

UTILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE LA Fm ARENISCAS DE SALAMANCA (CRETÁCICO TERMINAL-PALEOCENO) EN LA CALZADA Y SILLARES DEL PUENTE ROMANO DE SALAMANCA: ANÁLISIS GEOARQUEOLÓGICO

[Use of the Salamanca Sandstone Fm (Latest Cretaceous-Paleocene) in the pavement and asblar of the Roman Bridge in Salamanca: geoarchaeological analysis]

G. ALONSO GAVILÁN*

M. BRAGADO GONZÁLEZ**

L. R. MENÉNDEZ BUEYES**

M. D. RODRÍGUEZ ALONSO*

M. BARTOLOMÉ*

H. HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ*

(*) Departamento de Geología. Universidad de Salamanca. Facultad de Ciencias. Plaza de los Caídos, s/n. 37008 Salamanca. Correo-e: gavilan@usal.es

(**) Departamento de Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología. Universidad de Salamanca. Facultad de Historias. C/ Cervantes, s/n. 37002 Salamanca. Correo-e: mbueyes@usal.es

(FECHA DE RECEPCIÓN: 2011-7-12) (FECHA DE ADMISIÓN: 2011-9-1)

BIBLID [0211-8327 (2011) 47 (2); 141-174]

RESUMEN: El estudio geoarqueológico de los materiales que constituyen la mayor parte de la calzada y desde la pilastra saliente hasta arriba del Puente Romano de la ciudad de Salamanca permiten asignarlos a la Fm Areniscas de Salamanca de edad Cretácico Terminal-Paleoceno. La identificación de esta unidad litoestratigráfica como principal medio generador de estos materiales derivó en la búsqueda e identificación de los posibles puntos de extracción, canteras de las que pudieran haber extraído los sillares tanto actuales como históricas o de afloramientos hoy día ocultos. El análisis estratigráfico y sedimentológico de los depósitos sedimentarios realizados en los cerros de la Peña de Celestina, San Vicente, Peñuelas de San

Blas, Calvarrasa de Arriba, los dos Arapiles (Chico y Grande) y Aldeatejada, entre otros muchos, pusieron de manifiesto la presencia de grandes cuerpos cóncavos, casi tabulares, constituidos por areniscas microconglomeráticas blancas con parches rojizos cementadas por sílice. Estas areniscas son similares a las areniscas utilizadas en la construcción del Puente Romano y, en concreto, a las muestras recogidas en el enlosado durante la restauración realizada en 1999 por el ayuntamiento de Salamanca. Los estudios estratigráficos permitieron no sólo establecer la secuencialidad de los acontecimientos geológicos, sino también la posición estratigráfica de depósitos de la Formación Salamanca similares a los utilizados en la construcción de la calzada. Los análisis sedimentológicos y petrológicos permitieron definir los procesos sin- y postsedimentarios que confirieron las características texturales actuales a la unidad litoestratigráfica (Fm Areniscas de Salamanca) que permiten diferenciarla del resto de las unidades litoestratigráficas del área. La uniformidad de los difractogramas de rayos X realizados no permitió determinar especies minerales específicas para áreas, canteras o afloramientos y, en consecuencia, no pudo ser determinada con exactitud la procedencia de los sillares empleados en su construcción, pero sí sus posibles áreas de origen, procedencia. Por otro lado, el enlosado, por sus características morfológicas, datos históricos y contexto arqueológico, pudiera adscribirse a un momento antiguo dentro de la vida de esta obra pública, finales del periodo Flavio, entre el 81 y el 98 d. C. bajo el mandato de Domiciano o Nerva. La colocación de los sillares de la parte superior debe ser adjudicada a las obras posteriores realizadas en el Puente Mayor o Puente Romano sobre el Tormes en la ciudad de Salamanca, en el siglo XVIII.

Palabras clave: Geoarqueología, Calzada y Puente Romano, Salamanca, Fm Areniscas de Salamanca, España.

ABSTRACT: The geoarchaeological study of the building materials used in the pavement and ashlar of the Roman Bridge over the Tormes River in the city of Salamanca allows them to be assigned to the Salamanca Sandstone Fm (Latest Cretaceous-Palaeocene). The identification of this lithostratigraphic unit as the main building material resulted in a further search and identification of possible extraction sites, that is, quarries which could have been the source of both 20th century and older dressed stones. The stratigraphical and sedimentological analyses of the sedimentary deposits carried out in the hills of Peña Celestina, San Vicente, Peñuelas de San Blas, the slopes of Calvarrasa de Arriba, both Arapiles («Chico» and «Grande»), and Aldeatejada, together with many others, revealed the presence of lenticular-tabular shaped outcrops of coarse grained, white coloured with reddish patches sandstones and microconglomerates, cemented with silica. These sandstones are similar to those used in the Roman Bridge, especially the samples taken from the pavement during the 1999 restoration work. Stratigraphic studies did not only make it possible to establish the sequencing of the geological events associated to the Salamanca Sandstone Fm but also the stratigraphic position of deposits similar to those used in the construction of the Roman Road. Sedimentological and petrographic analyses allowed defining the sin and postsedimentary processes that conferred the present textural features of Salamanca Sandstones that differentiated them from other lithostratigraphic units of the study area. On the other hand, an X-ray diffraction study was carried out trying to find specific minerals that might allow us to differentiate between outcrops of the same Fm, which instead resulted in a homogeneous picture on the diffractograms.

As a consequence, even if well-defined areas associated to the ashlar used in the construction of the Roman Bridge could be drawn, so far it has not been possible to pinpoint their exact location within them with greater precision. Concerning the building phases of the Roman Bridge, the morphological characteristics, historic records and the archaeological context of the pavement provide evidence to date it back to the late Flavio period, between 81 and 98 AD under the rule of Domitian or Nerva, whereas the ashlar of the upper structure of the bridge can be seen as pertaining to a much later work in the 18th Century.

Key words: Geoarchaeology, Pavement and dressed stones Roman Bridge and Roman Road, Salamanca Sandstone Fm (Latest Cretaceous-Paleocene), Salamanca, Spain.

INTRODUCCIÓN

La estratégica situación del Puente Romano de Salamanca, también conocido como Puente Mayor, está definida por su propia posición en el espacio que ocupa en la ciudad de Salamanca (fig. 1), al constituir un vado natural del río Tormes en este punto de su recorrido y por ser el nexo de unión entre las dos márgenes del río en la ciudad prerromana y posteriormente como romana. Asimismo, su ubicación sirve de enlace entre las dos grandes comarcas definitorias de la provincia de Salamanca: La Armuña, al norte, comarca de cereales y legumbres, y, al sur, el Campo de Salamanca, paisaje abierto, caracterizado por la encina como árbol más representativo y sus pastizales. Por ello, la misma posición y dirección del Puente Romano indican, aparentemente, la mínima distancia entre los escarpes de ambas márgenes salvando el cauce actual y parte de la llanura de inundación cuaternaria del río (figs. 1 y 2).

En la margen derecha del río el estribo del pie del puente se asienta sobre la base del escarpe de la Peña Celestina (figs. 1 y 2), exponente representativo de la Fm Areniscas de Salamanca (ALONSO GAVILÁN, 1981) en la urbe salmantina. Este escarpe forma parte de un conjunto de bloques basculados hacia el noreste, hundiéndose bajo la ciudad y recubiertos por sedimentos cenozoicos paleógenos (Formación Areniscas de Cabreros de ALONSO GAVILÁN, 1981) o miocenos (Unidad Roja Miocena de SUÁREZ & ALONSO GAVILÁN, 2001), fangos rojos en el parque de Wüzburg ubicado al norte de la ciudad. Este conjunto de bloques, con clara inclinación tectónica, muestran el lado sur levantado, paralelo al fluir del río y se hallan definidos por un conjunto de fracturas diseñadas y remarcadas por la trayectoria de los arroyos de La Palma y Dominicos y las que, posiblemente, discurren bajo los viales de circunvalación de la ciudad (Hospital Clínico y calle Canalejas) siguiendo las ideas de JIMÉNEZ FUENTES (1975 y 1976). El trazado de estas fracturas debe ser tenido en cuenta con cierto reparo ya que su trayectoria y posición se halla en vías de estudio.

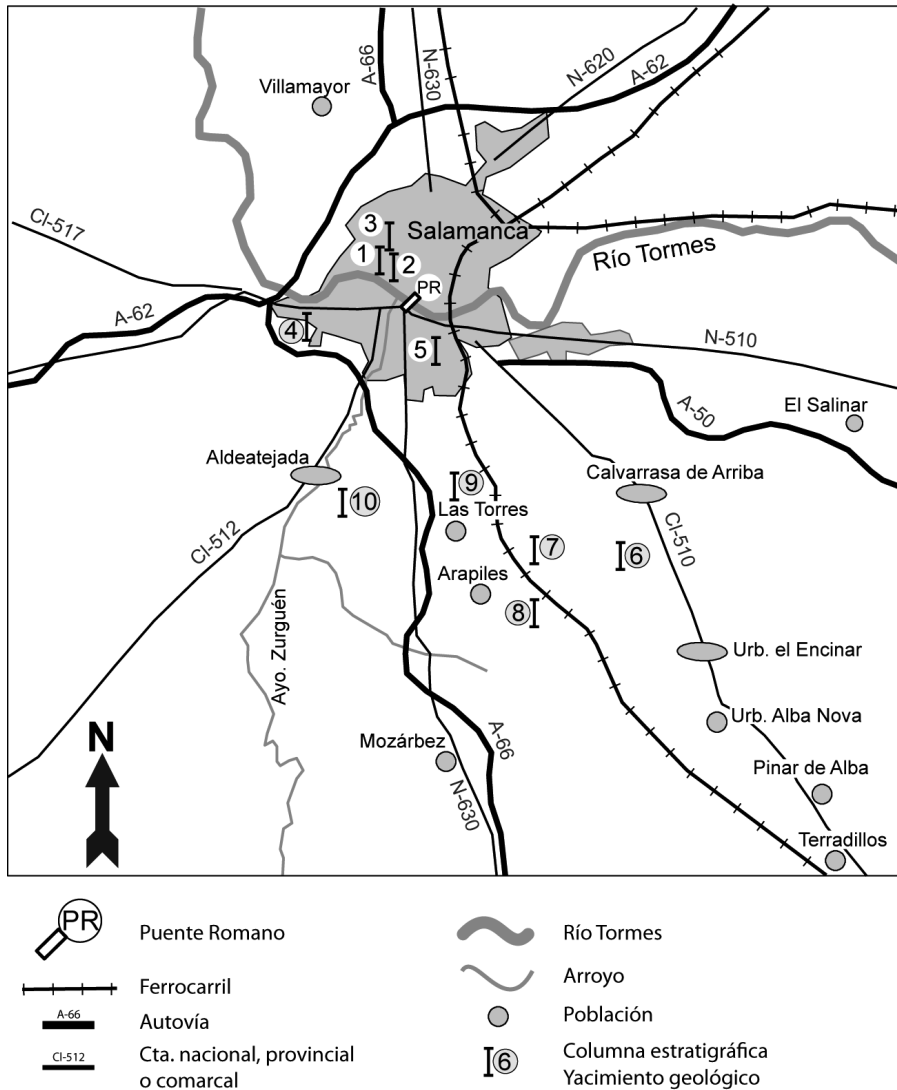


Figura 1. Situación geográfica del Puente Romano de la ciudad de Salamanca, situación de las columnas estratigráficas realizadas y afloramientos o canteras actuales y ocultas hoy día dada la presión urbanística existente. 1: Peña San Vicente. 2: Peña San Vicente. 3: Peñuelas de San Blas. 4: Barrios de Chamberí y Las Alambres. 5: Barrio de San José (Campo de Tiro). 6: Calvarrasa de Arriba. 7: Arapil Chico. 8: Arapil Grande. 9: Las Torres. 10: Aldeatejada. PR: Puente Romano.

