

# Granitos de Salamanca. Un ejemplo perfecto para el reconocimiento de la piedra natural como recurso patrimonial y su uso en restauración

C. González<sup>(1)</sup>, D. Pereira<sup>(1,3)</sup> y J.M. Baltuille<sup>(2,3)</sup>

(1) Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca, España.

(2) Departamento de Infraestructura Geocientífica y Servicios. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). 28003 Madrid, España, jm.baltuille@igme.es

(3) Red CONSTRUROCK (Red de la Piedra Natural y su relación con el Patrimonio Histórico-Monumental y la obra nueva en el ámbito del Estado Español). Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, España.

## RESUMEN

En la provincia de Salamanca se encuentran diversas canteras que fueron origen de la piedra natural para la construcción de edificios históricos que hoy forman parte de lugares reconocidos como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. Para este trabajo se han investigado los granitos utilizados para la construcción y restauración de los zócalos de distintas edificaciones de las localidades de Salamanca, Alba de Tormes, Ciudad Rodrigo y Ledesma. La caracterización de tipologías y su estado actual de conservación puede servir para adoptar medidas concretas con respecto a su uso en la posible restauración del patrimonio arquitectónico de la provincia cuando esta fuera necesaria. A pesar de la variedad de materiales observados en la parte basal de los edificios (desde arenisca hasta granito), los más frecuentes son el granito de Los Santos y el granito de Martinamor, seguidos de las rocas vaugneríticas de Ledesma. Los materiales graníticos se encuentran en general en buen estado de conservación, pero la existencia de algunas patologías que dan lugar a procesos de descamado y decoloración de la roca apunta a que hay que hacer una valoración consistente a la hora de decidir sobre posibles actuaciones de reemplazamiento de material en restauraciones de edificios históricos. Además, las diversas tipologías de granitos dan materiales muy distintos entre sí que no deberían de reemplazarse unos por otros sin ser perfectamente identificados. El estudio pormenorizado de estos granitos será fundamental para nominar algunos de ellos como Global Heritage Stone Resource y al conjunto de las litologías como Global Heritage Stone Province.

Palabras clave: Granito ornamental, patrimonio histórico, canteras históricas, Salamanca, Global Heritage Stone Resource.

## ***Granites of Salamanca. A perfect example for the recognition of natural stone as a heritage resource and their use in restoration***

### ABSTRACT

*In the province of Salamanca (Spain) there are several quarries that used to be the source of natural stone used in the construction of historic buildings and that are today recognized by UNESCO as World Heritage Sites. In this study we investigated the granites used in the construction and restoration of the lower ashlar of the walls of different buildings in Salamanca, Alba de Tormes, Ciudad Rodrigo and Ledesma. The characterization of the different types of granite and their current state of preservation may serve to adopt specific measures for their possible use in the restoration of the architectural heritage of the province, if this should become necessary. Despite the variety of materials observed in the lower parts of the buildings (ranging from sandstone to conglomerate to granite), the stone most frequently used was the granite from Los Santos and the Martinamor granite, followed by the vaugneritic granites from Ledesma.*

*In general the granite materials are in a good state of conservation but the existence of certain pathologies that have given rise to processes of flaking and discoloration of the rock suggests that it will be necessary to make a consistent assessment when deciding about possible actions aimed at replacing materials in these historic buildings. Moreover, the various granites differ from one another and pieces should not be*

replaced without perfect identification of the specific type to which they belong. A detailed study of these granites is crucial for the nomination of some of them as candidates for the denomination Global Heritage Stone Resource and the whole set of Salamanca province lithologies as a Global Heritage Stone Province.

