

# Caracterización de la estructura constructiva de la fachada de las Escuelas Mayores de la Universidad de Salamanca. Interpretación por combinación de técnicas de georradar y sondeos mecánicos

*Constructive characterization of the Escuelas Mayores façade from the University of Salamanca. Joint interpretation of GPR and borehole data*

Óscar Pueyo Anchuela<sup>1</sup>, Josep Gisbert Aguilar<sup>1</sup>, Rodrigo de la Torre Martín-Romo<sup>2</sup>, Antonio M. Casas Sainz<sup>1</sup> y Andrés Pocoví Juan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación Geotransfer, Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales (IUCA), Universidad de Zaragoza, c/Pedro Cerbuna, 12, CP 50009, Zaragoza, España. opueyo@unizar.es; gisbert@unizar.es; acasas@unizar.es; apocovi@unizar.es

<sup>2</sup> Profesional independiente Apdo de Correos 13. E 47080 Valladolid. erretemr@gmail.com

## ABSTRACT

*Constructive fabric characterization previous to restoration is required for the design and stability analysis. These studies include the integration of historical data and knowledge of building style at the construction period. Sometimes this information is limited or requires to be contrasted with present-day construction features. In this work the Escuelas Mayores de Salamanca main façade ("Fachada Rica") is evaluated through the integration of three horizontal boreholes and the obtained results from the geophysical characterization by means of GPR and considering the artistic-historical construction criteria since its construction moment. The obtained results permit to identify the correlation between the defined geophysical units and the layers identified in boreholes and to evaluate the lateral correlation of these boreholes along the whole analyzed façade.*

**Key-words:** GPR, geophysical characterization, architectonic heritage, boreholes, Salamanca.

## RESUMEN

*La caracterización de la fábrica constructiva de edificaciones previa a su restauración o evaluación de estabilidad requiere estudios históricos previos y análisis del estilo constructivo del momento de construcción. En ocasiones dicha información es limitada o requiere ser contrastada por métodos de caracterización directa. En este trabajo se aborda el análisis de la fachada principal de las Escuelas Mayores de Salamanca ("Fachada Rica") a través de la caracterización geofísica por medio de georradar, de 3 sondeos horizontales y los resultados obtenidos del análisis constructivo con criterios histórico-artísticos. Los resultados obtenidos permiten identificar la correlación entre las unidades geofísicas identificadas en los sondeos, y evaluar la variabilidad lateral de dichas unidades.*

**Palabras clave:** georradar, caracterización geofísica, patrimonio arquitectónico, sondeos, Salamanca.

*Geogaceta*, 66 (2019), 131-134  
ISSN (versión impresa): 0213683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 1 de febrero de 2019  
Revisión: 25 de abril de 2019  
Aceptación: 24 de mayo de 2019

## Introducción

La caracterización del estado de monumentos y la propuesta de realización de actuaciones encaminadas a su restauración se benefician del uso integrado de distintas metodologías de estudio. La fachada principal de las Escuelas Mayores, o "Fachada Rica" de la Universidad de Salamanca formó parte del Plan Director de los Edificios Históricos de la Universidad de Salamanca durante el periodo 1999-2016 (García Gil y García Maldonado, 2018).

La presencia de zonas de la fachada con degradaciones, patologías, su vuelco hacia la

calle Libreros y la ausencia de documentación escrita sobre la técnica y desarrollo constructivo motivó la realización de un estudio integrando distintas técnicas y metodologías que permitieran definir su estado actual y estabilidad. Se instaló además un ascensor panorámico que permitió el acceso a la fachada para las labores de investigación y restauración. En este trabajo se presentan los resultados integrados de la interpretación de la estructura constructiva obtenidos de la prospección geofísica por georradar a lo largo de la fachada principal y los datos obtenidos a partir de 3 sondeos mecánicos con testigo continuo.