Utilización de los depósitos de la Fm areniscas de Salamanca (Cretácico Terminal-Paleoceno)
en la calzada y sillares del Puente Romano de Salamanca: análisis geoarqueológico

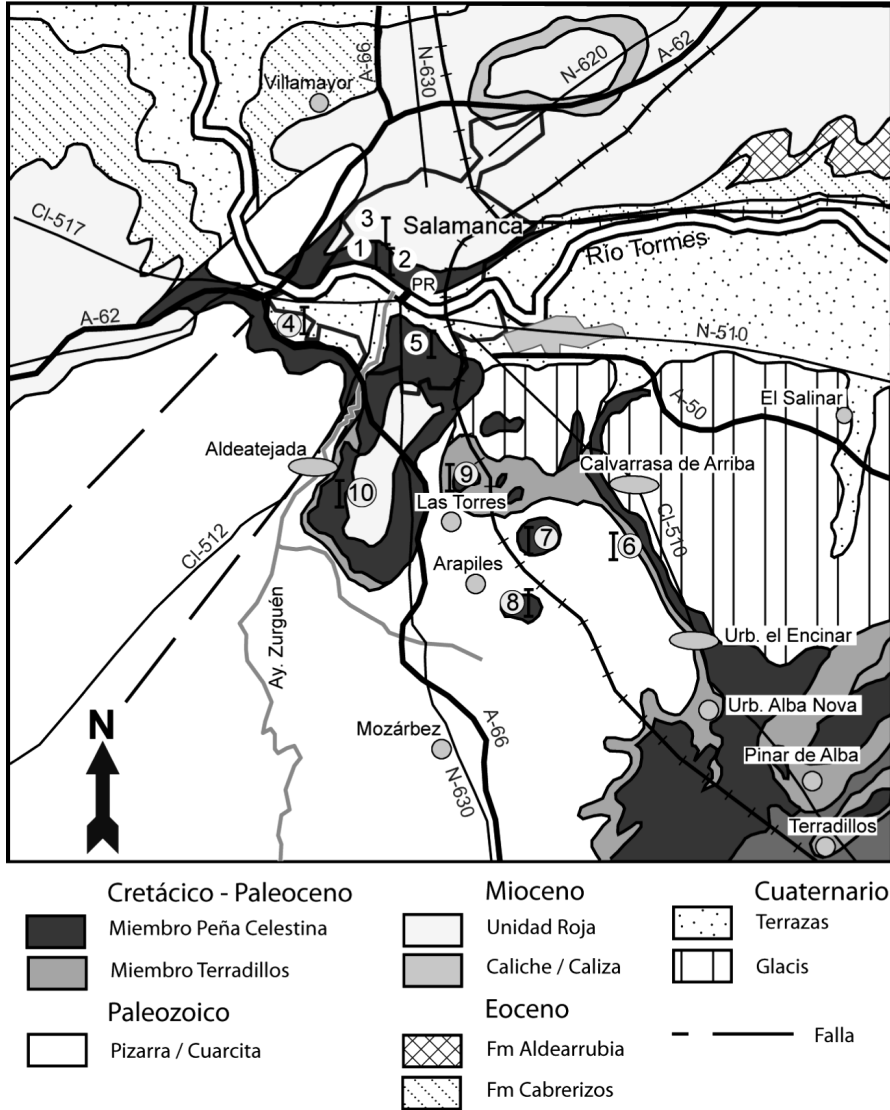
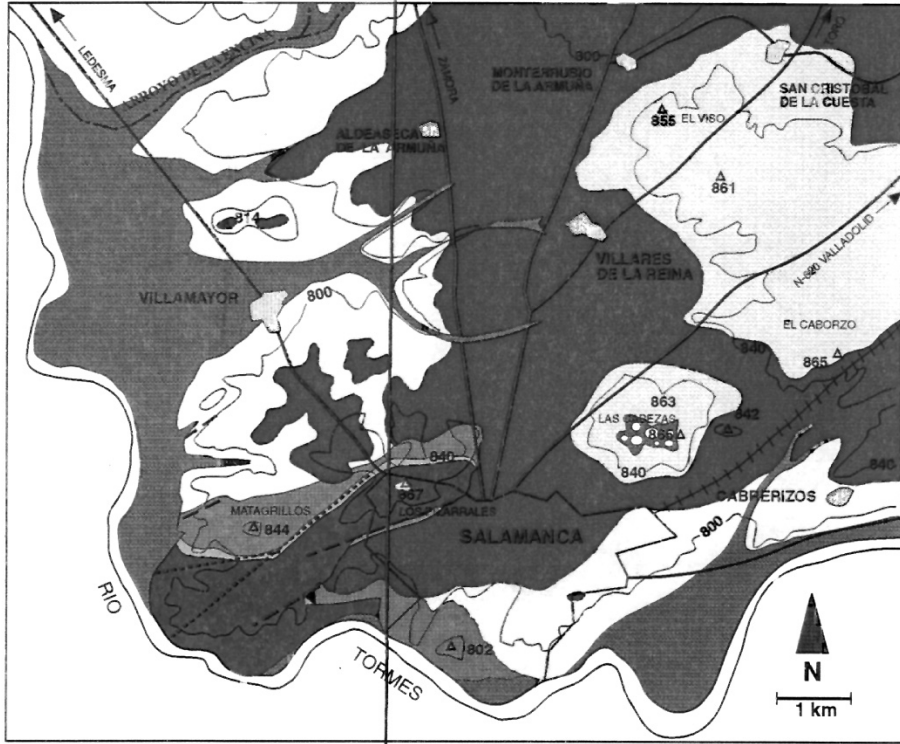


Figura 2. A: Mapa geológico de los alrededores de Salamanca en el que se enmarca el Puente Romano de Salamanca, las columnas estratigráficas más representativas y los afloramientos actuales y antiguos (posibles canteras de explotación). (Basado en la cartografía geológica de ALONSO GAVILÁN, 1980).



LEYENDA

CUATERNARIO

- CUATERNARIO INDIFERENCIADO
- TERRAZA

CENOZOICO

- ARCOSAS SUPERIORES
- UNIDAD ROJA
- Fm ARENISCAS DE CABREORIZOS

MESOZOICO

- Fm ARENISCAS DE SALAMANCA
- CAPA DE CONGLOMERADOS DE LA PEÑA DEL HIERRO

PALEOZOICO

- PIZARRAS ORDOVÍCICAS
- PIZARRAS ORDOVÍCICAS ALTERADAS

- FALLA
- FALLA DEDUCIDA
- POBLACIÓN
- FERROCARRIL
- CURVA DE NIVEL
- ARROYO
- RÍO
- VÉRTICE GEODÉSICO
- CARRETERA

Figura 2. B: Cartografía de detalle de la margen derecha del río Tormes
(de SUÁREZ & ALONSO GAVILÁN, 2001).

En la margen izquierda el pie del Puente se asienta sobre depósitos de coluvión del río Tormes (figs. 2 y 3). Sin embargo, es posible que muy cerca de la base del estribo estén los depósitos de la Fm Areniscas de Salamanca, visible hoy día en los escarpes de ambas márgenes del río como Peña Celestina, Peña de San Vicente, Peñuelas de San Blas o en los barrios de Las Alambres y Chamberí. Este hecho quedó ya constatado durante la construcción del puente de Hierro en 1903, al observarse que “el lecho del terreno se componía de capas de arena y grava hasta llegar al terreno firme que resultó estar a 6 metros bajo el estiaje. Este firme se componía de bancos de areniscas continuación de los que se ven al exterior en la margen izquierda, que reunía excelentes condiciones para cimentar la obra” (ÁVILA JALVO, 2002: 52). Actualmente su presencia física ha sido confirmada al realizar el estudio de los ripios obtenidos durante la ejecución de los sondeos para la captación y explotación de los acuíferos que constituyen los antiguos cauces fluviales.

La dinámica fluvial actual muestra un conjunto de canales trenzados entre los que crecen barras de arenas romboidales o en diamante que, en los estadios de aguas altas, se hallan cortadas, en el techo, por pequeños canales o aliviaderos creados durante la caída de flujo y ligeramente oblicuos a la dirección de la corriente principal. Estas barras se hallan invadidas por una vegetación herbácea y arbórea que controla tanto el crecimiento como la estabilidad y la dirección de progradación.

La presencia de barras laterales, también cubiertas por plantas herbáceas, carrizos y árboles, delimita las áreas que llegan a emerger y secarse en verano, confirmando así la dinámica estacional del río Tormes.

En los escasos desbordamientos actuales, desde que se construyó la presa de Santa Teresa aguas arriba de la ciudad de Salamanca, se puede observar un escaso crecimiento vertical de los diques y de la llanura de inundación comparado con los pertenecientes a periodos de tiempo anteriores al observarse tres/cuatro escalones desde el río Tormes hasta la superficie de arrasamiento, pudiendo ser interpretadas como terrazas cuaternarias relacionadas con las etapas de glaciación/deglaciación.

Actualmente, la llanura de inundación del río Tormes está muy constreñida a áreas muy concretas del paisaje debido, por un lado, a la actividad antrópica urbanística que está experimentando la ciudad hacia el sur y, por otro, por la presencia de los escarpes formados por las areniscas silicificadas sobre las que se labra el punto de inflexión, rodilla o *nick*, de los abanicos rojos miocenos (Unidad Roja Miocena de SUÁREZ & ALONSO GAVILÁN, 2001) procedentes del desmantelamiento de los relieves paleozoicos, cuarcitas y pizarras, ubicados al sur de la ciudad de Salamanca y los de la margen derecha como Peña Celestina, Peña San Vicente, Peñuelas de San Blas, etc.

El presente trabajo pretende aportar algo más de luz sobre algunos de los elementos constructivos de uno de los monumentos salmantinos más antiguo y de mayor prestancia, como es el caso del Puente Romano o Puente Mayor de Salamanca. Este monumento, pese a su importancia histórica y simbólica para

la ciudad, así como su relevancia dentro del contexto de este tipo de obras públicas en el Imperio Romano, cuenta con algunos estudios en profundidad. Por ello, en la línea de trabajos anteriores sobre diversos aspectos del puente, con el presente estudio se plantea un nuevo acercamiento mediante el estudio geoarqueológico del enlosado más antiguo detectado sobre su lámina y se plantea la posible procedencia, canteras o yacimientos, de los sillares no granitoides ubicados en la mitad superior del puente al identificar la unidad litoestratigráfica de la cual derivan. Asimismo, puede ser extrapolado a los sillares de la base de muchos edificios y casas de la parte antigua de la urbe salmantina.

MUESTREO Y TÉCNICAS EMPLEADAS

Las muestras del enlosado estudiado en este trabajo fueron recogidas durante la campaña de intervención arqueológica realizada en el año 1999 en relación con los trabajos de restauración del Puente Romano realizados por el ayuntamiento de Salamanca (MENÉNDEZ BUEYES & JIMÉNEZ GONZÁLEZ, 1999). El muestreo geoarqueológico en rocas históricas (fig. 3) se realizó en fragmentos y en la base de una losa, ya rota, levantada para observar la estructura interna del puente en el marco de la actuación restauradora (fig. 4). El resto de las muestras estudiadas, hasta un total de 53, fueron recogidas en las canteras y afloramientos de la Peña Celestina, Peña San Vicente, Calvarrasa de Arriba, Aldeatejada, Arapil Chico y Arapil Grande (figs. 1 y 5), entre otros.

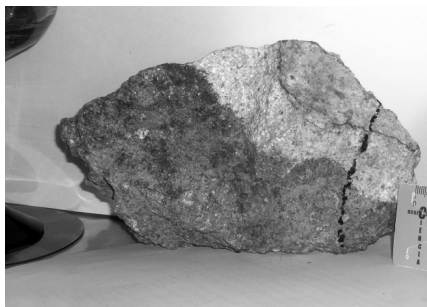


Figura 3. Muestra recogida: fragmento del enlosado de la calzada romana ubicada en el Puente Romano.



Figura 4. Estructura interna del Puente Romano observada durante la reparación realizada en 1999 gestionada por el ayuntamiento de Salamanca.

En todas las muestras recogidas se hicieron láminas delgadas para su estudio al microscopio petrográfico y se seleccionaron 15, como las más representativas, para los análisis de difracción de rayos X. Para su elección se hizo hincapié tanto en sus características texturales (tamaño de grano, color, etc.) y estructuras sedimentarias (laminaciones y estratificaciones cruzadas) como en

Utilización de los depósitos de la Fm areniscas de Salamanca (Cretácico Terminal-Paleoceno)
en la calzada y sillares del Puente Romano de Salamanca: análisis geoarqueológico

las estructuras diagenéticas (colores, movilizaciones internas de materia, tipo de cemento, etc.). En todos los casos se controló que las similitudes entre la composición cualitativa de las muestras actuales de yacimientos fuesen lo más similares posibles a las muestras históricas.

El equipo del microscopio petrográfico utilizado es un modelo ZEISS AXIOPHOT con objetivos de x1,25; x2,5; x10; y x20 con dos cuerpos de cámara fotográfica analógica. El difractómetro utilizado fue un SIEMENS D-500 con radiación Ka del Cu con filtro de níquel y monocromador de grafito. Con una velocidad de barrido de 0,5 grados por minuto empleando para su identificación el manual de BAYLISS *et al.* (1986).

Los estudios de rayos X fueron realizados utilizando el difractómetro de RX Philips modelo PW1710 para el estudio de polvo de roca total y el análisis cuantitativo fue realizado por el método de los poderes reflectantes de los diferentes minerales (GARCÍA ROMERO, 1988, entre otros), mientras que para el estudio de RX de la fracción menor de 2 micras se emplearon las técnicas habituales. Sin embargo, en el análisis del ópalo CT fue necesario llevar a cabo una calibración de su poder reflectante a partir de la reflexión a 4,10 Å de mezclas binarias con feldespatos K en proporciones de 100% feldespatos, 75-25, 50-50, 25-75 y 100% ópalo, obteniéndose un valor promedio de su poder reflectante de 0,8.