**Keywords:** ornamental granite, historical heritage, historical quarries, Salamanca, Global Heritage Stone Resource.

## ABRIDGED ENGLISH VERSION

### **Introduction and methods**

Salamanca is a province where quarrying was a major activity for centuries. Sandstone was the main natural stone extracted for construction, but several granites were also quarried and their use extended from the 17th century throughout the whole historical period of construction of buildings that now are part of the architectural heritage, taking into account that granite had already been used as the main construction material during Roman times (Pereira and Cooper, 2014a). Once it was observed that the local sandstone and conglomerate were poor choices owing to their high porosity and water absorption capacity (Nespereira et al., 2010), granite was used instead. Several granites and granitic rocks from nearby areas were brought to the main towns for construction. The most common ones were the Martinamor, Los Santos and Sorihuela granites, as well as the vaugnerite from Ledesma (Figs. 1 and 2). In this study we describe these lithologies, although others were certainly used as well (e.g. the Vitigudino and Villavieja granites). Owing to restrictions to sampling in historical buildings, the main method used here was visual inspection, both for recognition of the material and the description of the pathologies. Once the material had been identified, we studied thin sections of the same lithology from the collection of natural stones at the University of Salamanca, since the mineralogy and texture are the most important intrinsic factors in determining the future behaviour of a natural stone once emplaced in a building. Documentation was consulted from the public archives of the University of Salamanca, archives at the Catholic University of Salamanca and documents from the Diocesan archives (Rodríguez de Ceballos, 1978; Portal-Monge, 1988). This allowed us to study different sequences in the construction and restoration of buildings. A total of sixty-two buildings from the old towns of Salamanca, Ledesma, Ciudad Rodrigo and Alba de Tormes were included in the study. We took photographs of the different buildings and their different parts made out of granite, from the bottom ashlars to the facades, including some structural elements. We traced the different pathologies that these granites now exhibit. A file was built for each material and this information will be uploaded to the database developed and maintained by CONSTRUROCK, the Spanish national network that collects data on heritage buildings, their construction materials and the quarries these have come from. Finally, graphics were projected representing the weathering displayed by the different granites based on the ICOMOS weathering glossary and pathology mapping techniques (ICOMOS, 2008).

### **Results and discussion**

In this study we describe the characterization of the different granitic lithologies that were identified in the group of buildings studied (Fig. 1, Tables 1, 2, 3 and 4): Martinamor granite (or Piedra Pajarilla, Fig. 2a, Pereira and Cooper, 2014a; Pereira et al., 2015), Los Santos granite (Fig. 2b) and Sorihuela granite (Fig. 2c). Some lower ashlar used the vaugnerite from Ledesma (Fig. 2d). We include this rock here because some historic documentation mentions its granitic affinities and because in this same documentation a common mistake was found: the vaugnerite has been referred to as "Piedra Pajarilla" due to the local tradition of naming the rocks after some details related to colour, texture or structure. However, the vaugnerite is a much darker rock and the main feature is the presence of biotite cumulates instead of tourmaline cumulates, which is the case of the "real" Piedra Pajarilla (Martinamor granite). Some aesthetic mistakes have emerged throughout restoration history due to this type of confusion and others (Pereira et al., 2015). It should be noted that beyond the geological scientific forum, one granite is similar to any other granite and architects are not trained in characterizing the natural stones they choose for construction or restoration. This is why many buildings feature several different granitic materials in the construction of their bottom part (Figs. 7a and 7b). This might have been acceptable for the original constructions centuries ago, but currently should be avoided when restoration is to be implemented, not only for aesthetic reasons but also due to the differential degradation that the material may undergo with time (ICOMOS, 2008). However, the most important reason is that we now have a vast body of knowledge about the characterization of the different materials and their behaviour.

*Some of the granitic lithologies in Ciudad Rodrigo and Ledesma were not identified accurately. They could be granites from quarries that have disappeared or granite brought from Portugal, since they have similar characteristics to certain local ones. Intensive searches in the historic documentation might help to detect former quarries that could be used if restoration of these buildings had to be implemented (Pereira et al., 2013).*

*Los Santos granite is characterized by large sub-horizontally oriented crystals of potassium feldspar with quartz and plagioclase as the main mineral phases. Pinitized cordierite is the most characteristic accessory phase, together with muscovite, biotite and opaques. Secondary chlorite is found as alteration after biotite. The Martinamor granite is made of quartz, potassium feldspar and plagioclase as the main mineral phases, with aggregates of tourmaline, giving this granite specific visual characteristics (and indeed a local name because these aggregates look like "flying birds"). The Sorihuela granite is made of quartz, plagioclase and potassium feldspar as the major phases, with biotite, zircon, apatite and opaques as accessory minerals. Some chlorite is secondary after biotite. The vaugnerites from Ledesma are dark rocks whose main feature is the medium-large crystals of biotite against a granular matrix composed of quartz, plagioclase and feldspar. Under the microscope, flakes of biotite are mixed with amphibole, and apatite and opaques are also accessories. Some chlorite is found as a secondary phase after the biotite.*

*Of all these granitic rocks, the Los Santos granite is the type most used in the bottom ashlar of the historic buildings in question and shows the least deterioration, probably because in many buildings its use is more recent, deriving from restoration work after replacement of sandstone. Today, only Los Santos and Sorihuela granites are commercialized as Gris Los Santos and Gris Sorihuela, respectively. Hence the importance of documenting the other granites that were used for construction centuries ago and for which there are now no references regarding their characterization and quarrying, as is the case of other heritage stone resources (Nespereira et al., 2010)*