## Zona de prospección y metodología

La fachada presenta una superficie con relieve irregular debido a su ornamentación y la presencia de frisos que separan los 3 cuerpos de la fachada. Esta disposición impedía el apoyo directo de los equipos sobre la misma. La prospección se realizó anclando las antenas de georradar al ascensor panorámico y se utilizó su desplazamiento para realizar la prospección. La distancia de prospección se estableció a partir de la velocidad constante de movimiento del ascensor y a partir de la iden-

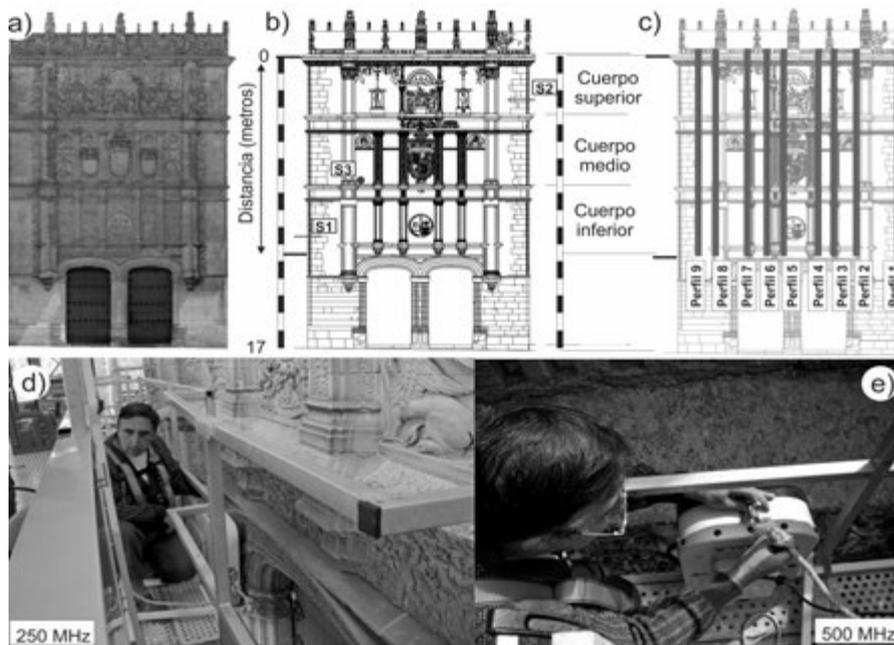


Fig. 1.- a) Fotografía de la zona de estudio. b) Esquema gráfico de la portada con la localización de los 3 sondeos realizados. c) Localización de las transversales seleccionadas para el estudio de georradar. d y e) Anclaje de los equipos de prospección a la plataforma elevadora frente a la fachada. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- a) Photograph of the study area. b) Façade design with the location of the boreholes. c) Areas delimited to perform GPR analysis. d and e) Installation of GPR antennas (250 and 500 MHz) at the lift. See color figure in the web.

tificación de los frisos entre cuerpos durante la prospección. Se utilizaron dos grupos de antenas con frecuencias centrales de 250 y 500 MHz (Ramac; Fig. 1) y con dos configuraciones

de prospección. Se realizaron 9 perfiles para cada equipo y para dos configuraciones de polarización de las antenas (36 perfiles; 414 m de prospección lineal).

Debido a los cambios de relieve de la superficie de prospección fue necesario contar con un modelo topográfico realizado previamente.

Los datos geofísicos fueron procesados para amplificar la señal con la profundidad, filtrar las frecuencias fuera de rango para cada una de las frecuencias centrales, identificar la superficie de prospección y sus variaciones a lo largo de los perfiles. Sobre estos perfiles se definieron unidades o medios geofísicos que presentaban comportamiento relativo diferencial (estructura, reflectividad aparente o presencia de límites netos que desarrollaban reflectores). La posición de los contactos y espesores se integró en una hoja de cálculo incluyendo la localización en la fachada y su posición en tiempos dobles (TWT).

En relación con la caracterización de la estructura constructiva se realizaron 3 sondeos (2 con sección de 10 cm y un tercero de 3 cm; véase localización en Fig. 1b).

## Resultados

### Georradar

Se incluye en la figura 2a un ejemplo de los perfiles obtenidos. El registro permite identificar un desfase espacial entre la superficie de prospección y el punto de emisión. Esta superficie es irregular y se pueden identificar ano-

