de la cimentación

En el puente de la Trinidad, la cimentación de las pilas está formada por una losa continua de hormigón ciclópeo de cal y canto de 1,80 m de profundidad, situada de orilla a orilla del cauce, y terminada con una losa de coronación de piedra caliza tallada en forma trapezoidal con bisel orientado aguas arriba, de 20 cm de espesor, 45 cm de anchura y longitud variable de 80 a 100 cm, sobre la que se inicia la fábrica de las pilas-tajamares. En la figura 13 se aprecia una de las catas de las que se extrae esta información.

En el puente de Serranos la cimentación es aislada e individual para cada pila, está formada por losa de hormigón de cal y canto de 1,40 m de profundidad, que se asienta sobre un plano horizontal de losas de piedras de 20 cm de espesor, como se aprecia en la cata de la figura 14.

En todo caso, el nivel actual del lecho del cauce, está situado 70 cm por encima del nivel original, lo que supone el ocultamiento de la losa de coronación y la primera hilada de sillares, en el caso del puente de la Trinidad, y de dos hiladas de sillares en el puente de Serranos.

### Características del material pétreo

Los bajos resultados obtenidos en los ensayos físico-mecánicos antes comentados nos dan una idea de la alta degradación experimentada por el material pétreo constitutivo de los puentes, a lo largo de su existencia.

Respecto al hormigón de cal y canto, cabe decir que se le ha reconocido una alta densidad de 2.350 kg/m<sup>3</sup> en Serranos y 2.150 kg/m<sup>3</sup> en Trinidad.

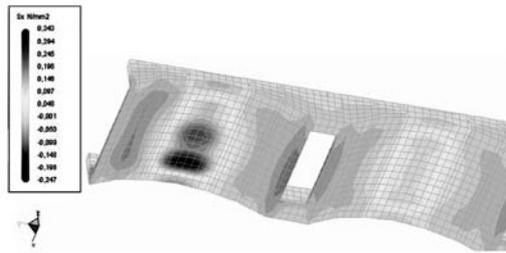


Figura 16. Resultado tensional en el puente de Serranos

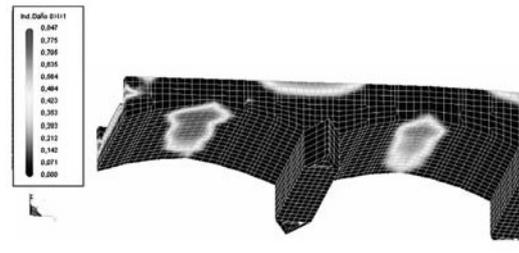


Figura 17. Modelo de daños. Puente de la Trinidad

### Daños estructurales

La patología estructural más relevante está conformada por grietas paralelas a los arcos en la unión de éstos con las bóvedas, principalmente en los ojos extremos del puente, con dimensiones de grietas de hasta 6 cm de espesor. La figura 15 muestra en planta la posición de estas grietas.

### Comprobación de la cimentación

El método de cálculo utilizado para la comprobación de la cimentación ha empleado el programa PLAXIS (versión 8.2), que permite un cálculo en dos dimensiones, a través del método de los elementos finitos.<sup>31</sup>

Resultados: se puede concluir que el coeficiente de seguridad frente a hundimiento, es superior al exigible<sup>32</sup> y que los asientos que provocarían las sobrecargas actuales son totalmente admisibles<sup>33</sup>. Considerando que no se prevé ningún incremento de las sobrecargas, no es necesario llevar a cabo ningún recalce o reparación de los cimientos del puente de Serranos.

### Análisis del comportamiento estructural

La elaboración del modelo de cálculo se ha realizado a través del programa EFCID<sup>34</sup>, que utiliza los entornos de CAD para la definición de dicho modelo de cálculo a partir del levantamiento gráfico fidedigno realizado con escáner-láser.