*It is important to see how different weathering processes affect all these lithologies (Figs. 7c, 7d, 7e). Some of them have been interpreted as due to the anisotropy of the rock but more specific research on this line should be done in the future in order to be able to recommend or not these materials for restoration actions.*

*Annex 1 contains a list of buildings studied in this work. A complete list of historic and contemporaneous constructions using granite rocks from the province of Salamanca can be found in Lopez Plaza et al. 2007a, 2007b and 2009.*

## Introducción

Los edificios históricos del centro de Salamanca, distinguido como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1988 (Pereira y Cooper, 2014a) presentan zócalos de diferentes características litológicas y diferentes estados de conservación en función de aquellas. Muchos de estos edificios fueron construidos utilizando Arenisca de Salamanca, en realidad un conglomerado con cemento silíceo que aumenta su capacidad de absorción de agua por capilaridad (Nespereira et al. 2010). Otros se disponen directamente sobre Arenisca de Villamayor, el material que constituye el resto de la edificación. En otras ocasiones, el edificio se asienta sobre granitos de diferente tipología y procedencia, casi siempre de zonas cercanas en la provincia (Fig. 1). Cuando el zócalo corresponde a arenisca, tanto la variedad conglomerática como la de Villamayor, este se encuentra muy alterado por la acción meteorológica y por la acción antrópica, pero sobre todo como consecuencia de los altos valores del coeficiente de absorción por capilaridad de estas rocas (Nespereira et al. 2010). Los zócalos graníticos presentan un mejor estado de conservación. Por ello en numerosos procesos de restauración

de los edificios históricos se ha utilizado granito en las intervenciones que optaron por el reemplazamiento de material. Sin embargo, los protocolos de actuación en las tareas de restauración del material no han tenido en cuenta las diferencias entre las tipologías graníticas encontradas, que pueden presentar no sólo aspectos externos distintos, lo que conlleva a un impacto visual negativo, sino también a características físicas y mecánicas diferentes al material utilizado originalmente. Es el caso de numerosos monumentos de Salamanca que utilizaron en su base el granito de nódulos de Martinamor o "Piedra Pajarilla" y que insistentemente era recomendado por arquitectos de la época, tanto para nueva construcción como para reparación de los edificios afectados por el trágico terremoto de Lisboa en 1755 (Rodríguez de Ceballos, 1978; Portal-Monge, 1988). Otros granitos utilizados son los de Sorihuela, Los Santos y la vaugnerita de Ledesma, que erróneamente se ha descrito como "piedra pajarilla" en algunos documentos históricos (Madoz y Sagasti, 1845). También se han observado otros granitos de difícil identificación visual que claramente fueron extraídos de canteras vecinas, pero no presentan suficiente información como para ser catalogados sin margen de error.



**Figura 1.** Localización de los principales tipos de rocas naturales utilizadas en la construcción de edificios históricos de la ciudad de Salamanca, Ciudad Rodrigo, Alba de Tormes y Ledesma. Círculos marrones para la arenisca de Salamanca; círculos naranjas para la arenisca de Villamayor; círculos rojos para granitos, incluyento vaugneritas. Modificado de Pereira y Cooper, 2014a.

**Figure 1.** Historical quarries around Salamanca. Brown for opal cemented conglomerate; orange for Villamayor sandstone, red for granite (including vaugnerite) and blue for slate. Modified from Pereira and Cooper, 2014a.

Dado que el centro de Salamanca está reconocido como Patrimonio de la Humanidad, es requisito indispensable para mantener esa figura la conservación de la apariencia de los edificios históricos y monumentos. Por tanto, es fundamental que se respete un protocolo en todas las tareas de protección, conservación y restauración (Pereira et al. 2015).

## Objetivos

Los objetivos de este trabajo son identificar en la medida de lo posible los diferentes granitos que se utilizaron en la construcción de los edificios históricos

del centro de Salamanca, Ciudad Rodrigo, Ledesma y Alba de Tormes, así como las patologías que los afectan.