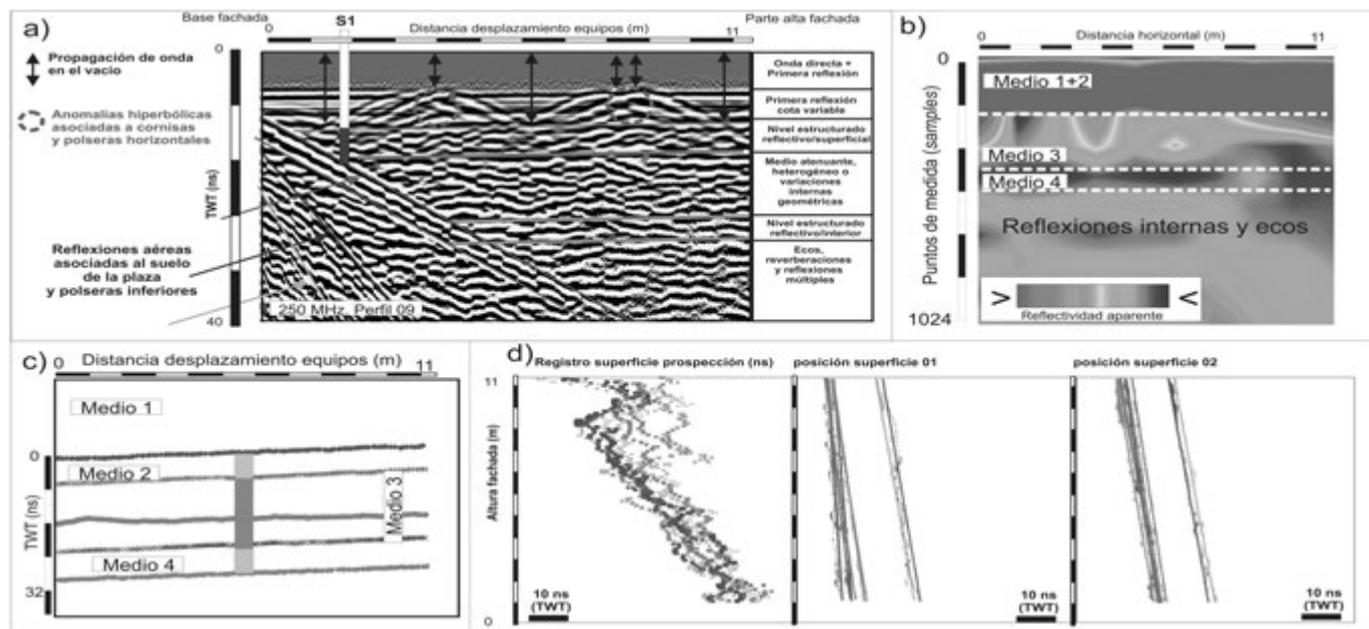


Fig. 2.- a) Perfil de georradar obtenido con el grupo de antenas de frecuencias centrales de 250 MHz con las principales anomalías y unidades geofísicas identificadas. b) Modelo de correlación de reflectividades aparentes para uno de los perfiles obtenidos con el grupo de antenas de 250 MHz (análisis de la reflectividad de los registros). c) Gráfico obtenido del análisis de los registros y de las distintas interfases identificadas en los perfiles (se incluye superpuesto el registro obtenido en uno de los sondeos). d) Representación conjunta de la posición de distintos reflectores o superficies en los distintos perfiles de georradar realizados (previa corrección topográfica). Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- a) GPR profile obtained from 250 MHz antennas and main anomalies, identified reflectors and electromagnetic changes. b) Apparent reflectivity plot from a profile obtained with 250 MHz antennas. c) Manual pickup of coordinates from the different identified surfaces along a GPR profile, identified surfaces and superposition of one of the borehole logs. d) Integrated representation for three different surfaces identified along all the profiles carried out with the 250 MHz antennas along the studied façade. See color figure in the web.

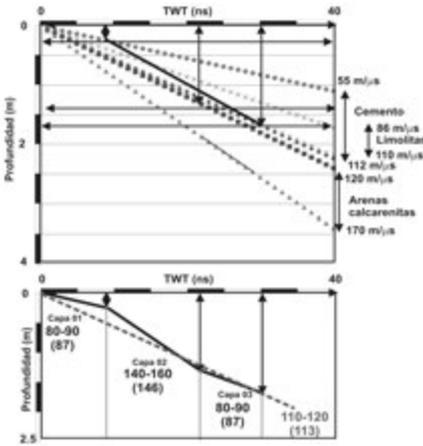


Fig. 3.- a) Evaluation of depths depending on the propagation velocity of different materials. b) Comparison of depths and calculated propagation velocities from borehole data. See color figure in the web.