Se ha efectuado tres tipos de análisis<sup>35</sup>, estático lineal; dinámico con un cálculo modal-espectral para acciones sísmicas; y estático no lineal con modelo de daños isotrópico para caracterizar la fractura<sup>36</sup>. El objeto es determinar el grado de seguridad frente a las acciones previstas sobre el puente según la normativa actual IAP, y poder determinar qué tipo de acción ha podido producir las grietas en la parte inferior de las bóvedas de los ojos del puente y paralelas a la línea de pretilas.

Los resultados del comportamiento de ambos puentes, ante cargas gravitatorias estáticas, en cualquiera de sus combinaciones, así como dinámicas de sismo (con un periodo de recurrencia de 500 años), tanto en el análisis lineal, dinámico o no-lineal con modelo de daños, son valores aceptables que no implican posibles deterioros estructurales.

Sin embargo, frente a las acciones de tráfico de acción de frenado y centrífuga en trazados circulares, combinadas con las gravitatorias estáticas, las tensiones de tracción en la cara inferior de las primeras bóvedas de ambos puentes, aumentan considerablemente, llegando a alcanzar valores de hasta 0,5 N/mm<sup>2</sup>, lo que justifica los estados de fisuración existentes. La figura 16 muestra una modelización de las tensiones en dos vanos del puente de Serranos.

Estos valores del estado tensional son congruentes con el análisis no lineal con modelos de daños<sup>37</sup>, en los que se pone de manifiesto la aparición de daños significativos del orden de 0,5 en la fábrica de los sillares del puente de Serranos y 0,8 en los de la Trinidad, dentro de una escala que oscila entre 0, ausencia de daños y 1 colapso del material. La figura 17 representa gráficamente estos daños.

Ello puede ser debido a la forma en que el tráfico acomete al puente, y que esos esfuerzos horizontales se transmitan al enlace de la sillaría provocando las fisuras más significativas de las bóvedas puestas de manifiesto en su cara inferior.

### CONCLUSIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

De todo lo anteriormente expuesto se puede concluir que, el tráfico rodado es el causante de la fisuración en las bóvedas. Las fisuras que aparecen paralelas a los arcos en la unión de éstos con las bóvedas, en los ojos extremos de los puentes, son debidas a las acciones horizontales provocadas por el tráfico rodado en los trazados curvos que realizan a la entrada y a la salida de los puentes.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente artículo desean dejar constancia de su agradecimiento al Excmo. Ayuntamiento de Valencia, por la oportunidad que nos ha brindado al promover esta restauración, y a los diferentes colaboradores, tanto en las investigaciones previas, como en la redacción del Proyecto, de forma que sin su dedicación y asistencia rigurosa, no hubiera sido posible esta intervención:

Coordinación General: Pilar Roig Picazo

Arquitectos colaboradores en el proyecto: Carlos Campos Gonzalez, Vicente Corell Farinos, Roberto Santatecla Fayos, José Luis Alapont Ramón, Ana Navarro Bosch

Arquitectos colaboradores en la estructura: Adolfo Alonso i Dura

Ingenieros de caminos canales y puertos: Joaquín Catalá Alís, Pedro Calderón García

Profesores upv/uv y colaboradores:

Levantamiento Gráfico 2d Y 3d: Pablo Navarro Esteve, José Herraez Boquera

Análisis Histórico-Gráfico: Vicente Guerola Blay, Enrique Moreno Ribelles

Análisis Geomorfológico: Pilar Carmona González, José Miguel Ruiz

Análisis Y Seguimiento Óptico-Colorimétrico: José Antonio Madrid García,

Juan Valcárcel Andrés, Pablo Gómis Fletcher, Dámaso Rico Torres

Análisis Físico-Químico Y Medioambiental: María Teresa Doménech Carbó,

Juan Carlos Asensi Sempere, Vicente Esteve, Juana De La Cruz Cañizares, Laura Oseté Cortina

Análisis Arqueológico: Albert Ribera Lacomba, Guillermo Pascual Berlanga,

Javier Máñez Rodero

Análisis Materiales Pétreos: José Luis Roig Salom, Xavier Mas I Barberà, Begoña Sainz Mauleón, José Vicente Grafía Sales, Juan Aznar