Dichos objetivos permitirán por un lado la localización, caracterización y conservación de las canteras históricas de algunas de estas piedras naturales que no se comercializan como tales y que ya no se utilizan de manera sistemática en construcción, así como servir de ayuda a los profesionales de la arquitectura y la restauración en la selección de los materiales más apropiados en las acciones de restauración de edificios históricos (Baltuille et al. 2012; Pereira et al. 2013)

Por último, proponemos utilizar estos conocimientos para apoyar la candidatura de las distintas piedras

naturales estudiadas en este trabajo como Rocas Patrimonio (Global Heritage Stone Resource (Cooper, 2010; Pereira y Cooper, 2014a) y el conjunto de todas ellas como Global Heritage Stone Province (Pereira y Cooper, 2014b).

## Metodología

Ante las restricciones del estudio de la piedra natural en edificios históricos en cuanto a muestreo de material, el método básico de trabajo en el reconocimiento de los materiales ha sido la inspección visual para la identificación de los mismos así como de sus patologías. También se ha hecho uso de información bibliográfica procedente del catálogo y fondos documentales de la Universidad de Salamanca, Universidad Pontificia de Salamanca y del Archivo Diocesano de Salamanca. Para este trabajo se estudiaron un total de 62 edificios situados en los cascos históricos de Salamanca, Ledesma, Ciudad Rodrigo y Alba de Tormes. A partir del examen visual se han ido anotando las características identificativas del material pétreo. Se han realizado fotografías de todas las partes analizadas: zócalos, fachadas, elementos estructurales, etc... de manera que hemos podido trazar la cartografía de las patologías que ocasionalmente presentan dependiendo del tipo de granito. Tras una extensa recopilación bibliográfica alusiva a la construcción de los edificios históricos de Salamanca y su provincia accesible en los fondos citados, se elaboraron fichas de los diferentes tipos de material granítico identificados en cada uno de los zócalos.

Finalmente se proyectaron gráficos relativos a las alteraciones presentes en cada uno de ellos y su extensión basándonos en el glosario de alteraciones (ICOMOS, 2008) y la metodología de cartografía de patologías.

## Resultados

### *Las diferentes rocas graníticas*

Se han podido identificar en varios edificios las siguientes tipologías graníticas: el granito de Martinamor o Piedra Pajarilla (Pereira y Cooper, 2014a; Pereira *et al.* 2015), el granito de Los Santos y el granito de Sorihuela. También se han distinguido zócalos que utilizaron vaugneritas en su construcción y que incluimos en este trabajo por su catalogación como "granitoide" en algunos trabajos científicos y por su documentación errónea como Piedra Pajarilla,

según ya han descrito otros trabajos (Madoz y Sagasti, 1845; Pereira y Cooper, 2014a y referencias allí citadas). Otros granitos y granitoides observados no han sido posible de clasificar de manera definitiva aunque documentalmente se han citado granitos de Vitigudino y de Villavieja para realizar enlosados y diversas partes estructurales de edificios históricos. A continuación hacemos una descripción de los materiales descritos a efectos de su reconocimiento como piedra natural en el patrimonio arquitectónico. Una exhaustiva documentación histórica de los períodos de extracción, edificios emblemáticos que los utilizan en su construcción y la relación de estas rocas con los más famosos arquitectos de la época puede encontrarse en del Arco (2010).

### *El granito de Martinamor (Fig. 2)*

Juan de Álava es el impulsor del uso de este granito, cuyo inicio de extracción está documentado hacia principios del siglo XVI. Forma parte de zócalos y estructuras de los monumentos más importantes de la época. En el siglo XVIII también se usa para enlosar plazas, calles y claustros. En los siglos XIX y XX el granito de Martinamor se utiliza también en la construcción de edificios más funcionales.