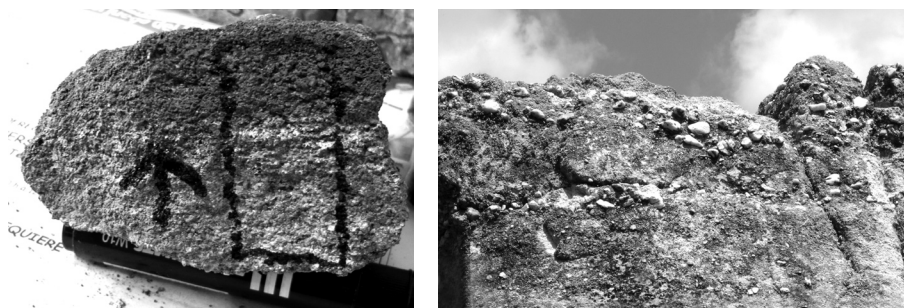


Figura 5. Ejemplos de muestras de campo del Miembro Areniscas y Fangos de la Peña Celestina, recogidas durante la realización del presente estudio. Areniscas de grano grueso con cemento ferruginoso y silíceo (afloramiento de La Peña, Calvarrasa de Arriba).

La cartografía general empleada (fig. 2), a escala 1/50.000, fue la realizada por ALONSO GAVILÁN, en 1981, siguiendo las unidades litoestratigráficas descritas en este trabajo y sus facies correspondientes. Para la cartografía geológica de detalle se siguió la propuesta por SUÁREZ & ALONSO GAVILÁN (2001). Esta cartografía fue utilizada para la situación de las columnas estratigráficas realizadas, la posición espacial de las unidades litoestratigráficas diferenciadas, la ubicación de los afloramientos actuales más importantes y ya ocultos por las obras de urbanización. Estas últimas ya existentes, posiblemente, en el momento de la ejecución de la obra arquitectónica.

EL PUENTE ROMANO DE SALAMANCA

INTRODUCCIÓN

Pese a la tradición historiográfica, es muy posible que el Puente Romano de Salamanca fuera construido en un momento impreciso de finales del periodo Flavio, entre el 81 y el 98 d. C., bajo los mandatos de Domiciano o Nerva (MENÉNDEZ BUEYES, 2000-2001), cuando la elevación a estatuto privilegiado de la ciudad, que se encontraba en medio de un nudo de comunicaciones de suma importancia y, por lo tanto, gozando de una cierta prosperidad, permitió la existencia de unas elites municipales que decidieron acometer la construcción de una obra de gran valor geoeconómico para la ciudad, pero que, al mismo tiempo, la dotara de un cierto prestigio tanto por sus planteamientos técnicos como estéticos.

En su construcción es muy probable que se acudiera a los servicios técnicos del ejército ya que éste mantenía su presencia constante en la zona como parte insustituible en el mantenimiento de las infraestructuras imprescindibles para la extracción, tratamiento, salida y movimiento de los productos mineros, preferentemente auríferos. Seguramente entre esas infraestructuras relevantes e importantes, el Puente Romano de Salamanca tuvo que ser uno de sus más acabados productos¹.

Desde el punto de vista tipológico, GALLIAZZO (1995, I: 564) lo incluye en su *Tipo 28*, al que denomina “de múltiples arcadas de luces análogas simétricamente repetidas”; mientras que BLANCO FREJJEIRO (1981: 79) lo incluye entre los de “riberas de poca altura”, que se caracterizan por tener pilas chatas y robustas, con vanos muy numerosos y con los arranques de los arcos muy próximos al nivel de aguas medias como el de Mérida (Badajoz) sobre el arroyo Albarregas o el de Alconétar de Garrovillas (Cáceres) sobre el Tajo.

ANATOMÍA DEL PUENTE ROMANO

Su estructura actual es de veintiséis arcos, de los que únicamente son de fábrica romana los quince primeros (fig. 6), contando desde la salida de la ciudad, margen derecha, hasta el castillete central, siendo el resto producto de la reconstrucción ordenada tras la ruptura de 1626 (MENÉNDEZ BUEYES, 2003) tras la riada de San Policarpo.

1 Nota de los autores. Durante el periodo de tiempo empleado por los revisores del trabajo apareció el libro del Dr. D. Ángel Vaca Lorenzo titulado *El puente Romano de Salamanca. Desde su construcción hasta la riada de San Policarpo de 1626*, por lo que no pudo ser consultado.

Utilización de los depósitos de la Fm areniscas de Salamanca (Cretácico Terminal-Paleoceno)
en la calzada y sillares del Puente Romano de Salamanca: análisis geoarqueológico



Figura 6. Siete de los quince arcos de fábrica romana del Puente Romano de Salamanca (Fotografía de J. Bécares, 2011).

Respecto a su longitud total existen discrepancias entre los autores modernos que se han ocupado del tema. Así, para FERNÁNDEZ CASADO (1980), sería de 356 m, atribuyendo a la parte antigua 201 m, mientras que DURÁN FUENTES (1996: 173) establece una longitud total de 343 m, correspondiendo al tramo romano 192,50 m. Su anchura máxima sería de 7,30 m, si bien la de tránsito de la calzada es de 6 m (FERNÁNDEZ CASADO, 1980; GALLIAZZO, 1995, II: 337).

Respecto a su fábrica, la mitad inferior (fig. 7 A), de fractura romana, se realizó con grandes sillares a hueso de rocas graníticas (fig. 7 A), mientras que la mitad superior (fig. 7 B), construida posteriormente, está constituida por bloques con diferentes dimensiones de areniscas silíceas, básicamente, pertenecientes a la Fm Areniscas de Salamanca entre los que se intercala alguna pequeña alineación de sillares granitoides (fig. 7). La presencia de mortero entre las juntas es un elemento constante en la fábrica del Puente Romano tanto en la parte moderna como en la romana. Es posible que su desaparición según ÁVILA JALVO (2002: 69 y 72-73) sea la causante de descensos globales de ciertos arcos o del deterioro de algunos sillares.

La procedencia de los elementos constructivos de fractura romana, los sillares granitoides (fig. 7 A), según LÓPEZ PLAZA *et al.* (2009: 25-27) deriva de las canteras de Los Santos, localidad situada a unos 50 km al sur de Salamanca y próxima a la Vía de la Plata. Petrologicamente, siguiendo las ideas propuestas por LÓPEZ PLAZA (*op. cit.*) y LÓPEZ PLAZA *et al.* (2007: 264), domina el granito porfídico biotítico con cordierita como mineral accesorio, con mesostasis de grano grueso, conteniendo enclaves dispersos de tamaño decimétrico y de carácter máfico microgranulado. De manera esporádica se encuentran también bloques de granito equigranular de grano grueso, deformado, con dos micas. Su procedencia no ha podido ser determinada con precisión, si bien, es muy probable que se trate de una de las facies leucograníticas que forman parte de la banda del antiformal de Martinamor que se extiende hacia el norte, hasta Zafrón, tal vez del área de Porqueriza-Sando.

Entre los bloques se observan fragmentos de pizarras silíceas grises muy oscuras y cloritoesquistos (fig. 8), de problemática pertenencia a la fábrica original antigua. Las rocas intersticiales fueron extraídas muy probablemente de lugares próximos como Los Pizarrales y Montalvos (JIMÉNEZ FUENTES & MARTÍN DE JESÚS, 1992: 364).



Figura 7. Primer arco del Puente Romano de Salamanca. (A) Parte inferior granítica con clara fractura romana y (B) la parte superior realizada con sillares de la Arenisca de Salamanca y algunos de granito. (Fotografía de J. Bécares, 2011).



Figura 8. Fragmentos de pizarra gris oscura y cloritoesquistos de problemática pertenencia a fractura romana, entre los sillares de granitoides. (Fotografía de J. Bécares, 2011).

La técnica empleada en la labra de los sillares es el almohadillado, en los que se aprecian las muescas para ser izados con gafas o fórceps (*ferrei forfices*) durante su construcción (fig. 7 C).

La obra, en general, se caracteriza por una gran regularidad, aproximándose a un *opus quadratum* rústico ligeramente *diatónico*, muy evidente en las pilastras de los tímpanos, al presentar una ordenación ligeramente irregular, conservando hiladas de alturas diferentes, en ocasiones con incipiente ordenación de hiladas a soga y alternando con otras a tizón.

MORFOLOGÍA DEL PUENTE ROMANO

En cuanto a su estructura se trata de arcos de medio punto con dovelas igualmente almohadilladas, bóvedas con la directriz semicircular muy perfecta y luces que oscilan la mayoría entre 9,50 y 9,80 m (fig. 7) (DURÁN FUENTES, 1996: 173; ÁVILA JALVO, 2002: 52).

Las pilas tienen una anchura muy uniforme (figs. 6 y 7), alrededor de 2,70 m según DURÁN FUENTES (*op. cit.*), mientras que para FERNÁNDEZ CASADO (1980) serían de 3,30 m; 3,35 x 6,50 m en la consideración de GALLIAZZO (*op. cit.*), excepto dos, la séptima y la octava, que según este autor tienen 3,60 m y para DURÁN FUENTES (*op. cit.*) serían de entre 3,30-3,40 m. Tienen planta en rectángulo con un tajamar triangular aguas arriba rematado con una cornisa de talón, similar a la del puente de Vila Formosa (*Alter do Chao*, Portugal) (DURÁN FUENTES, 1996: 171-172), que abraza perimetralmente toda la pila. Esta moldura forma parte de los sillares de la última hilada avanzando en un vuelo de 35 cm que proporciona a la pila una coronación plana destacada de la fábrica que sobre ella apoya, pues los arranques de las bóvedas se retranquean 10 cm

con respecto a los paramentos de pilas en todo su contorno rectangular. Los tajamares avanzan 1,95 m sobre las bases de las pilas que, a su vez, equidistan 9,10 m. GALLIAZZO (1995, I, 345) los incluye entre las que él denomina: «Fondazioni idrauliche indirette con prosciugamento attuato per mezzo di una tura di desviazione del corso d'acqua».

En alguna ocasión se han considerado como un rasgo propio de este puente los contrafuertes, pues al apoyarse en los tajamares enmarcan los arcos y dan movimiento a los laterales. Así, además de reforzar la estructura, producen un gran efecto plástico en una obra en la que, por sus características, no hace más concesiones a la decoración. En realidad se trata de pilastras adosadas, no de auténticos contrafuertes, pues éstos trabajan a compresión, debiéndose situarse aguas abajo, requiriendo además el estar unidos a la fábrica, pues su función precisa que no exista deslizamiento entre ambos. Ninguna de estas condiciones se da en este caso, pues en la parte baja las dovelas de los arcos impiden la entrada de los sillares del *contrafuerte* en la pila y en la alta no hay coordinación entre las hiladas de ambos (ÁVILA JALVO, 2002: 55).

Las boquillas de bóvedas y los tímpanos que las acompañan se paramentan en planos verticales comunes, no interrumpidos hasta la cornisa de aguas abajo. Sin embargo, en los tímpanos del lado de aguas arriba hay adosada una pilastra saliente, centrada con respecto a las pilas, de 1,20 x 0,70 m de sección (1,20 x 0,90 m para DURÁN FUENTES, *op. cit.*), a manera de estribos que refuerzan la estructura. Las relaciones entre el ancho de las pilas y las luces de las bóvedas oscilan entre 0,34 y 0,27 m. El espesor de la bóveda en las boquillas es de 1,00 m, lo que da un valor medio a la relación de esta dimensión con la luz de los arcos de 10 cm (DURÁN FUENTES, 1996: 173).

Las bóvedas de medio punto acentúan sus boquillas con 33 dovelas perfectamente trapezoidales y con dimensiones bastante regularizadas de 0,90 x 0,45 m (fig. 7). Los testigos extraídos indican que las dovelas de la obra romana mantienen el espesor visible en las boquillas a lo largo de toda la bóveda mientras que en los arcos de nueva factura, no romana, sólo la boquilla tiene esa dimensión (ÁVILA JALVO, 2002: 64). La anchura de las bóvedas varía entre 6,50 y 6,70 m. Las dovelas del cuerpo de bóveda aparecen en el intradós bastante ordenadas. Aún se ven las ranuras donde se apoyó la cimbra, dispuestas con regularidad de cinco en cinco a cada lado de las pilas en su penúltima hilada (FERNÁNDEZ CASADO, 1980).

Los tímpanos se limitan por una cornisa moldurada a modo de chaflán descrita por FERNÁNDEZ CASADO (1980) «como conseguida mediante saledizo trapezial en una hilada completa de 60 cm. Por encima de esta cornisa, el pretil no tiene apariencia romana». Del dibujo que aporta este autor se deduce que lo que denomina cornisa en realidad debe subdividirse, en una cornisa moldurada y en una hilada que se apoya sobre ella y que al interior se manifiesta claramente como un *rodapié* asociado al posible enlosado original del puente (MENÉNDEZ BUEYES & JIMÉNEZ GONZÁLEZ, 2007: 195-201; 2008: 24-27), del que se ocupa el análisis del que es el objetivo prioritario del presente trabajo. A su

vez, FERNÁNDEZ CASADO (1980) da valores de 0,53 m a la cornisa y de 0,47 m al rodapié.