Instalaciones: Elías Hurtado Pérez

Seguridad Y Salud: María José Ballester Bordes

Medición Y Presupuesto: Daniel García Domenech, Rafael Pastor Ferrandis,

Sofía Gasent Castellano

Arquitectos: Luis Bosch Roig, Valeria Marcenac, Juan Serra Lluç, Beatriz López

Núñez, Katharina Polzl, Diana Menéndez Gómez

Gestión: Mónica Espí Pastor, Ignasi Gironés Sarrió, Jacob López-Cano Ausejo-

Tratamientos Gráficos: María Palumbo, Gema Gómez Chaparro, Inmaculada

Clavel Piá, Paula Del Valle Bartolomé, Vicente Miralles Asensi, Pablo Bosch

Marquina, Francisco Blanco-Moreno Perez, Álvaro Leonardo Perez

## NOTAS ACLARATORIAS

<sup>1</sup> Para reconocer con mayor claridad la metodología utilizada, ver lo indicado en: Bosch (2005: 192-198).

<sup>2</sup> Las rutas de peregrinos se llamaban romeros por ser Roma, la Ciudad de los Mártires, la principal, que contaba desde la Edad Media, con los Mirabilia, guías sacras que indicaban los lugares donde los santos habían sufrido martirio, estaban enterrados o se veneraban importantes reliquias.

<sup>3</sup> Esta ingeniosa fórmula, permitía ensanchar el tablero, y frente a las soluciones precedentes romanas de tablero de ancho notable y constante resultaba indudablemente más económica, tanto por el ahorro de material como de mano de obra. Estos arrimaderos desempeñaban las funciones de descanso y también de protección.

<sup>4</sup> La explicación de lo que supuso la Pequeña Edad de Hielo en Valencia, ver lo indicado por Ruiz (2004).

<sup>5</sup> Para un mejor conocimiento de las diferentes riadas que ha experimentado el Río Turia a su paso por Valencia, ver lo indicado por Fernández (2006).

<sup>6</sup> El análisis pormenorizado de lo que supuso para Valencia la Institución de La Fábrica de Murs i Valls, se puede ver en Meliá (1990).

<sup>7</sup> Esta puerta ya fue mencionada por el geógrafo al-Udri en el siglo XI, ver Huici (1969).

<sup>8</sup> Según se desprende de los versos de varios poetas del siglo XII y XIII, como Al Rusafi e Ibn al-Abbar, ver en Terés (1965: 291-303).

<sup>9</sup> Según concesión del Rey Jaime I a Pere Guillen. Ver en Ferrando (1979).

<sup>10</sup> Esta afirmación se basa en lo indicado por Teixidor, que explica que en 1345 se comienza a plantear la idea de rehacer el puente. Ver en Teixidor (1985:68).

<sup>11</sup> El Monasterio de la Trinidad toma gran importancia en ese momento con la edificación en él de la capilla de la Virgen de la Piedad, que despertó un gran entusiasmo entre los valencianos. Ver AMC, T. 7 de cartas misivas recogidas por Teixidor (1985:57-59).

<sup>12</sup> Los pormenores de sus artífices, costo, materiales y reparaciones del nuevo puente, lo podemos seguir en el documentado trabajo de Serra (2002).

<sup>13</sup> Este tema se deduce de lo indicado en MCA-23. fol. 73 v., Cárcel (1992:1481-1546).

<sup>14</sup> Esta afirmación se deduce de lo indicado por los jurados de Valencia, en carta dirigida al papa Benedicto XIII que hablan de unum pontem mirabilis pulchritudinis, totum lapideum, en relación con el monasterio de la Trinidad, frente al cual se construía, á portali des Catalans usque ad dictum monasteri. Ver en Llorente (1980:1887-1889).

<sup>15</sup> A propósito del nombre de casilicio, elemento frecuente en los puentes antiguos del cauce del Turia, citamos textualmente las precisiones sobre el término hechas por Teodoro Llorente, 1887: Empleo esta palabra [casilicio] porque es de uso general en Valencia y la han adoptado todo los escritores valencianos hablando en castellano y refiriéndose a los templetes de los puentes. Es voz valenciana casalici o casilici, diminutivo de casa. Véase Llorente (1980:1887-1889).