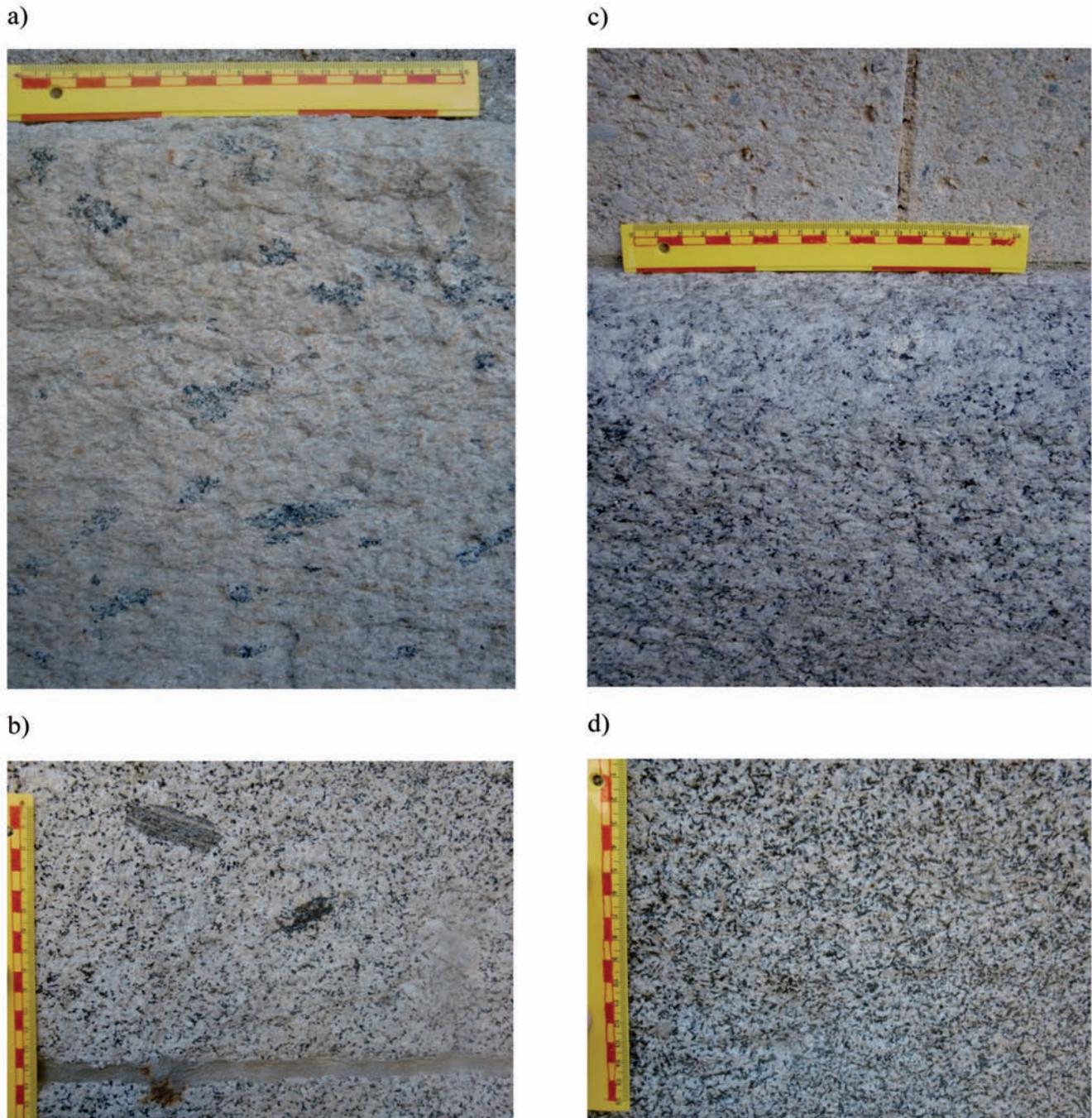
El granito de Martinamor es un material de color crema claro que puede presentar grano grueso o fino en diferentes facies; su característica fundamental es que contiene agregados de turmalina de forma alargada y que pueden aparecer aislados o formando acumulaciones en diferentes partes de la roca.

Las características físicas y mecánicas están proyectadas en la Tabla 1, aunque actualmente se están realizando estudios de bloques con orientaciones distintas, dada la anisotropía que presenta esta roca y la distinta evolución que se ha observado en los edificios históricos (Pereira *et al.*, 2015)

### *El granito de Los Santos (Fig. 2)*

Este granito comienza a utilizarse a comienzos del siglo XVI. Actualmente es el material granítico que se utiliza con preferencia para nueva construcción y restauración, con los errores que ello conlleva en cuanto a efectos estéticos (Fig. 3).

El granito de Los Santos se corresponde petrográfica y geoquímicamente a una granodiorita. Es de color gris claro donde se pueden apreciar a simple vista los cristales de cuarzo y feldespato junto con los cristales de menor tamaño de biotita. Los cristales de feldespato le dan el carácter porfídico ("dientes de



**Figura 2.** Aspecto mesoscópico de las rocas graníticas del estudio: a) Granito de Martinamor, b) Granito de Los Santos, c) Granito de Sorihuela (por debajo de Arenisca de Salamanca) y d) Vaugnerita de Ledesma. En ocasiones, las cuatro litologías aparecen mezcladas en los zócalos de los edificios históricos, con el contraste estético y estructural que ello puede suponer.