Con respecto a la estructura interna del puente, se ha podido comprobar –pese a lo limitado del sondeo– que se trata de un relleno de bloques de tamaño medio de arenisca (MENÉNDEZ BUEYES & JIMÉNEZ GONZÁLEZ, 2007) (figs. 4 y 9). En la parte romana este relleno se encuentra conformado a base de bloques de arenisca de tamaño medio (al menos los que pudieron ser puestos al descubierto) trabados con mortero de cal de no demasiada consistencia, desde la calzada hasta el extradós de los arcos (ÁVILA JALVO, 2002: 72).

Este hecho crea un nuevo interrogante desde el punto de vista cronológico. Si bien es cierto que los morteros medievales se caracterizan, en líneas generales, por su mediocre calidad, fragilidad y escasa homogeneidad y por su aplicación sin la compactación característica de las construcciones romanas (ALEJANDRE SÁNCHEZ, 2000: 235; ADAM, 1996: 69-85). Tampoco se debe olvidar que el empleo de cal en la estabilización de materiales sueltos es frecuente durante la época romana, e incluso hoy día (MORENO, 2001) ante la imposibilidad de dotar al material de la densidad adecuada con aporte exterior de energía de compactación en suelos, terraplenes y capas de firme.

Sin embargo, en otros puentes romanos la estructura interna es diferente. Así, en el puente de Alconétar de Garrovillas (Cáceres), el interior de la fábrica es de hormigón, compuesto de mortero de cal y árido silíceo y está distribuido en planta en el interior de las pilas en cuatro cavidades, delimitadas por los paramentos exteriores y otros dos tabiques interiores en forma de cruz (MORALES HORTELANO & GONZÁLEZ LIMÓN, 2008: 16).

Para finalizar con la descripción de la parte antigua, decir que su rasante actual, después de numerosas obras de restauración o adaptación, no es exactamente horizontal, aunque sí debió de ser la del puente original romano (GALLIAZZO, 1995, I: 301; DURÁN FUENTES, 1996: 173).

Por otro lado, como señala ÁVILA JALVO (2002: 58), la resistencia de la parte romana conservada a las riadas ha resultado ser eficaz y suficiente gracias no tanto al diseño general desde el punto de vista termodinámico, sino al hecho de que el material granítico es de muy buena calidad, a la esbeltez que es muy segura, a que el tamaño de las dovelas es grande –y por lo tanto estables– y a que las juntas son finas y bien labradas. Lo mismo ocurre en el puente cacereño de Alconétar de Garrovillas, que utilizó granito pegmatítico, con cristales de cuarzo y feldespato potásico de tamaño centimétrico, plagioclasas en cristales de 5 mm y micas (MORALES HORTELANO & GONZÁLEZ LIMÓN, 2008: 16).

EL PAVIMENTO CON LOSAS DE ARENISCA CON CEMENTO SILÍCEO/FERRUGINOSO

Durante la limpieza realizada en la campaña de restauración en el año 1999, se observó, debajo del pretil, el arranque de un zócalo o rodapié de

granito, en su mayor parte de fábrica antigua (figs. 4, 9 y 10). Adosado a él se hallaba un pavimento de losas de areniscas con cemento silíceo/ferruginoso (fig. 3) que en algunas zonas estaba perfectamente colocado y conservado, excepción hecha del tramo que discurre longitudinalmente junto al pretil, donde la zanja para la colocación, en fecha indeterminada del siglo XX, de una tubería de hierro fundido cortó el enlosado (MENÉNDEZ BUEYES & JIMÉNEZ GONZÁLEZ, 2007: 195-201) (figs. 4 y 9).

a) *Zócalo o rodapié*. Funcionalmente, se puede identificar como acera (fig. 9). Está fabricado a base de grandes bloques graníticos escuadrados de sección ligeramente rectangular, apoyados sobre la cornisa estructural del puente y que, también, está moldurada al exterior. Los bloques, tallados en una sola pieza, están soportando toda la anchura del arranque del pretil y sobresaliendo unos 40-45 cm hacia el interior. Es en esta superficie funcional donde algunos de estos sillares muestran una marcada concavidad, que se interpreta como huellas del profundo desgaste sufrido por su uso a lo largo del tiempo. Sin embargo, algunos de ellos, en los que la concavidad se presenta muy marcada, pueden hacer pensar que se trata de un elemento reutilizado. En cualquier caso, las trazas de desgaste existentes en este zócalo son más que evidentes, haya o no algún elemento reutilizado.

Observados estos sillares en el paramento externo del puente, no presentan trazas de almohadillado, pese a lo cual posiblemente se trata de la fábrica antigua del puente, si bien, tal vez, puedan corresponderse con una remodelación realizada en momentos todavía antiguos. Quizá sobre la cornisa ya no se construye con sillería almohadillada, reservándola para lo que es estrictamente la estructura o, tal vez, más posiblemente, al tratarse de un arreglo tardío dentro de los tiempos romanos los métodos constructivos han cambiado, lo que además encajaría bien con la constatación de reparaciones parciales en este zócalo en un momento indeterminado (MENÉNDEZ BUEYES & JIMÉNEZ GONZÁLEZ, 2007:



Figura 9. Enlosado de areniscas de cemento silíceo y clastos de cuarcita dispersos perfectamente colocado y conservado. Las losas prismáticas son de gran tamaño y de forma rectangular. Asimismo se observa la detallada estratigrafía de las diferentes capas de gravas superpuestas y añadidas a lo largo del tiempo sobre el enlosado.



Figura 10. Pavimento de losas de la Formación Areniscas de Salamanca.

200-201). Lo mismo se aprecia hacia el interior. La mayor parte del trazado de este zócalo es de granito, excepto en el extremo sur donde se adosa a la fábrica original un mampuesto de granito y arenisca muy pobre, en relación con el desgüe n.º 79, de factura claramente contemporánea.

b) *Enlosado*. Se trata del pavimento más antiguo conservado en el tramo romano y únicamente presente en éste (MENÉNDEZ BUEYES & JIMÉNEZ GONZÁLEZ, 2008). Está construido a base de grandes losas de arenisca de extraordinaria dureza, granulosa, de tonos rojizos –predominantemente– y blanquecinos (figs. 9 y 10). Como consecuencia de un uso tan dilatado en el tiempo la cara superior se halla muy desgastada y pulida por el rozamiento y deslizamiento continuo, lo que ha creado una superficie mate, con los clastos de cuarcita y cuarzo desgastados y una matriz arenosa muy pulida. Por otro lado, un detallado estudio de esta superficie reveló que originalmente solo se talló burdamente la cara funcional del bloque prismático, cuadrangular o rectangular, de aristas romas y subangulosas cuando se extrajo de la cantera. El tamaño de los bloques es muy variado, media 0,40 x 0,70 x 0,40 m (ancho, largo y alto) (figs. 9 y 10). Así mismo, se constató que –dentro del poco espacio investigado– las losas se colocaron transversalmente al eje del puente (figs. 9 y 10).

Se encuentran sólidamente trabadas entre sí por un mortero de tono grisáceo de gran dureza, en el que se constatan briznas de carbón y tégula molida, aunque ocasionalmente han aparecido pequeños fragmentos pequeños. Durante la excavación de este espacio y al proceder a levantar una de las losas, se pudo documentar en una de las juntas, inserto en el mortero, un fragmento mediano de tégula, pestaña incluida. Estas características no desentonan con una posible antigüedad, pues, durante la época romana, en las calles y calzadas donde el acarreo podía desfondar el suelo, la cubierta se hacía mediante losas de piedra dura extremadamente gruesas (de 30 a 50 cm) y sólidamente hundidas en un subsuelo de una o dos capas de cascajo, gravilla y arena (ADAM, 1996: 251). Las juntas superficialmente están rellenas con grava suelta.

c) *Mortero*. La estructura tan elaborada descrita en el apartado anterior se asienta sobre una capa de mortero del mismo tipo que el detectado en las juntas de las losas, de grosor variable –dependiendo del espesor de las propias losas–, con pequeñas pizarras horizontales calzándolas, a modo de perfecta capa de nivelación y de drenaje (fig. 9). Ésta cubre, a su vez, a una primera capa de preparación, de potencia media de 15 cm, compuesta por cantos rodados de cuarzo y cuarcita de bimodal 8 cm y 6 cm, dispersos en una matriz de grano grueso que, seguramente, cumpliría funciones de nivelado y estabilización de la estructura del pavimento. Destaca a primera vista el aspecto de solidez del que se quiere dotar a esta fábrica. Así mismo, es de hacer notar la compleja y cuidada elaboración de este pavimento al observar las sucesivas capas empleadas en su ejecución.

d) *Cronología*. En cuanto a la adscripción cronológica del enlosado, pudiera tratarse de un pavimento de época romana, si bien tal vez no fuera el original, que pudiera haber sido un manteado de tierra, del tipo hallado en

la cercana Vía de la Plata a su paso por el arroyo Zurguén (Salamanca) o en el puente burgalés de Tordómar. En este sentido, pese a la escasez de datos al respecto, DURÁN FUENTES (2004a: 19) opina que en Hispania, aunque los puentes pudieron montar calzadas enlosadas, lo más probable es que contasen con pavimentos de arena y guijo con bombeo hacia los lados, una solución cómoda y habitual en este tipo de vías.

De forma general y resumida el Puente Romano de Salamanca es el fruto de diversas reconstrucciones como consecuencia de las numerosas avenidas del Tormes que fracturaron la fábrica romana ya en un momento antiguo, si bien indeterminado, entre la Antigüedad Tardía y la plena Edad Media. A ello se suman las numerosas y constantes reparaciones de mantenimiento de una obra en constante uso durante dos milenios, especialmente complejas en cuanto a las calzadas de tránsito (MENÉNDEZ BUEYES, 2003; VACA LORENZO, 2002 y 2007; MENÉNDEZ BUEYES & JIMÉNEZ GONZÁLEZ, 2008).

Por otro lado, los diversos estudios que se han realizado sobre el Puente Romano vienen a mostrar que, durante el periodo romano, en lo relacionado con su fábrica, se prefirió el material granítico procedente de Los Santos (LÓPEZ PLAZA *et al.*, 2007) y que en arreglos los que se efectuaron en tiempos posteriores a la época romana, tanto en fábrica como en calzadas, se usó nuevamente el granito y, en ocasiones, el de Martinamor (LÓPEZ PLAZA, *op. cit.*). Según estos autores, esta preferencia romana por el uso del granito de Los Santos se puede constatar también en algunas hiladas de base de la muralla de Salamanca (LÓPEZ PLAZA *et al.*, 2009: 25). No obstante, el uso de otros materiales, al menos en la parte moderna del puente, está plenamente constatado en la fábrica del mismo.

ESTRATIGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

Mientras que la composición litológica y la procedencia de los sillares graníticos del Puente Romano de Salamanca han sido estudiadas con detalle (ver apartados anteriores), no ocurre lo mismo con los sillares cuya composición litológica está constituida por areniscas y fangos con cemento silíceo, procedentes de la Formación Areniscas de Salamanca. Este hecho puede obedecer a varias razones por:

- a) no constituir el armazón del puente,
- b) su bajo gradiente de durabilidad dada su composición, porosidad y grado de alteración,
- c) su posición espacial en el puente,
- d) su escasa posibilidad de ser decorados dada su textura, cohesión, tamaño y entramado de los clastos, etc.,
- e) su pequeña continuidad tanto vertical como horizontal de los bancos explotables de areniscas presentes en los afloramientos actuales. Por ello,

el objetivo fundamental planteado en el presente trabajo fue la identificación, análisis y procedencia de estos sillares, a partir de la correlación biunívoca de los registros geológicos observados en las muestras históricas y las recogidas en los afloramientos y canteras actuales.