<sup>16</sup> Estas esculturas fueron encargadas por el canónigo Antonio Pontons para el puente de San José. Se hicieron en 1693-94 y fueron colocadas poco después, pero al ser reformado aquel en 1906 se llevaron al Museo Provincial de Bellas Artes de San Pío V donde permanecieron hasta que en 1947 fueron colocadas en el puente de la Trinidad.

<sup>17</sup> Huici cita al geógrafo al-Udri que menciona y pondera la perfección de un puente frente a la puerta de al-Qantara mandado construir por el emir Abd-al-Aziz, nieto de Almanzor (1021-1061). Ver en Huici (1969).

<sup>18</sup> Ver en Huici (1969:39)

<sup>19</sup> Fue en esta ocasión cuando, según Escolano, el maestro Juan de Salaya dio la orden de cimentar con esas piedras romanas el nuevo puente, placas de mármol de época romana con inscripciones, historia que Teixidor en 1895 desmintió y que pensamos que de haber ocurrido, lo que está por ver y tiene difícil comprobación, no debió suceder en ese momento, pues en las primeras décadas del siglo XVI no tenía sentido tal acción ni como triunfo simbólico sobre el paganismo, ni por economía de medios. O bien el hecho se produjo un siglo después o hay que darle a Teixidor la razón y tal suceso nunca se produjo.

<sup>20</sup> Véase lo indicado por Teodoro Llorente (1980:541).

<sup>21</sup> Otros datos mencionan hasta un total de cinco casilicios, dedicados a: San Pedro Nolasco (1670), San Pedro Pascual, Fray Guilaberto Jofré, la reina doña Teresa Gil de Vidaurre, y Nuestra Señora de la Merced. Ver en Lara (1983).

<sup>22</sup> No sólo porque se simplifica el trabajo de campo (preseñalización, apoyo topográfico, fotogramas, etc.), sino porque el modelo puntual que se obtiene puede observarse en cualquier tipo de proyección y situarse en las posiciones habituales de planta, alzado y perfil, tal como se necesitan para la elaboración de las proyecciones diédricas. En la fotogrametría tradicional, el modelo se puede observar tridimensionalmente a partir de los fotogramas, pero siempre en proyección cónica. Ver en Pons (1999).

<sup>23</sup> Véase lo indicado por Beraldin et al. (2002).

<sup>24</sup> Según las especificaciones del aparato el alcance es de 50 m, sin embargo, tras efectuar el manejo del equipo en campo, se ha llegado a la conclusión de que el rayo es operativo hasta un alcance de 150 metros.

<sup>25</sup> Para la obtención con precisión de los modelos independientes, se han realizado sucesivas estaciones de scanner, como se indica en Axelsson, 1998.

<sup>26</sup> El empalme de los diferentes modelos autónomos, tiene por objetivo el disponer de un modelo único de trabajo de conjunto, como indica Bornaz (2001).

<sup>27</sup> Para conseguir, a partir del modelo único, el dibujar los diferentes planos, es preciso disponer de un único sistema de coordenadas, tal y como indica Williams (2003).

<sup>28</sup> Estos ensayos, han sido realizados por el Laboratorio de Análisis Físico-Químico del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia, dirigido por la Doctora Teresa Doménech Carbó. Ello queda reflejado en Bosch (2004:52-55).

<sup>29</sup> Mientras que los dos primeros elementos se asocian a iones Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> que habrían migrado desde el exterior a través de la red porosa, hasta esta profundidad, la presencia de hierro se justifica asociada a trazas de materiales arcillosos y otros minerales ricos en hierro, presentes en la roca desde su génesis.

<sup>30</sup> Sin embargo, se aprecia un incremento progresivo de la muestra de roca fresca a la roca de monumento extraída del interior, y de esta última a la extraída en la cara externa. Este aumento es más significativo en el caso de los sulfatos y cloruros.