**Figure 2.** Mesoscopic aspect of the studied granite rocks: a) Martinamor granite, b) Los Santos granite, c) Sorihuela granite (underneath Salamanca sandstone) and d) the vaugnerite from Ledesma. Occasionally, all the lithologies are mixed in the same bottom ashlar of a building, with the consequent aesthetic and structural contrast.

caballo" en terminología local) y presenta unas imperfecciones en modo de acumulaciones microcristalinas ("gabarros" en terminología local). Otros componentes minerales son el cuarzo, la plagioclasa,

la moscovita y la biotita (en proporciones de 2.1 % y 15% respectivamente). Como accesorios presenta cordierita pinitizada, circón y apatito.

Un extracto de las características físicas y mecáni-

Parámetro	Granito de Martinamor		Granito de Los Santos	Granito de Sorihuela	Vaugnerita de Ledesma
	Pereira <i>et al.</i> 2015	López Plaza <i>et al.</i> 2007a	García de los Ríos y Báez Mezquita, 2001	EXCAL, 2007	López Plaza <i>et al.</i> 2009
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	2.59	2.65	2.66	2.67	2.75
Porosidad Total (%)	2.4	0.78	0.78	0.70	1.51
Absorción (%)	0.90	0.29	0.30	n.d	n.d
Compresión (MPa)	161	n.d.	135	186	n.d

**Tabla 1.** Extracto de características físicas y mecánicas de las rocas estudiadas. Obsérvese la discrepancia de valores para los parámetros estudiados por los distintos autores en el caso del granito de Martinamor (ver texto).

**Table 1.** Summary of the physical and mechanical characteristics for the studied rocks. Notice the discrepancy of values by the various authors for the case of the Martinamor granite (see text).

cas están recogidas en la tabla 1 y su caracterización geoquímica puede encontrarse en (López Plaza *et al.* 2009).

### El granito de Sorihuela (Fig. 2)

La presencia de esta roca en edificios históricos de la ciudad de Salamanca está documentada desde finales del siglo XIX y principios del siglo XX hasta la actualidad gracias a la labor de varias generaciones de canteros que trabajan este granito extrayéndolo de canteras familiares próximas a la localidad de Sorihuela. Su finalidad arquitectónica se corresponde a menudo con la definida para el granito de Los Santos debido a la similitud tanto en el aspecto como en las propiedades de ambas rocas.

El granito de Sorihuela presenta un color gris claro ligeramente azulado que lo diferencia vagamente del granito de Los Santos junto con su tamaño de grano medio homogéneo. Presenta las mismas imperfecciones que se pueden encontrar en la roca de Los Santos como son los gabarros y su mineralogía principal está compuesta por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita. Los minerales accesorios más comunes en esta roca son apatito, circón y minerales opacos y como minerales secundarios presenta sericita, moscovita y clorita. Las propiedades físicas y mecánicas del granito de Sorihuela se muestran en la tabla 1.

### Las vaugneritas de Ledesma (Fig. 2)

Esta piedra natural se explotaba en las canteras de Calzadilla del Campo, localidad muy cercana a Ledesma (Fig. 1). Se encuentra documentada también



**Figura 3.** Contraste estético y posiblemente estructural entre el granito Los Santos y el granito de Martinamor. El primero sustituye a una pieza deteriorada del segundo en la mitad de una escalera que da acceso a la terraza de la Casa Lis, museo Art Decó en Salamanca.

**Figure 3.** Aesthetic and possibly structural contrast between the Los Santos granite and the Martinamor granite. The first substitutes a deteriorated piece of the latter in the middle of a stairway giving access to the terrace of Casa Lis, Art Decó museum in Salamanca.

como Piedra Pajarilla (Madoz y Sagasti, 1845), por lo que de nuevo nos vamos a encontrar ejemplos de mal uso en restauración antigua de patrimonio arquitectónico (Pereira *et al.*, 2015), sobre todo derivados del color notablemente más oscuro de esta roca, comparado con los otros granitos. Actualmente las vaugneritas solo se utilizan en construcción y restauración del centro histórico de Ledesma.

Las vaugneritas tienen tamaño de grano medio-grueso, con cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico

como minerales esenciales y biotita y anfíbol como accesorios principales junto con apatito. Su característica fundamental es la textura (vaugnerítica) que consiste en placas grandes de biotita, en contraste con otras vaugneritas que fueron extraídas de otras zonas de la provincia (del Arco, 2010)

Las características completas de estas rocas están descritas en (López Plaza *et al.* 2007b) con un extracto de las físico-mecánicas en la tabla 1.