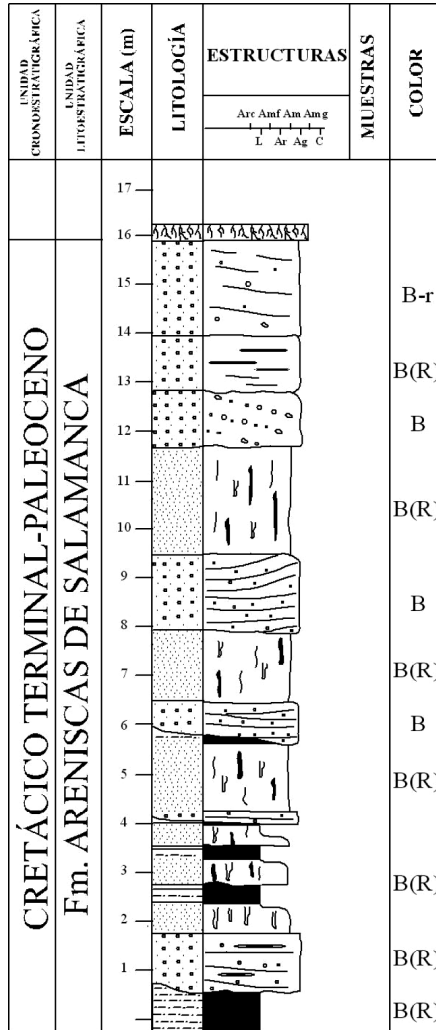
Las rocas fueron identificadas *de visu* como areniscas y fangos silicificados de la Formación Areniscas de Salamanca. Esta unidad litoestratigráfica, como ya se indicó anteriormente, de Edad Cretácico Terminal-Cenozoico Inferior, se halla discordante sobre el zócalo metasedimentario paleozoico (pizarras, cuarcitas y grauvacas) o sobre el perfil de alteración formado a partir de éste (figs. 2, 10, 11 y 12). Esta Formación aparece en los bordes SW y W de la cuenca cenozoica del Duero, en afloramientos de escasa potencia, desconectados entre sí e intensamente fracturados mostrando una estructura de bloques escalonados hundidos hacia el NE (ALONSO GAVILÁN, 1981). Este modelo es el resultado actual de la actuación de diferentes fases tectónicas alpinas a lo largo del Cenozoico (TEMPLADO Y PASTORA, 1946; SMICHDT-THOMÉ, 1950; JIMÉNEZ FUENTES, 1973 y 1975; ALONSO GAVILÁN, 1981, entre otros muchos).

La posición concreta de esta Formación en la columna estratigráfica del Cenozoico, su definición como unidad litoestratigráfica independiente y rango de Formación fue realizada por ALONSO GAVILÁN (1981) teniendo en cuenta los estudios estratigráficos y sedimentológicos realizados y recogiendo las ideas propuestas por ROMÁN & ROYO GÓMEZ (1922) y JIMÉNEZ (1922). Posteriormente se han registrado nuevas tentativas de clasificaciones empleando criterios de discontinuidades, color, grado de alteración, características geotectónicas (NESPÉREIRA, 2007), tipo de cementación, etc. Ello ha creado en la actualidad un complejo entramado de nombres para denominar siempre a la misma unidad litoestratigráfica con una nueva característica y que, en la mayoría de los casos, no siguen las normas propuestas en la Guía Estratigráfica Internacional (GEI, 1990).

En general, es una unidad exclusivamente siliciclástica formada por gravas, areniscas conglomeráticas, areniscas de grano grueso, medio y fino y fangos, organizados en secuencias grandecrecientes completas, incompletas o truncadas (figs. 1, 10, 11 y 12). Se halla cementada por sílice (que da el color gris ceniza, blanco) y por óxidos de hierro (colores rojizos, vinosos, beige, limoníticos, etc.). La cementación silíceo y ferruginosa da a la unidad una gran dureza, pero su distribución, porcentaje y tipo permite una erosión diferencial tanto eólica como fluvial característica, cerros, oteros, alveolar, etc. Este tipo de erosión confiere a la Formación una configuración geomorfológica de cerros testigos (Arapiles, Amatos, etc.), replanos (superficies de arrasamiento observadas en El Recodo, Almenara de Tormes, etc.) o como escarpes (Calvarrasa de Arriba, Peña Celestina, etc.).

Desde los primeros estudios esta unidad litoestratigráfica fue considerada como Preluteciense (Eoceno inferior, GSSPs, 2002) y se denominó Areniscas de Amatos y Areniscas del Río Almar (JIMÉNEZ, 1972, 1973 y 1975). Esta cronología se realizó teniendo en cuenta la fauna de quelonios y cocodrilos de edad Luteciense presentes en la Fm Areniscas de Cabrerizas, que está situada, estratigráficamente, encima de las Areniscas de Salamanca.

Utilización de los depósitos de la Fm areniscas de Salamanca (Cretácico Terminal-Paleoceno)
en la calzada y sillares del Puente Romano de Salamanca: análisis geoarqueológico



LEYENDA DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS













Litología		Estructuras	
	Arcilla		Laminación horizontal
	Limo		Estratificación cruzada planar
	Arena		Estratificación cruzada en srucio
	Arena gruesa		Laminación cruzada
			Estructura columnar
			Bioturbación
			Hidromorfismo
			Nódulos

Figura 11. Columna estratigráfica de la Peña Celestina (modificada de ALONSO GAVILÁN, 1981).

El término de Formación Areniscas de Salamanca se acuñó con el fin de unificar las diferentes terminologías existentes en las provincias de Zamora, Salamanca y Ávila (JIMÉNEZ *et al.*, 1983; ALONSO GAVILÁN & SÁNCHEZ BENAVIDES, 1992). ALONSO GAVILÁN (1981) le da el rango de Formación siguiendo las normas internacionales propuestas en la Guía Estratigráfica Internacional (GEI, 1980). Este mismo autor, teniendo en cuenta las diferencias tanto litológicas (color, tipo y grado de cementación, composición de los clastos), así como las asociaciones de facies, variaciones en la organización vertical estratigráfica, carácter secuencial, espesor (casi 120 m de espesor obtenidos a partir de sondeos según JIMÉNEZ en 1983), diferencia en ella una capa (Capa Conglomerado de la Peña de Hierro) y tres Miembros denominados, de muro a techo: Areniscas de Terradillos, Areniscas y Fangos de la Peña Celestina y Conglomerados de Los Arapiles, respectivamente.

AFLORAMIENTO DE LA PEÑA CELESTINA

Se ubica en el escarpe natural del río Tormes a su paso por la ciudad de Salamanca (figs. 1 y 2). En el afloramiento sólo está presente el Miembro Areniscas y Fangos de la Peña Celestina (Fm Areniscas de Salamanca) y se observa un ligero buzamiento de 5° hacia el NE.

La columna estratigráfica (fig. 11) presenta un espesor visible de 16 m y está estructurada por un apilamiento vertical de secuencias granodrecientes.

Cada una de ellas se inicia con areniscas conglomeráticas de color gris, blanco, sobre una superficie erosiva con relieve entre 1,5 y 2 m que está labrada sobre limos o fangos silíceos de color vinoso, abigarrados. La fracción grava puede estar presente como hiladas que remarcan las estructuras tractivas mayores o bien como clastos dispersos entre las arenas. La secuencia litológica termina con limos ocres, grises con tonalidades violáceas, masivos o con bioturbación penetrativa y defigurativa e hidromorfía (paleosuelos silicimorfos). El cemento silíceo se halla siempre presente y, ocasionalmente, aparecen concentraciones de sílice, ópalo, en láminas denominadas porcelanitas. El cemento ferruginoso es omnipresente apreciándose una disminución de su porcentaje hacia el techo de la sucesión estratigráfica a la vez que se da un aumento del cemento silíceo.

En el escarpe, los estratos de la Formación Salamanca muestran geometrías cóncavas y están rellenas con areniscas de grano grueso con clastos de cuarzo organizados en niveles o dispersos. Todo el conjunto se halla cementado por sílice. Los cuerpos de areniscas presentan gran extensión lateral dando un aspecto tabular al estrato. Estos cuerpos convexos de areniscas alternan con bancos de fangos siliciclásticos silicificados, con diferente grado de edafización, se adaptan a la morfología creada por los cuerpos de arenisca, uniformizando el relieve y dando al conjunto un carácter tabular. Verticalmente el conjunto de Areniscas de Salamanca, en este afloramiento, muestra un carácter grano y estratocreciente. Estas dos últimas características confieren a los bancos de areniscas unas propiedades para localizar los estratos que pueden ser explotados con más facilidad.

Utilización de los depósitos de la Fm areniscas de Salamanca (Cretácico Terminal-Paleoceno)
en la calzada y sillares del Puente Romano de Salamanca: análisis geoarqueológico

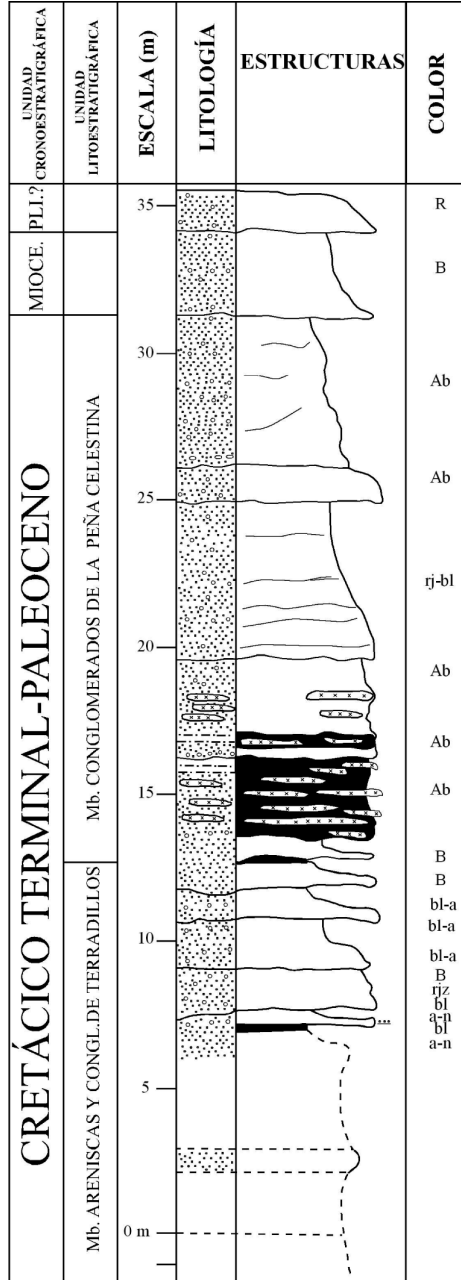


Figura 12. Columna estratigráfica de Calvarrasa de Arriba
(modificada de ALONSO GAVILÁN, 1981).

El Miembro Areniscas y Fangos de la Peña Celestina, con un espesor visible de 15 m, hacia el oeste en el escarpe de la Peña de Hierro no existe (allí aflora la Capa de la Peña de Hierro) mientras que debajo del Hospital Clínico sí. Este hecho pone de relieve la presencia o bien de la falla del Hospital Clínico ya puesta de manifiesto por JIMÉNEZ (1976) o bien de la existencia de una fuerte superficie erosiva que remarca un paleorrelieve labrado sobre el perfil de alteración desarrollado sobre las pizarras paleozoicas (ALONSO GAVILÁN, 1981).

AFLORAMIENTO DE CALVARRASA DE ARRIBA

Se ubica en el cerro denominado La Peña a unos 400 m al sur de la población (figs. 1, 2 y 12). Muestra una potencia de 35 m y una clara inclinación, no superior a los 10°, hacia el NE.

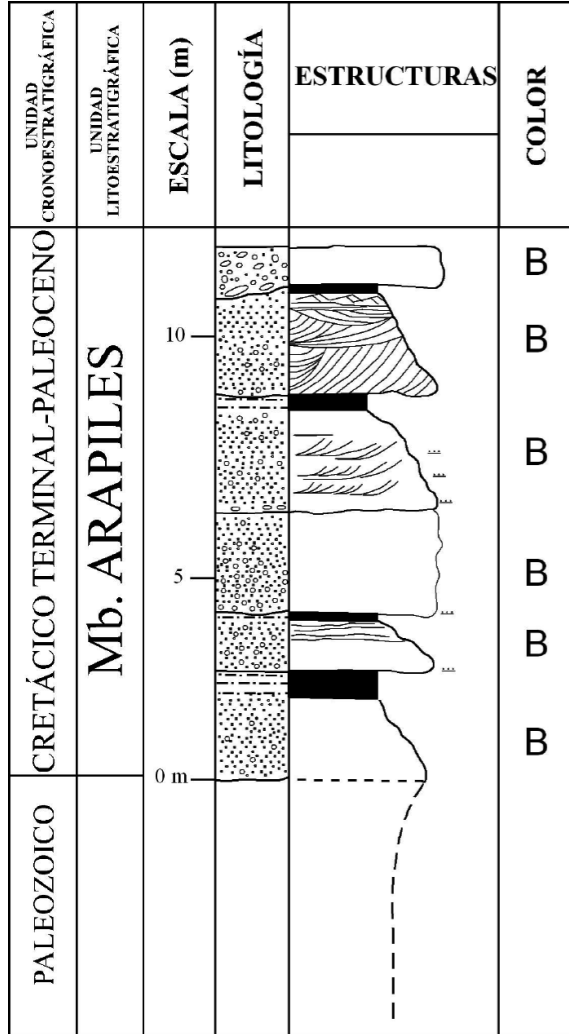
La base del escarpe está constituida por las pizarras muy alteradas del complejo esquisto grauváquico (Paleozoico), no visible actualmente por degradación de suelos, cultivos, etc. Sobre ellas se apoya discordante el Mb Areniscas de Terradillos constituido por areniscas y microconglomerados de color anaranjado, ocre claro limonítico, sueltas y con escasa matriz arcillosa. Los feldespatos son visibles y muestran diferente grado de alteración. Todo ello indica que en ocasiones podría ser considerado como una subgrauvaca y que forma parte de la composición del sedimento como mineral principal.