malías relacionadas con los dinteles que separan los cuerpos de la fachada (esto implica una superficie de prospección irregular, pero una posición constante de los equipos con respecto a la estructura del muro; medio 1). Posteriormente, se identifica una unidad atenuante con límite exterior la superficie de prospección en sectores sin cambios topográficos y que tiene un espesor aproximado de 6ns (TWT; medio 2) y el límite más profundo aparece definido por un límite neto. Posteriormente se identifica una unidad interior con cambios estructurales, reflectores no paralelos a la superficie de prospección (medio 3) y definido por límites netos (espesor aproximado de entre 12-14 ns; TWT). La última unidad identificada corresponde con el medio 4, que presenta una estructura más homogénea, con límites bien definidos y un espesor aproximado de 6 ns (TWT). A partir del límite más distal del medio 4 se produce un descenso de la definición de reflectores y la aparición de ecos en los registros. Sobreimpuestas a los registros se identifican una serie de anomalías de alta pendiente en el sec-

tor izquierdo de los perfiles (zona inferior de la fachada), que se relaciona con la reflexión aérea generada por el suelo de la calle bajo el ascensor.

Se identifican además anomalías asociadas a los frisos prolongándose en el interior del muro, en unos casos alcanzando el mismo espesor que el medio 2, y en otros casos introduciéndose en la parte más exterior del medio 3. Además de la descripción previa, se realizó también evaluación de variaciones de la reflectividad aparente (Pueyo Anchuela *et al.*, 2011). Este análisis (Fig. 2b) permite identificar un medio con alta variabilidad interna y que define los medios 1+2, la prolongación de medios anómalos en el interior del medio 3 asociados a los cambios topográficos exteriores y la presencia de un contacto bien definido a techo y base del medio 4.

La disposición de los reflectores no es paralela a la posición de desplazamiento de los equipos, sino que se identifica una ligera inclinación de los contactos pero manteniendo su paralelismo. Este aspecto es más evidente si extraemos el registro de la posición de los distintos reflectores (véase Fig. 2c). Este paralelismo se mantiene para los distintos reflectores identificados en el mismo perfil (Fig. 2c) y entre distintos perfiles (Fig. 2d). La variación de posición supone un aumento de la distancia entre el equipo de prospección y los medios o contactos en los perfiles (posición más próxima en la parte superior de la fachada). Los reflectores son rectilíneos y paralelos tanto a lo largo del mismo perfil como al compararse entre distintos perfiles (ver Fig. 2d).

Sondeos

Dos sondeos (ver Fig. 1c) se ubicaron en los laterales y un tercero en el frente de la fachada. En este último se embocó en un canto blando de la arenisca para no dañar ningún elemento con valor histórico-artístico. Los tres sondeos mostraron una serie compuesta por dos hojas de sillería (piedra de Villamayor) y un núcleo interior de relleno, cascotes de piedra y mortero con una distribución media general de 20-29/69/>30 cm. Los dos sondeos laterales muestran un relleno intermedio con cinco capas en las que las dos adyacentes a los sillares son de morteros ricos en cal y un mortero central de 15 cm que es muy pobre en ligante. El relleno entre muros de sillería de la fachada principal es muy homogéneo pero de un mortero pobre y con huecos en el contacto con el muro interior.

Correcciones topográficas y velocidades de propagación

La superficie topográfica de prospección, como se ha indicado previamente, presenta una distribución irregular tanto por la presencia de dinteles y ornamentación, como también por la disposición no paralela entre la fachada y el ascensor utilizado para la prospección (se conoce la presencia de un ligero desplome de la fachada hacia la calle Libreros).

Estos cambios suponen que para poder realizar un análisis comparado entre los distintos perfiles y poder realizar su interpretación se requiere realizar una serie de correcciones a los datos. Dado que se contaba con las coordena-