### **Usos de las rocas graníticas en las edificaciones estudiadas**

Los edificios utilizados para el estudio en este trabajo están distribuidos de la siguiente manera: 35 en Salamanca, 11 en Ledesma, 10 en Ciudad Rodrigo y 6 en Alba de Tormes (Tabla 2). El mayor número de edificios fueron construidos entre los siglos XV y XIX y corresponden a construcciones eclesiásticas y nobiliarias. Una parte importante de las observaciones corresponde también a construcciones relacionadas con la Universidad de Salamanca a lo largo de su historia.

La abundancia de los distintos tipos graníticos identificados está proyectada en la figura 4a. Los más comunes son el granito de Los Santos y el granito de Martinamor, encontrándolos sobre todo en los zócalos de los edificios del centro histórico de Salamanca. Las vaugneritas aparecen como parte del material utilizado en algunos de los edificios de esta misma zona de Salamanca, pero su mayor abundancia está presente en la localidad de Ledesma, lo cual es explicable por la cercanía de las canteras de extracción de este material (Fig. 1). El granito de Sorihuela aparece en algunos edificios aislados en Salamanca. Dado que en algunos casos no hemos podido identificar claramente la procedencia del material granítico, incluimos su presencia como "material sin identificar" en la figura 4a. Son rocas que aparecen alternando con la vaugneritas en algunos edificios de Ledesma y Ciudad Rodrigo, por lo que es fácil pensar que se trata de granitos locales, de extracciones puntuales en las cercanías, bien de la provincia de Zamora o de Portugal.

Aunque era práctica general utilizar un único tipo de granito en los zócalos de los edificios, en ocasiones se presenta una diversidad de materiales formando parte de ellos (Fig. 4b). Probablemente esto se deba al desconocimiento de las diferentes tipologías. De hecho, encontramos con frecuencia documentación histórica en la que se refieren a Piedra Pajarilla como material de construcción de los edificios, cuando comprobamos que la piedra natural uti-

lizada se corresponde con otra litología, con frecuencia vaugneritas o el mismo granito de Los Santos. Esta confusión es frecuente en otras partes de nuestra geografía por la costumbre de denominar con nombres locales a la roca de construcción. Del mismo modo que en la provincia de Salamanca se llegó a denominar Piedra Pajarilla (Pereira y Cooper, 2014a; Pereira *et al.*, 2015) a todos los granitos o granitoides, en la provincia de Ávila y en algunas partes de Extremadura encontramos múltiples referencias a la denominación local de "piedra berroqueña" para hacer referencia a cualquier tipo de roca granítica (Madoz y Sagasti, 1845).

En cuanto a homogeneidad de material en la construcción de edificaciones, Ledesma es la localidad que presenta mayor porcentaje de zócalos construidos con un sólo material. Esto es fácilmente comprensible por la cercanía de las canteras de vaugneritas. En Salamanca esta homogeneidad es más escasa y el porcentaje de zócalos compuestos por un único tipo granítico es 28.57%, similar al porcentaje de los formados por 2 o 3 materiales (Fig. 4b).

### **Identificación de patologías**

La identificación de patologías en edificios históricos es fundamental para evitar el uso de esos materiales con tendencia a alterarse en acciones de restauración. La Figura 4c muestra los tipos de alteraciones observadas frente al porcentaje de edificios que los presentan en cada localidad. Las principales patologías que los afectan corresponden a fenómenos provocados por decoloración y depósito, así como por desprendimiento del material. Estas alteraciones aparecen entre 90% y el 100% de los edificios de cada localidad. La cromatización o *colouration* es responsable de los cambios de color de los diferentes tipos de roca debido a cambios de temperatura y climatología. Se trata de una alteración superficial relacionada con un proceso de envejecimiento natural de la roca que afecta esencialmente al aspecto exterior de la roca sin provocar modificaciones importantes en el interior de la misma. El *scaling* que aparece afectando a los edificios del estudio consiste en una alteración por disyunción que implica la separación de placas de espesor milimétrico u "hojas de exfoliación" paralelas a la superficie de la roca y, en principio, independientes de la estructura de la misma. La escala a la que se produce el *scaling* no es comparable con la superficie total de la roca y es más intenso en zonas donde se ha producido un cambio cromático importante o por la existencia de un alto grado de humedad afectando a la roca.