<sup>31</sup> Para la peritación de la cimentación se ha considerado que el material constitutivo "cal y canto", tiene un comportamiento elastoplástico, con un criterio de plastificación de M $\ddot{o}$ hr-Coulomb, con los siguientes parámetros: Módulo elástico: E = 9000 MPa; Módulo de Poisson,  $\nu$  = 0,2; Cohesión, c = 2500 kPa; Ángulo de rozamiento= 35°; Densidad aparente,  $\gamma$  = 23 kN/m<sup>3</sup>. Mientras que las gravas arenosas sobre las que se asienta la cimentación, se les supone comportamiento elastoplástico, con un criterio de plastificación de M $\ddot{o}$ hr-Coulomb, con los siguientes parámetros: Módulo elástico, E = 9000 MPa; Módulo de Poisson,  $\nu$  = 0,2; Cohesión, c = 2500 kPa; Ángulo de rozamiento= 35°; Densidad aparente,  $\gamma$  = 23 kN/m<sup>3</sup>. Las cargas consideradas, se corresponden con las deducidas del estudio estructural, siendo las cargas máximas por pila de 14.680 KN en Serranos y 9.970 KN en Trinidad. De ellas, el 90% corresponde a peso propio y cargas muertas, y tan solo un 10% se refiere a sobrecargas.

<sup>32</sup> El estudio geotécnico evalúa la tensión de hundimiento de la cimentación y la cifra en 15-17 kp/cm<sup>2</sup> (1500-1700 kPa). Dado que las cargas son del orden de 150 kPa, se dispone de un coeficiente de seguridad frente a hundimiento muy superior al exigible en estos casos (3,0)

<sup>33</sup> El asiento que induce la sobrecarga es reducido, con un valor máximo de 1,2 cm. en Serranos, y 3-4mm en Trinidad. Incluso en la hipótesis de que este asiento se produzca sólo en una pila, permaneciendo las restantes sin variación, la distorsión angular que produciría este asiento diferencial pésimo sería de 1,2 cm / 18 m = 1/1500 (en Serranos) y 0,4 cm / 16 m = 1/4000. Se trata de una distorsión angular inferior a las consideradas admisibles para edificios antiguos de mampostería, que es de 1/1000.

<sup>34</sup> Programa de análisis por elementos finitos desarrollado en el Departamento de MMCYTE de la UPV.

<sup>35</sup> Para comprender con claridad la decisión de realizar estos tres tipos de análisis, ver lo indicado por López (1998). Así como lo expresado por Luccioni (1996: 373-382).

<sup>36</sup> Para reconocer la conveniencia del análisis no-lineal con modelos de daños, ver lo indicado por Lourenço (1996).

<sup>37</sup> La correspondencia entre los resultados del análisis no-lineal con modelo de daños y su vinculación con las construcciones históricas, puede verse en Hanganu (1997: 183-203).

## BIBLIOGRAFÍA

Axelsson, (1998): "Processing of laser scanner data – algorithms and applications". *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 54, Estocolmo.

Beraldin, J.-A., Picard, M., Ei-Hakim s, F., Godin, G., Valzano, V., Bandiera, A., Latouche, C. (2002): "Virtualizing a Byzantine Crypt by Combining High-resolution Textures with Laser Scanner 3D Data", in *8th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM)*, Kyongju, Korea.

Bornaz, L., Lingua, A., Rinaudo, F. (2001): *A new software for the automatic registration of 3D digital models acquired using laser scanner devices*, Politecnico di Torino.

Bosch I. (2004): *Instituto de restauración del Patrimonio*. Ed. UPV. Valencia, 52-55.

Bosch, I. (2005): *Intervención en el Patrimonio: análisis tipológico y constructivo*, Ed. UPV, Valencia.

Cárcel, M<sup>a</sup>. M; Trenchs, J.(1992): "El Consell de Valencia: Disposiciones Urbanísticas (siglo XIV)", *La España Medieval* 7, 1481-1546.

Fernández, M., Pascual, G., Carmona, P., Bosch, I. (2006): "Lectura histórico-cultural de los puentes históricos de Serranos y Trinidad", in *XVI International Meeting on Heritage Conservation, 2-4 November 2006: Preprints*, Ed. UPV, Valencia.