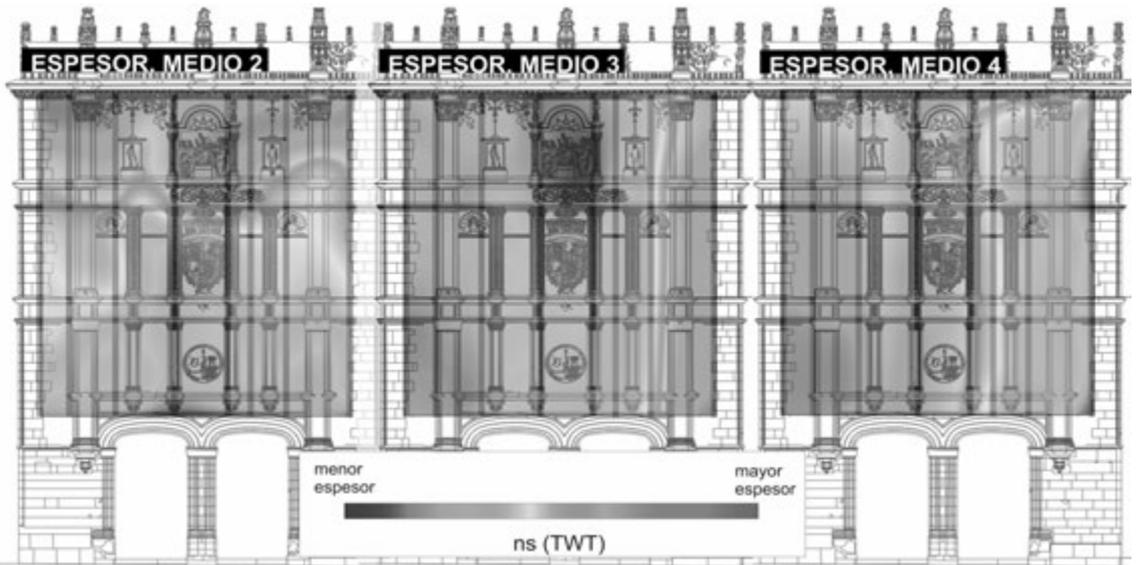


Fig. 4.- Results obtained from the lateral correlation of thickness variations of the units identified in the GPR profiles. See color figure in the web.

Fig.4.- Results obtained from the lateral correlation of thickness variations of the units identified in the GPR profiles. See color figure in the web.

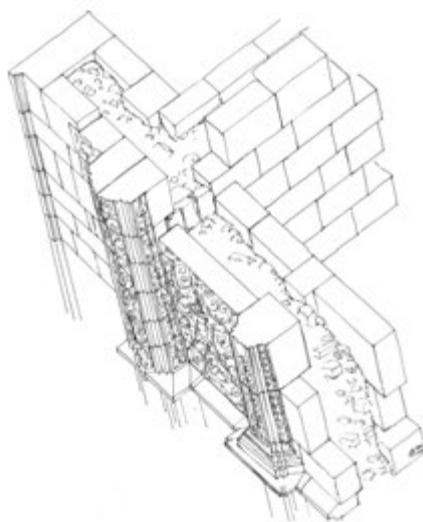
das *datum* de prospección para los distintos perfiles (ver ejemplo en la Fig. 2d) se pudieron realizar análisis tanto de la posición de las distintas unidades como también de los cambios de espesor de las mismas. Otro de los aspectos a evaluar fue la velocidad de propagación de las ondas en el medio, ya que esta configura el cálculo de las profundidades reales de los elementos analizados. El cálculo de la velocidad de propagación se evaluó a través de las características litológicas de las unidades de estudio (Fig. 3a) y posteriormente a través de la comparación con los registros obtenidos de los sondeos realizados (Fig. 3b).

## Discusión y conclusiones

El análisis comparado de los sondeos realizados y proyectados sobre los perfiles de georradar permite identificar una correlación de los medios 2 y 4 con el nivel constructivo de bloques y sillares de piedra de Villamayor; y un medio intermedio compuesto por fragmentos de rocas y mortero (medio 3). El ajuste de velocidad de propagación no muestra una correlación directa, existiendo variabilidad de las velocidades considerando los cambios tanto de las propiedades de los materiales como del estado de los mismos (Fig. 3). De los modelos de correlación de la posición de reflectores, límites entre unidades y el espesor de las mismas, se identifican algunas variaciones que pueden interpretarse en términos de fábrica constructiva.

Los límites asociados a frisos que separan los distintos cuerpos de la fachada presentan anomalías que se continúan a lo largo del medio 2 (muro de sillares) o se introducen dentro del medio 3 (niveles asociados a mortero y cascotes). Esta distribución supone una continuidad dentro del muro de estas estructuras que presentan relieve positivo con respecto a la fachada principal.