Sobre el Miembro Terradillos se dispone el Miembro Areniscas y Fangos de la Peña Celestina. Este último está organizado por cuerpos con geometría cóncava rellenos de areniscas microconglomeráticas e intercalados entre fangos de color blanco rojizo y aspecto brechoideo. Ambas litologías se ordenan en secuencias granodecrecientes. Se hallan muy bioturbados y el sedimento está muy distorsionado por la bioturbación.

El Miembro de Terradillos se define por una ausencia de geometrías lenticulares, por el tipo de secuencias de estructuras, por la ausencia de fracciones limo y arcilla, por una ausencia del cemento silíceo y ferruginoso como elementos estructurales y texturales más representativos, etc. Estas características indican que la sedimentación se realizó dentro de amplios canales, planos y con formación de barras dentro de ellos. Sin embargo, el Miembro Peña Celestina presenta geometrías de canales entre limos arenosos, un alto grado de bioturbación y un buen desarrollo de los procesos de edafización, lo que implicó que la sedimentación fue llevada a cabo por ríos con un sistema de canalizado bien definido y con periodos de estiaje marcados en los que la colonización orgánica era muy rápida y abundante.

Esta organización vertical de los depósitos es similar a la que presenta esta unidad litoestratigráfica en todos los escarpes de la urbe salmantina. Esta característica puede ser extrapolada a todos los yacimientos donde aparece el Mb Areniscas y Fangos de la Peña Celestina (cerros de Amatos, el Recodo, escarpes del río Almar, cerros de Carpio Bernardo), entre otros muchos que caracterizan el paisaje salmantino entre Salamanca y Alba de Tormes.

Utilización de los depósitos de la Fm areniscas de Salamanca (Cretácico Terminal-Paleoceno) en la calzada y sillares del Puente Romano de Salamanca: análisis geoarqueológico



LEYENDA DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

Litología		Estructuras	
Arcilla	Laminación horizontal	Estructura columnar	
Limo	Estratificación cruzada planar	Bioturbación	
Arena	Estratificación cruzada en srucio	Hidromorfismo	
Arena gruesa	Laminación cruzada	Nódulos	

Figura 13. Columna estratigráfica del Arapil Chico (modificada de ALONSO GAVILAN, 1981).

AFLORAMIENTOS DE LOS ARAPILES (ARAPIL GRANDE Y ARAPIL CHICO)

Los cerros de Los Arapiles se localizan a 1 km del pueblo de Los Arapiles y a 8 km de Salamanca capital (figs. 1, 2 y 13). Se tomó como referencia el Arapil Chico debido a la mejor visibilidad, exposición y continuidad lateral de los depósitos. Los Arapiles, geomorfológicamente, son cerros testigo, con la cima aplanada, vestigio de una antigua superficie de arrasamiento que se encuentra ligeramente basculada hacia el noreste y a una altitud de 900 m. Desde el techo de ambos cerros se divisa una llanura con cota inferior, la llanura actual del río Tormes, cerrada al norte por los escarpes de Cabrerizos, Aldealengua, Aldearrubia, Babilafuente y Villoria (margen derecha del río Tormes), al este por el río Tormes, al sur y oeste por los relieves paleozoicos. El área se halla afectada por fracturas de dirección SO-NE que generan bloques basculados hacia el NE. Este hecho permite que aparezca, localmente, la Capa Conglomerados de la Peña de Hierro a lo largo de la falla que separa al Arapil Grande del Arapil Chico, en dirección SO-NE.

Uno de los rasgos más significativo y representativo de este afloramiento es la presencia visible de tres de los cuatro tramos de alteración que presentan las pizarras del complejo esquisto grauváquico (MOLINA & MARTÍN SERRANO, 1991). La alteración que afecta a las pizarras desde la base del Arapil Chico hasta los depósitos de la Fm Salamanca tiene un espesor visible de casi 30 m. Sólo aparece el Miembro Conglomerados de Los Arapiles apoyado discordantemente sobre el perfil de alteración. Este contacto basal se halla casi siempre oculto por los derrubios.

La unidad litoestratigráfica presenta un espesor no superior a 10 m (fig. 13) y una extensión lateral de 100 m. Está constituida por conglomerados con clastos de cuarzo y cuarcita, tamaño grava, areniscas conglomeráticas con matriz arenosa y fuertemente cementadas, sílice y pequeñas pasadas de limos ocreos también con cemento silíceo. Se organiza en secuencias granodecrecientes, con hiladas de clastos, estratificaciones cruzadas curvas y en surco y laminaciones de *ripples*. Las características estratigráficas y sedimentológicas permiten interpretarlo como un sistema fluvial proximal bien desarrollado con formación de barras dentro de canales activos, con relativa profundidad. Por ellos circulaba una gran masa de sedimentos, movida por flujos con energía cinética lo suficientemente alta para mover los clastos y mantener los finos en suspensión. El sistema de paleodrenaje fluía hacia el E y SE, drenando y desmantelando unas áreas madres ubicadas al sur y suroeste.

Los procesos de alteración que han afectado a esta cobertera sedimentaria, una vez depositada, se caracterizaron por una progresiva silicificación desde techo hacia el muro de la sucesión con importantes cambios de coloraciones rojas, ocreos y blancas.

Las características estratigráficas, sedimentológicas y niveles del perfil de alteración junto a la buena preservación del campo de batalla de Los Arapiles (acaecida el 22 julio de 1812) han motivado proponer este lugar como Punto de Interés Geológico (PIG) e Histórico por ALONSO GAVILÁN *et al.* (2006).

ANÁLISIS MINERALÓGICO Y PETROLÓGICO DE LA Fm SALAMANCA (Mb ARENISCAS Y FANGOS DE LA PEÑA CELESTINA)

El Miembro Areniscas y Fangos de la Peña Celestina se caracteriza por mostrar dos facies muy bien definidas por su litología: areniscas y fangos ordenados secuencialmente. El hecho de observar que las losas son de areniscas obligó a centrar el estudio en esta litología aunque sí se habían observado sillares de fangos silicificados muy deteriorados en la parte superior del Puente Romano.

Las características mesoscópicas de las muestras recogidas tanto de las losas (muestras históricas) como de los yacimientos geológicos permitieron definir las como conglomerados con matriz arenosa y areniscas conglomeráticas, ambas litologías con cemento silíceo y parcialmente ferruginoso están bien litificadas (figs. 3, 4 y 5). El color es blanco cuando el cemento es silíceo y rojizo si domina el cemento ferruginoso. Localmente existe un nítido frente de ferruginización que confiere a la roca una fuerte coloración rojiza o vinosa (figs. 3, 4 y 5). Es característica la presencia de rasgos de bioturbación orgánica (icnofacies) en forma de tubos verticales, oblicuos u horizontales con dominio de los primeros. El tubo con fuerte coloración rojiza muestra una estructura bandeada blanca y rojiza, meniscos y está separado del resto del sedimento por un anillo ocre-blanco. Es la presencia de esta bioturbación defigurativa y deformativa del sedimento la que crea el carácter brechoide de esta facies y la que disminuye su durabilidad para ser utilizada en las construcciones de las obras civiles y militares.

En los estudios micromorfológicos se siguen las ideas de BREVER (1964 y 1976), BULLOCK *et al.* (1985) y NAHON (1991). En general, el microscopio petrográfico revela una textura clástica cementada por ópalo (fig. 14.1) con un esqueleto formado, principalmente, por granos de cuarzo y cuarcita, de redondeados a angulosos, con tendencia a ser subangulosos, con pobre calibre y alta madurez textural (fig. 14.1) y fragmentos de roca. Como minerales esenciales se presentan el cuarzo, a veces y localmente en algunas muestras, feldespatos (con diferente grado de alteración) y fragmentos de roca (fig. 14.2). Como minerales accesorios están presentes: moscovitas (fig. 14.3), más o menos alteradas, desflecadas y con signos de alteración, turmalinas, zircón, y otros minerales opacos (óxidos de hierro).

En detalle, el cuarzo se define como monocristalino y policristalino grueso con escasas inclusiones de micas y los cuarzos metamórficos son escasos. El mineral dominante en la composición total de la roca es el cuarzo, el cual puede ser considerado como esqueleto de la roca al constituir, aproximadamente, el 60% del total. En ocasiones los clastos no están en contacto y se hallan flotando en la masa opalina, cemento. Otras veces muestran lineaciones de clastos, estratificaciones cruzadas y laminaciones, indicando una ordenación espacial del sedimento. La superficie de los clastos presenta golfos de corrosión, a veces, rellenos por óxidos de hierro y se observan varias generaciones de cementación dando origen a una textura esquelética.

Los oxihidróxidos de hierro aparecen mezclados con las fracciones arcillosas en parches o diseminadas por el sedimento. Es la concentración de este mineral la que confiere a la roca los colores rojizos, vinosos o púrpuras. No existe transición de cemento opalino a ferruginoso siendo siempre el contacto neto. Los fragmentos de roca presentes son de rocas ígneas y metamórficas, pero son muy escasos no alcanzando proporciones nunca superiores al 2% del total. En cuanto a los feldespatos, su presencia es anecdótica, pero cuando aparecen están alterados, parcialmente corroídos o constituyen un simple agregado de caolinita (fig. 14.4) con óxidos de hierro.

La matriz puede aparecer fuertemente reorientada tanto alrededor de los clastos como en masas dispersas por el sedimento. La composición mineralógica por DRX (difracción de rayos-X) es esencialmente de cuarzo y ópalo, con la presencia de caolinita, trazas de feldespato, smectitas, oxihidróxidos de hierro (las variedades de tonos ocres, rojas y violáceas) y mica/illita.

En las escasas muestras recogidas en las Areniscas del Miembro de Terradillos, sí están presentes. El cemento opalino muestra birrefringencia estriada (figs. 14.5 y 14.6), probablemente al estar mezclados con smectitas. En ocasiones agrieta y corroe los bordes de los cuarzos llegando a romperlos (fig. 14.6). Asimismo, dentro del ópalo llegan a definirse agregados de neoformación de caolinita vermicular (fig. 14.4).

Los procesos dominantes observados en las muestras son la fuerte corrosión de los clastos detríticos de cuarzo alcanzando su máxima actividad sobre los feldespatos ya que llegan a hacerlos desaparecer. Otro hecho característico es la neoformación de una matriz arcillosa opalina ya sea por iluviación del material del que procede o de la alteración total de los elementos detríticos. Es característico el aumento de ópalo hacia el techo de la Formación Areniscas de Salamanca.

Por último, merece definirse el proceso de fijación de los óxidos de hierro en estrecha asociación con la matriz arcillosa-opalina.

DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En general, la arquitectura romana de mampostería recurrió al uso de la roca local para el grueso de la construcción. Sin embargo, algunos grandes monumentos requirieron de una explotación específica no continuada debido a su alejamiento de una aglomeración urbana al mismo tiempo que se encontraba próximo a un yacimiento de piedra propicio, como ocurrió en el caso del Puente del Gard, cuyas piedras se extrajeron de las propias riberas del río, a unos cuantos centenares de metros del lugar. Con el aumento de los programas monumentales y las exigencias del adorno de los mismos, se abrieron canteras en todos aquellos lugares donde aparecían yacimientos de piedra de construcción de cierta calidad, buscando, en la medida de lo posible, la proximidad de una vía de evacuación terrestre, fluvial o marítima (ADAM, 1996: 24, 26 y 29), si bien se tendía al uso de canteras próximas a las obras (GONZÁLEZ

Utilización de los depósitos de la Fm areniscas de Salamanca (Cretácico Terminal-Paleoceno)
en la calzada y sillares del Puente Romano de Salamanca: análisis geoarqueológico

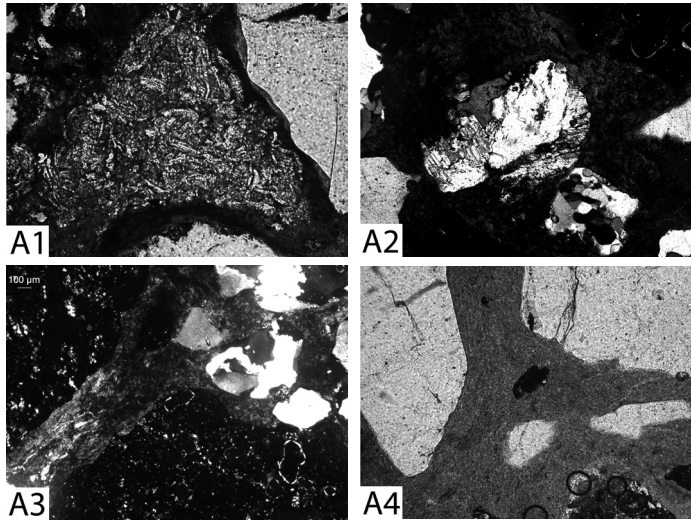


Figura 14A. Detalles y características de las muestras observadas al microscopio petrológico
14.1. Textura clástica cementada por ópalo. Clastos cuarzo y cuarcita, estos últimos más bien escasos. Madurez textural alta; 14.2. Composición mineralógica: cuarzo, feldespato y fragmentos de roca; 14.3. Minerales accesorios en las muestras; moscovitas más o menos alteradas, opacos y turmalinas; 14.4. Feldespatos alterados en caolinita que se presentan en forma de agregados y óxidos de hierro.