Ferrando, A. (1979): *El Llibre del Repartiment*, Vicent Garcia Editors, Paterna.

Hanganu, A.D.; Barbat, A.H.; Oñate, E. (1997): "Aplicación del Índice Global de Daño al estudio de Construcciones Históricas. Metodología de evaluación del deterioro en estructuras de homigón armado". *Monografía CIMNE* 39, 183-203.

Huici, A. (1969): *Historia musulmana de Valencia y su región*, 3 Tomos, Valencia.

Llorente, T. (1980): *Valencia. Sus monumentos y artes. Su naturaleza e historia*, (ed. facsimil), tomo I, 1887-89.

López, J.; Oller, S.; Oñate, E.; (1998): "Cálculo del Comportamiento de la Mampostería mediante Elementos Finitos". *Monografía CIMNE* 46.

Lourenço, P.B. (1996): *Computational Strategies for Masonry Structures*, Tesis Doctoral, Universidad Tecnológica de Delf. Delf University Press.

Luccioni, B.; Martín, P.; Danesi, R. (1996): "Modelo elastoplástico general para materiales ortótropos". *Mecánica Computacional*, Tucumán. Argentina, Vol.17, 373-382.

Melió, V. (1990): *La Fàbrica de Murs i Valls (Estudio de una Institución Municipal en la Valencia del Antiguo Régimen)*. Tesis Doctoral, Universitat de València 2 tomo, Valencia.

Melió, V. (1991): *La "Junta de Murs y Valls", Historia de las Obras Públicas en la Valencia del Antiguo Régimen. Siglos XIV-XVIII*, Consell Valencià de Cultura, Valencia.

Orellana, M. A. (1924): *Valencia Antigua y Moderna*. Acción Bibliográfica Valenciana, Tomo II, Copia facsímil.

Pons, R. (1999): *Apuntes de fotogrametría para Ingenieros Técnicos en Obras Públicas*, SPUPV-99.585, Valencia.

Roig, P. (2005): *Estudio Técnico, analítico y estilístico de obras de arte*, Ed. UPV, Valencia, pag. 88-174.

Ruiz, J.M. (2004): "Las inundaciones del Júcar durante la Pequeña Edad del Hielo", *Asamblea de Historia de la Ribera*, Antella.

Serra, A. (2002): "Caminos acequias y puentes. Las actividades de los maestros de obras en la ciudad y el territorio de Valencia (siglos XIV y XV)". *Pub. Colegio Arquitectos*. Ed. F. Taberner, Valencia.

Teixidor, J. (1985): *Antigüedades de Valencia*. (ed. facsimil 1985, 2 vols.). Valencia.

Terés, E. (1965): "Textos poéticos árabes sobre Valencia", *Al Andalus* 30, 291-303.

Williams, N., Low, K., Hantak, C., Pollefeys, M., Lastra, A., (2003): *Automatic Image Alignment for 3D Environment Modeling*. University of North Carolina.

## AUTORES

**Margarita Fernández Gómez:** Dra. Arquitecta, Catedrática de Universidad del Departamento de Composición Arquitectónica, ETSA, UPV.

**Arturo Martínez Boquera:** Dr. Arquitecto, Catedrático de Universidad del Departamento de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras, ETSA, UPV

**Ignacio Bosch Reig:** Dr. Arquitecto, Catedrático de Universidad del Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSA, UPV

**Paz Cortés Alcober:** Arquitecta. Becaria. UPV

English version

TITLE: *Previous studies of the restoration of the historical bridges of "Trinidad" and "Serranos" of Valencia*

ABSTRACT: *In the present paper we summarise the analyses and methods carried out and the results obtained in the previous research works performed in the historical-cultural, graphic-urban and constructive-structural fields in order to determine the conservation status of the historical bridges of Serrano and Trinidad of Valencia for the purpose of determining rigorous restoration interventions to be used for their conservation and valuation.*

KEYWORDS: *previous studies, restoration, historical bridges: Trinidad and Serranos, Valencia*