Se identifica una variación progresiva del espesor del primer nivel de sillares de la fachada hacia la parte superior. En detalle se identifica que los cambios principales se producen asociados a los límites entre los cuerpos de la fachada. El espesor del medio 3 (relleno entre los paños de la fachada) muestra cambios mucho más netos y que definen principalmente variaciones laterales (Fig. 4). Estos cambios permiten identificar 3 sectores con escalonamiento de los espesores entre el sector izquierdo, central y derecho con 3 zonas de espesor diferente. Además se identifica un cambio del espesor en el sector central menor para el cuerpo 3 que para el cuerpo 2. En el caso del medio 4 (sillares de la fachada posterior) también se identifican cam-



**Fig. 5.-Modelo en perspectiva de la fábrica constructiva de la fachada.**

*Fig. 5.- Constructive scheme of the analyzed facade from the different used techniques.*

bios del espesor con límites verticales, especialmente en el tercio oriental de la fachada, zona donde su espesor se reduce. En este caso, parece que estas variaciones se producen por cambios en la edificación, con apoyo sobre fachada, o sobre estructuras constructivas relacionadas con la edificación sobre la que se desarrolla.

En la ejecución del sondeo 3 se identificó un despegue entre el nivel de mortero blando y el de sillares posteriores o cambios dentro de la estructura del nivel intermedio de la fachada. En los perfiles de georradar (Fig. 2a) se identifica una disposición de reflectores paralela a nivel general pero con ligeros cambios de pendiente y geometrías irregulares. Considerando la ejecución de emplazamiento por gravedad, los cambios de reflectividad y definición de reflectores en la mitad exterior del medio 3, puede definirse un estilo constructivo diferente dentro de la unidad intermedia (mayor contenido en mortero en la parte exterior de esta unidad). Además, debe valorarse que estos niveles no son paralelos a los límites de emplazamiento, lo cual puede deberse a deformaciones posteriores. En el caso del perfil referido, puede identificarse la presencia de un cambio de la estructura posterior asociada al límite del tercer cuerpo (distinto estilo constructivo entre el medio 1+2 con respecto al 3, y deformaciones que presentan concavidades que, comparado con los sondeos de la zona, pueden ocasionar despegues entre las distintas unidades).

En síntesis, desde el punto de vista arquitectónico y sobre la forma de ejecución se pueden extraer las siguientes conclusiones: i) los cambios de la estructura constructiva de la fachada siguen límites horizontales que suponen

que los distintos cuerpos de la fachada presentan cambios constructivos, los mayores de los cuales se producen asociados al cuerpo superior de la fachada; ii) los límites entre cuerpos (dinteles) presentan continuidad dentro de la estructura del muro y profundizan en la unidad intermedia, lo que supone un desarrollo mayor de estos elementos que el mero apoyo de bloques que se produce en el resto de la fachada; iii) la construcción debió de aprovechar un apoyo posterior o integración de la estructura con las edificaciones previas produciendo cambios del espesor, desarrollo y características del muro trasero de la fachada; iv) la construcción del nivel intermedio prestó mayor atención a la parte próxima a la fachada con mayor desarrollo de mortero y estructura más homogénea que su equivalente distal. Esto supone un medio más heterogéneo estructuralmente en la parte distal y que, o bien en el momento de la construcción o posteriormente, ha producido el desarrollo de deformaciones y despegues de las unidades intermedia y distal de la fachada.

Estos datos corroboran las hipótesis planteadas para la ejecución del muro (Fig. 5), y postuladas por Gisbert *et al.* (2018), sobre que la fachada actual asienta sobre una construcción previa (2 m basales) y que el tercer cuerpo no se desarrolló en continuidad temporal con los otros dos cuerpos de la fachada.

## Agradecimientos

Este trabajado ha sido financiado por la Fundación de Patrimonio de Castilla y León y el Grupo de Investigación Geotransfer cofinanciado por el Gobierno de Aragón y el Programa Operativo FEDER Aragón 2014-2020. Los autores quieren agradecer los comentarios y sugerencias del Dr. Javier Olona Allué y un revisor anónimo, que han permitido la mejora del manuscrito original.

## Referencias

- García Gil, A. y García Maldonado, J. (2018) En: *Ex Vetere Novum. Rehabilitar el patrimonio arquitectónico* (E. Azofra Agustín y M. Gutiérrez Hernández, Eds.). Universidad de Salamanca, Salamanca, 161-181.
- Gisbert Aguilar, J., de la Torre Martín-Romo, R., de Juan Mangas, L. y Buj Fandos, Ó. (2018) En: *Ex Vetere Novum. Rehabilitar el patrimonio arquitectónico* (E. Azofra Agustín y M. Gutiérrez Hernández, Eds.). Universidad de Salamanca, Salamanca, 217-236.
- Pueyo Anchuela, Ó., Casas-Sainz, A.M., Pocolí Juan, A. y Soriano, M.A. (2011) *Journal of Applied Geophysics* 75, 151-160.