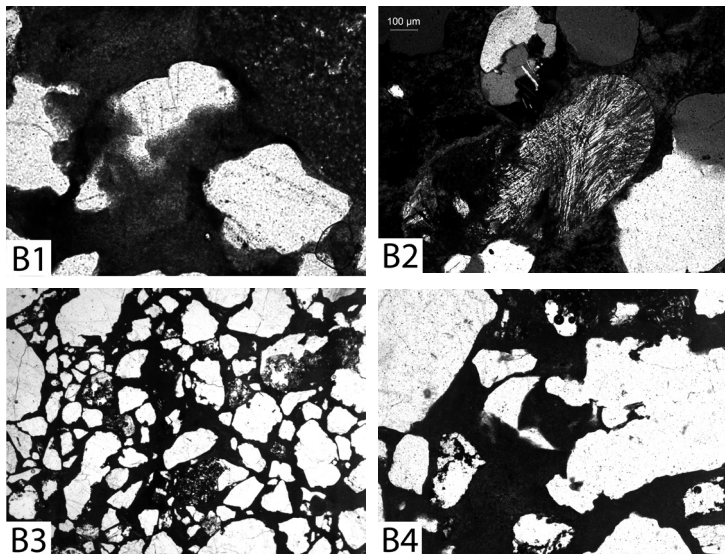


Figura 14B. Detalles y características de las muestras observadas al microscopio petrológico:
14.5. Cemento opalino mezclado con arcillas; 14.6. Clastos de cuarzo con bordes muy corroídos; 14.7. Textura general de las muestras. Clastos de cuarzo separados por cemento opalino; 14.8. Corrosión de los clastos de cuarzo por el cemento opalino.

TASCÓN & VELÁZQUEZ, 2004: 55). En cualquier caso la piedra arenisca es muy utilizada por los romanos en muchos lugares, tanto en construcciones civiles como públicas, se utilizó sobre todo en base y cimientos de construcciones y en partes que estuvieran cubiertas, como se puede documentar con respecto al uso de las canteras del sur costero alicantino (GARCÍA SAMPER, 2007: 515).

En el caso de las losas y sillares empleados en la construcción del Puente Romano de Salamanca, su procedencia y ubicación son una de las principales incógnitas, ya tratadas por autores anteriores. Por otro lado, la textura de las Areniscas de Salamanca (porosidad, granulometría, etc.) le confieren a la roca un gradiente de durabilidad muy condicionado por el tipo de facies, grado de cementación, posición espacial y orientación en el monumento. Por ello es preciso determinar los procesos generadores de las facies a partir de los registros presentes en los yacimientos geológicos.

Al observar las características estratigráficas de los afloramientos de la Formación Areniscas de Salamanca tales como el carácter estratocreciente y granocreciente de la unidad y el aumento progresivo de cemento silíceo hacia el techo de la unidad litoestratigráfica implica que los mejores yacimientos para poder obtener los bloques de areniscas deberán ser aquellos en los que aparezcan las unidades superiores de la Formación Salamanca (Miembro Areniscas y Fangos de la Peña Celestina y Miembro Conglomerados de Los Arapiles) descartándose los depósitos de las unidades inferiores tales como el Miembro Arenas de Terradillos al mostrar una textura porosa, ser deleznable y presentar minerales fácilmente alterables. Todo ello se traduce en un bajo o nulo grado de durabilidad para su utilización del Miembro de Terradillos. Los depósitos de la Capa de Hierro tampoco son muy idóneos pues aunque muestran dureza suficiente sin embargo la migración de los iones de hierro provoca su desmoronamiento y ferruginización del resto de los sillares.

La exclusión de las dos unidades inferiores de la Fm Salamanca obedece a la escasa estabilidad y durabilidad de los bloques bien durante la extracción en las canteras, durante su colocación o después de ella con el paso del tiempo debido a la ausencia de cemento opalino. Ello implica que la durabilidad de estas rocas es nula o muy baja.

La presencia de depósitos del Miembro Conglomerado de Los Arapiles está restringida a las áreas situadas al sur de la población de Salamanca siendo su representación escasa o nula en varios kilómetros a la redonda (figs. 2 y 15). Por otro lado, la alta proporción de cemento opalino en la roca aumenta su grado de dureza que junto con el espesor de los bancos para la explotación (amalgamación de los estratos que impide su extracción en bloques manejables, yacimiento de Los Arapiles, Utero, etc.) y el tamaño de grano hacen que su explotación sea más difícil.

La homogeneidad textural de la roca y la elevada proporción de cemento silíceo que le confiere gran dureza y tenacidad hacen que también sea esta unidad parcialmente rechazada para el enlosado de las calzadas al ser posiblemente difícil su preparación en losas para la calzada. Por otro lado, la distancia a la

Utilización de los depósitos de la Fm areniscas de Salamanca (Cretácico Terminal-Paleoceno)
en la calzada y sillares del Puente Romano de Salamanca: análisis geoarqueológico

que se encuentran los afloramientos de este Miembro, a más de 10 km de distancia del Puente Romano (fig. 15), y la ausencia de su empleo en el enlosado hacen que se desechen estos yacimientos como lugar de origen de los sillares empleados. Tampoco se tiene constancia en el registro histórico del uso de las canteras de Los Arapiles durante el periodo romano, aunque sí aparecen yacimientos de época romana. En restos de calzada próximos a las canteras de estos afloramientos no se aprecian, visualmente, bloques pertenecientes a dicha unidad litoestratigráfica aunque sí se han observado guijarros cantos.

Sin embargo, las Areniscas y Fangos de la Peña Celestina muestran el grado de dureza justo para poder ser desgajado de la roca original siguiendo los planos de estratificación generados durante la sedimentación. La presencia de estos planos de menor presión permite la separación de los bloques que en algunos casos presentan el espesor idóneo para su utilización como losas, directamente. Esta característica acarrea que puedan ser fácilmente extraídos bloques casi de las dimensiones de los sillares empleados en el puente y los observados actualmente en algunos paños de la muralla de Salamanca.

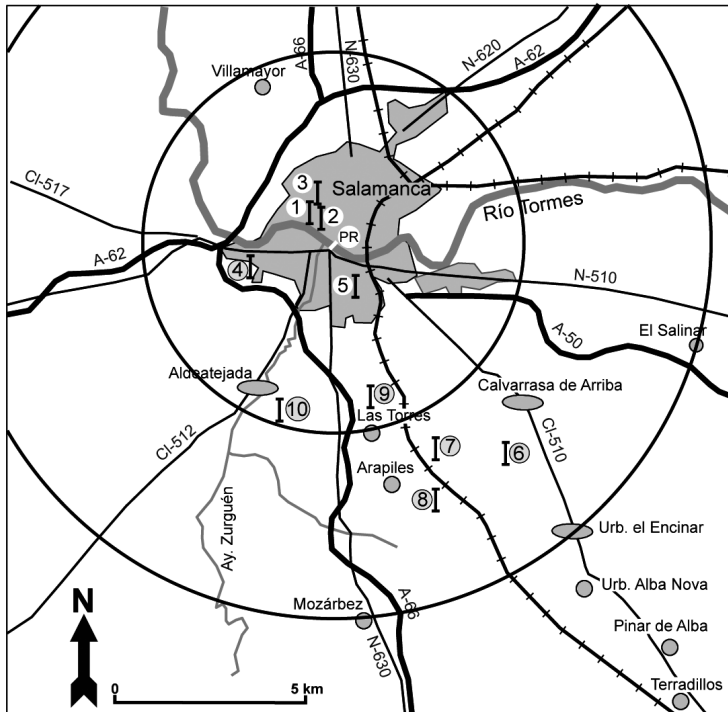


Figura 15. Todos los yacimientos con representación de la Formación Salamanca en un radio de acción de 5 y 10 km respectivamente. Los afloramientos geológicos se enmarcan dentro del radio de 10 km mientras que en el de 5 km entran todos los que se supone que tanto sedimentológica, estratigráfica e históricamente abastecieron la construcción romana.

Sin embargo, en áreas próximas a las canteras de Los Arapiles, aparecen diversos yacimientos de época romana. Así, en Calvarrasa de Arriba (figs. 1, 3 y 15), se localizan, en un área bastante amplia, un conjunto de restos atribuibles a diversas fases del periodo romano, y difícilmente interpretables (MORÁN BARDÓN, 1919: 97-99; MALUQUER DE MOTES, 1956: 54). También en la alquería de Azán se documentan diversas entidades de poblamiento romano y, posiblemente, visigodo (ARIÑO GIL, 2006: 319-323). La propia ubicación de Los Arapiles, entre dos vías de comunicaciones, una de indiscutible filiación romana como es la denominada *Vía de la Plata*, y otra de cronología más problemática, que comunicaría Salamanca con Alba de Tormes, y de la que aún pueden verse rastros en la zona de Terradillos (MORÁN BARDÓN, 1946: 103; MALUQUER DE MOTES, 1956: 117) –que tal vez sea citada en un documento de 1248 (MARTÍN MARTÍN *et al.*, 1977: Doc. 225: 316-317)– avalaría su antigüedad. De esta forma se cumple con la necesaria buena comunicación que requería toda cantera antigua, y que podemos ver en otros ejemplos hispanos (GARCÍA SAMPER, 2007: 516). Por todo ello, se mantiene la posibilidad de que la calzada de grandes losas de arenisca pueda ser de época antigua.

Por otro lado, no se ha observado variaciones mineralógicas entre las muestras recogidas en diferentes afloramientos. Esta aparente uniformidad es lo que indica la actuación de los mismos procesos generadores de los registros geológicos presentes en los depósitos en toda la región pudiendo ser considerados como coetáneos. Asimismo, esta uniformidad excluye la posibilidad de poder diferenciar los depósitos de los distintos yacimientos y, en consecuencia, no se puede determinar el origen concreto de los sillares de las Areniscas de Salamanca, como ocurre con los sillares granitoides. Según MOLINA *et al.* (2009) se observan diferencias geoquímicas (relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) entre las muestras recogidas en la base, mitad y techo de las Areniscas de Salamanca en el área del Perdigón (Zamora). Pero no es suficiente aunque sí necesario para poder discriminar y precisar el origen de los sillares.

En el caso de Salamanca, se sabe que en las construcciones de la ciudad romana se usaron en los muros mamposterías de diversos tipos de areniscas, tanto local como franca, así como en los bordillos de algunas de sus calles e, incluso, en sillares de grandes dimensiones (ALARIO GARCÍA & MACARRO ALCALDE, 2007: 217, 220, 221-222 y 228).

CONCLUSIONES

La especial dureza, por lo que es evidentemente seleccionada por ello, de las piedras del enlosado, hace que su elección pueda ser factible por su cercanía en lugar del más lejano granito de Los Santos empleado en la fábrica original del puente, máxime si se realiza en momentos tardíos.

Los afloramientos más probables de los que se extrajeron los sillares se corresponden con aquellos en los que dominan los depósitos del Miembro Areniscas y Fangos de la Peña Celestina y en concreto de estratos cuyo espesor

máximo no supera el metro, siendo idóneos los que muestran estratificaciones cruzadas. En concreto se hace referencia a todos los escarpes de la margen derecha del río Tormes (Peña Celestina, Peña San Vicente, Peñuelas de San Blas, etc.) y en última instancia el afloramiento de Calvarrasa de Arriba.

No se ha podido determinar con exactitud la cantera de la cual proceden al no existir ningún rasgo sedimentario o postsedimentario referente a composición mineralógica o sedimentológica que permita distinguir los depósitos de la misma unidad litoestratigráfica en los diferentes yacimientos estudiados.

Con toda seguridad se puede afirmar que los afloramientos actuales de las Areniscas y Fangos de la Peña Celestina en los alrededores de la ciudad de Salamanca no actuaron como yacimientos de explotación para el enlosado del Puente Romano ya que no existieron en ese tiempo.

Por otro lado, la secuencia estratigráfica de los diferentes pavimentos encontrados y el hecho de que el estudiado en este trabajo sea el más antiguo documentado, así como el que se encuentre únicamente sobre la parte romana, pudiera avalar su cierta antigüedad, lo que vendría reforzado por la presencia de tégulas.

Referente a la cronología de la calzada analizada en el presente estudio es cuestionable su posición exacta en la escala temporal. Por un lado, no se dispone de información precisa sobre cuándo se produjo la ruptura primigenia del puente del periodo romano ya que lo que puede ser documentado es un conjunto de reparaciones que por sus características podrían inscribirse en tiempos romanos tardíos y por su relación con el hallazgo de una moneda de Honorio en 1853 al levantar un enlosado de grandes placas de granito.

AGRADECIMIENTOS

A don Germán Martín Merino por su desinteresada colaboración en la elaboración y corrección de los gráficos y al Dr. don E. Jiménez Fuentes por sus aportaciones finales incluida la revisión de las citas bibliográficas. Asimismo, nuestro agradecimiento a los revisores del manuscrito original cuyas sugerencias han contribuido notablemente a su maduración.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAM, J. P. (1996): *La construcción romana. Materiales y Técnicas*. Editorial de los Oficios, León.
- ALARIO GARCÍA, C. & MACARRO ALCALDE, C. (2007): La ciudad hispanorromana de *Salmantica* a partir de la secuencia estratigráfica del solar del Trilingüe. In: GILLANI, G. & SANTONJA, M. (eds.): *Arqueología de la Vía de la Plata (Salamanca)*. PREMYSA, Béjar, 213-242.
- ALEJANDRE SÁNCHEZ, F. J. (2000): Los morteros en la Edad Media. In: GRACIANO, A. (ed.): *La Técnica de la Arquitectura Medieval*. Universidad de Sevilla, Sevilla, pp. 235-250.

- ALONSO GAVILÁN, G. (1981): *Estratigrafía y sedimentología del Paleógeno en el borde suroccidental de la cuenca del Duero (provincia de Salamanca)*. Tesis Doctoral. Facultad Ciencias. Univ. Salamanca, 438 pp. Inédita.
- ALONSO GAVILÁN, G. (1989): Paleogeografía del Paleoceno en el borde suroccidental de la cuenca del Duero. *In: XII Congreso Nacional de Sedimentología*, pp. 7-20.
- ALONSO GAVILÁN, G.; GARCÍA TALEGÓN, J.; MOLINA BALLESTEROS, E. & BARTOLOMÉ, M. (2006): Miembro de los Arapiles (Fm Areniscas de Salamanca, Cretácico Terminal-Paleoceno): Punto de Interés Geológico e Histórico. *In: Resúmenes de la VII Reunión de la Comisión de Patrimonio Geológico*, p. 22.
- ALONSO GAVILÁN, G. & SÁNCHEZ BENAVIDES, F. J. (1992): Sedimentología del Paleógeno en los alrededores de Salamanca. *In: Guías de las excursiones geológicas*. III Congreso Nacional de Geología de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología, pp. 300-309.
- ARIÑO GIL, E. (2006): Modelos de poblamiento rural en la provincia de Salamanca (España) entre la Antigüedad y la Alta Edad Media. *Zephyrus*, 59: 317-337.
- ÁVILA JALVO, J. M. (2002): Análisis constructivo del Puente Mayor de Salamanca. *Salamanca. Revista de Estudios*, 48: 51-79.
- BAYLISS, P.; ERD, D. C.; MROSE, M. E.; SABINA, A. P. & SMITH, D. K. (1986): *Mineral powder diffraction file. Data Book*. Internacional Center for Diffraction Data, 1.396 pp.
- BLANCO FREIJEIRO, A. (1981): *Historia del Arte Hispánico. I. La Antigüedad*. Alhambra, Madrid.
- BREVER, R. (1964): *Fabric and mineral analysis of soils*. Jhon Wiley and Sons, N., 470 pp.
- BREVER, R. (1976): *Fabric and mineral analysis of soils*. Klinger Publ. Co., Huntinton. N. Y. 482 pp.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIOUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. & BABEL, U. (1985): *Handbook for soil thin section descriptions*. Wain Research Publ., London, 152 pp.
- CABO ALONSO, Á. (1981): *Salamanca: Personalidad geográfica de una ciudad*. Universidad de Salamanca, Salamanca.
- DURÁN FUENTES, M. (1996): Puentes romanos peninsulares: tipología y construcción. *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Instituto Juan de Herrera, Madrid, pp. 167-178.
- DURÁN FUENTES, M. (2004a): Técnica y construcción de puentes romanos. *In: Elementos de Ingeniería Romana. Libro de Ponencias. Congreso Europeo "Las Obras Públicas Romanas"*. Tarragona (ed. dig.).
- DURÁN FUENTES, M. (2004b): *La construcción de puentes romanos en Hispania*. Santiago de Compostela, Xunta de Galicia.
- FERNÁNDEZ CASADO, C. (1980): *Historia del Puente en España. Puentes romanos*. Ministerio de Obras Públicas, Madrid.
- GALLIAZZO, V. (1995): *I Ponti Romani*. 2 vols. Edizioni Canova, Treviso.
- GARCÍA ROMERO, E (1988): *Estudio mineralógico y estratigráfico de las arcillas de las facies centrales del Neógeno del borde Sur de la cuenca del Tajo*. Ed. Universidad Complutense de Madrid, 441 pp.
- GARCÍA SAMPER, M. (2007): Canteras romanas de piedra en el sur costero alicantino. *Caesaraugusta*, 78: 511-520.

Utilización de los depósitos de la Fm areniscas de Salamanca (Cretácico Terminal-Paleoceno)
en la calzada y sillares del Puente Romano de Salamanca: análisis geoarqueológico

- GEI (1980): *Guía Estratigráfica Internacional*. Ed. Reverté, Barcelona, 205 pp.
- GONZÁLEZ TASCÓN, I. & VELÁZQUEZ, I. (2004): *Ingeniería romana en Hispania. Historia y técnicas constructivas*. Madrid, Fundación Juanelo Turriano.
- JIMÉNEZ FUENTES, E. (1972): El Paleógeno del borde SW de la cuenca del Duero. I. Los escarpes del Tormes. *Stud. Geol. Salmant.*, 3: 34-110.
- JIMÉNEZ FUENTES, E. (1973): El Paleógeno del borde SW de la cuenca del Duero. II. La falla de Alba-Villoria y sus implicaciones estratigráficas y geomorfológicas. *Stud. Geol. Salmant.*, 5: 107-136.
- JIMÉNEZ FUENTES, E. (1975): Presencia de una fase de fracturación y de una discordancia preluteciense en el Paleógeno de Salamanca. *Estudios Geol.*, XXXI: 615-624.
- JIMÉNEZ FUENTES, E. (1976): Consideraciones sobre la geometría de bloques fallados según dos sistemas desfasados y sus desgarres aparentes. Aplicación al caso de las fallas de Salamanca y de los Pizarrales. *Tecniterrae*, 10: 1-5.
- JIMÉNEZ FUENTES, E.; CORROCHANO, A. & ALONSO GAVILÁN, G. (1983): El Paleógeno de la cuenca del Duero. *In: Libro Jubilar de J. M. Ríos*. Ed. IGME, vol. II: 489-494.
- LÓPEZ PLAZA, M.; GONZÁLEZ SÁNCHEZ, M. & CARLOS ÍÑIGO, A. (2007): La utilización del leucogranito turmalínífero de Martinamor en los monumentos de Salamanca y Alba de Tormes. *Stud. Geol. Salmant.*, 43 (2): 247-280.
- LÓPEZ PLAZA, M.; GONZÁLEZ SÁNCHEZ, M.; GARCÍA DE LOS RÍOS COBO, J. I.; CORTÁZAR ESTÍBALIZ, J.; CARLOS ÍÑIGO, A.; VICENTE TAVERA, S. & LÓPEZ MORO, F. J. (2006): La utilización de rocas vaugnéníticas en los monumentos de Salamanca. *Stud. Geol. Salmant.*, 43 (1): 115-142.
- LÓPEZ PLAZA, M.; GARCÍA DE LOS RÍOS COBO, J. I.; LÓPEZ MORO, F. J.; GONZÁLEZ SÁNCHEZ, M.; ÍÑIGO, A. C.; VICENTE TAVERA, S. & JIMÉNEZ FUENTES, E. (2009): La utilización del granito de Los Santos en la ciudad de Salamanca. *Stud. Geol. Salmant.*, 45 (1): 7-40.
- MALUQUER DE MOTES NICOLAU, J. (1956): *Carta Arqueológica de España. Salamanca*. Diputación Provincial de Salamanca, Salamanca.
- MARTÍN MARTÍN, J. L.; VILLAR GARCÍA, L. M.; MARCOS RODRÍGUEZ, F. & SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, M. (1977): *Documentos de los archivos catedralicio y diocesano de Salamanca (siglos XII-XIII)*. Universidad de Salamanca, Salamanca.
- MARTÍN SERRANO GARCÍA, A. & MONTESERÍN LÓPEZ, V. (dirs.) (2000): *Mapa Geológico de España Escala 1:50.000. Hoja 478. Salamanca*. ITGE, Madrid.
- MENÉNDEZ BUEYES, L. R. (2000-2001): El puente romano de Salamanca y su contexto histórico (A propósito de CIL II 4685). *Memorias de Historia Antigua*, XXI-XXII: 149-183.
- MENÉNDEZ BUEYES, L. R. (2003): Acercamiento histórico al Puente Romano sobre el río Tormes (Salamanca). Apuntes para una interpretación arqueológica. *Boletín de la Real Academia de la Historia, Tomo CC. Cuaderno, III*: 373-416.
- MENÉNDEZ BUEYES, L. R. & JIMÉNEZ GONZÁLEZ, M. C. (1999): *Intervención Arqueológica Realizada en el Marco de los Trabajos de "Restauración y Acondicionamiento del Puente Romano sobre el Río Tormes de Salamanca (Primera Fase)". Salamanca, junio-julio 1999*. Dirección General de Patrimonio y Promoción Cultural. Consejería de Educación y Cultura. Junta de Castilla y León (Biblioteca del Museo de Salamanca), 2 vols.

- MENÉNDEZ BUEYES, L. R. & JIMÉNEZ GONZÁLEZ, M. C. (2007): El Puente Romano de Salamanca sobre el Tormes en el *Ite. Ab. Emerita Asturicam*. In: GILLANI, G. & SANTONJA, M. (eds.): *Arqueología de la Vía de la Plata (Salamanca)*. PREMISA, Béjar, pp. 183-212.
- MENÉNDEZ BUEYES, L. R. & JIMÉNEZ GONZÁLEZ, M. C. (2008): El Puente Mayor de Salamanca: Historia y arqueología de un monumento bimilenario a través de la evolución de sus calzadas. *El Nuevo Miliario*, 7: 18-29.
- MOLINA, E.; GARCÍA TALEGÓN, J. & ALONSO GAVILÁN, G. (2009): Papel de la porosidad en el proceso de silicificación del borde occidental de la cuenca terciaria del Duero. *Rev. Sociedad Geológica de España*, 22 (3-4): 145-154.
- MOLINA, E. & MARTÍN SERRANO, A. (1991): Dos perfiles de alteración sobre el Complejo Esquisto Grauváquico. Salamanca. In: *Alteraciones y paleoalteraciones en la morfología del oeste peninsular*. IGME, pp. 251-262.
- MORALES HORTELANO, A. & GONZÁLEZ LIMÓN, T. (2008): Puentes romanos en el tramo extremeño de la Vía de la Plata. *El Nuevo Miliario*, 7: 9-17.
- MORÁN BARDÓN, C. (1919): *Investigaciones acerca de Arqueología y Prehistoria de la Región Salmantina*. Establecimiento Tipográfico de Calatrava, Salamanca.
- MORÁN BARDÓN, C. (1946): *Reseña histórico-artística de la provincia de Salamanca*. Universidad de Salamanca, Salamanca.
- MORENO, I. (2001): Características de la infraestructura viaria romana. In: *Monográfico Ingeniería e Historia II. Obra Pública. Ingeniería y Territorio*, 56 (ed. dig.).
- NAHON, D. (1991): *Introduction to the petrology of soils and chemical weathering*. Ed. John Wiley & Sons Inc., New York, 313 pp.
- NESPEREIRA, J. (2007): *Estudio, definición y cartografía de unidades geotécnicas en un entorno urbano: Salamanca y su zona de expansión*. Tesis Doctoral. Fac. Ciencias, Univ. Salamanca, 325 pp.
- ROMÁN, F. & ROYO GÓMEZ, J. (1922): Sur l'existence de mamíferes luteciens dans la bassin du Douro (Espagne). *C.R.Ac.Sc. Paris*, 175: 1221-1223.
- SCHMIDT-THOMÉ, P. (1950): *Basamento paleozoico y cobertera moderna en la parte occidental de España Central (Provincias de Salamanca y Cáceres)*. Publ. extr. S. Geol. España, 5: 91-146.
- SUÁREZ, F. J. & ALONSO GAVILÁN, G. (2001): *Estratigrafía y sedimentología de los depósitos terciarios en el área de Salamanca*. Univ. Salamanca.
- TEMPLADO, D. & PASTORA, J. L. (1946): *Explicación del Mapa Geológico de España E: 1:50.000. Hoja 478 (Salamanca)*. IGME, Madrid, 63 pp.
- VACA LORENZO, Á. (2002): La Vía de la Plata a su paso por Salamanca. *Salamanca. Revista de Estudios*, 48: 13-50.
- VACA LORENZO, Á. (2007): El puente romano de Salamanca en la Edad Media. *Cuadernos de Historia de España*, LXXXI: 7-38.