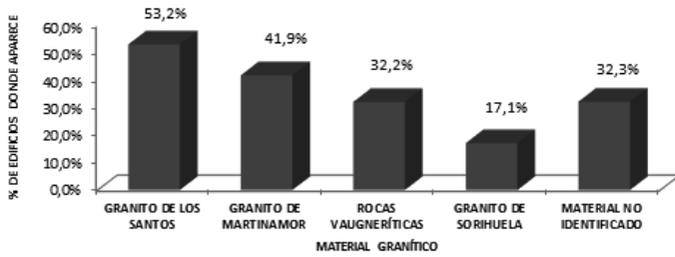
SALAMANCA		LEDESMA	
EDIFICIO	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	EDIFICIO	FECHA DE CONSTRUCCIÓN
Archivo de la Guerra Civil	1720	Ayuntamiento	s. XV
Capilla de la Santa Vera Cruz	Siglos XVI y XVIII	Casa de Francisco Jiménez	s. XVIII
Capilla de la V.O.T. de San Francisco	Siglos XIV y XVIII	Casa de las Almenas	s. XVI
Casa de Doña María la Brava	s. XV	Casa de San Nicolás	s. XVIII
Casa de las Conchas	1493	Casa del escribano y del procurador	s. XVIII
Casa de Sta. Teresa – Juan de Ovalle	s. XV	Edifº. restaurado, calle Corrales, nº 4	s. XX (restaurado)
Casa del regidor Ovalle Prieto y Unamuno	s. XVIII	Edifº. restaurado, calle San Pedro, s/nº	s. XX (restaurado)
Casa Museo de Unamuno	1758-1761	Hospital de San José	1722
Catedral nueva	1513-1733	Iglesia de San Miguel	s. XIII
Claustro de Las Dueñas	1419-1560	Iglesia de Santa María	Siglos XII y XVI
Colegio de Anaya	1760-1762	Palacio de Don Beltrán	s. XVIII
Colegio de Calatrava	1717	<b>CIUDAD RODRIGO</b>	
Colegio Fonseca	1525	EDIFICIO	FECHA DE CONSTRUCCIÓN
Convento de la Madre de Dios	1609	Casa de la Marquesa de Cartago	s. XIX
Palacio de Montellano	1479	Casa de los Miranda	s. XIX (reconstrucción)
Convento de San Esteban	1524	Casa de los Miranda Ocampo	s. XIX (reconstrucción)
Convento del Corpus	1544	Casa del Marqués de Cerralbo	1533-1540
Edificio histórico de la Universidad	1529-1879	Casa del tesorero Rodríguez de Céspedes	s. XVII
Facultad de Traducción y Documentación	Renacentista, reedificado en 1948	Casa Municipal de Cultura	s. XVII
Iglesia de la Purísima	1636-1687	Catedral	s. XIII
Iglesia de San Juan Bautista	1150	Cuartel de Artillería	s. XVIII
Iglesia de San Juan de Sahagún	1891-1896	Iglesia del cardenal Pacheco	1685
Iglesia de Sancti Spiritu	1541-1544	Iglesia de San Agustín y Colegio de Santa Teresa	1588
Palacio de Anaya o de Orellana	s. XVI	<b>ALBA DE TORMES</b>	
Palacio de Figueroa	1545	EDIFICIO	FECHA DE CONSTRUCCIÓN
Palacio de Garcigrande	s. XVI	Ayuntamiento	s. XX
Palacio de la Salina	1538	Basílica de Santa Teresa	1889-1912 (inacabada)
Palacio de Monterrey	1539	Iglesia de las Madres Benedictinas	1570
Palacio Episcopal	1886-1889	Iglesia de la Asunción	s. XVI
Parroquia de Ntrª. Srª. del Carmen	1690-1703	Iglesia de San Juan de la Cruz	1692-1695
Parroquia de San Martín	Siglos XII, XVI y XVII	Iglesia de San Pedro	1577
Parroquia de Santo Tomás Cantuariense	1175		
Plaza Mayor	1729-1755		
Rectorado y Patio de Escuelas	1609		
Universidad Pontifica	1745-1762		

**Tabla 2.** Edificios que forman parte del estudio en las diferentes ciudades y fecha aproximada de construcción y/o restauración.  
**Table 2.** Buildings that have been used in the study and date of their construction or restoration.

La colonización biológica aparece también en un 60% de los edificios observados, con la excepción de Salamanca donde únicamente se ha observado que afecte de manera importante a dos edificios, la cate-

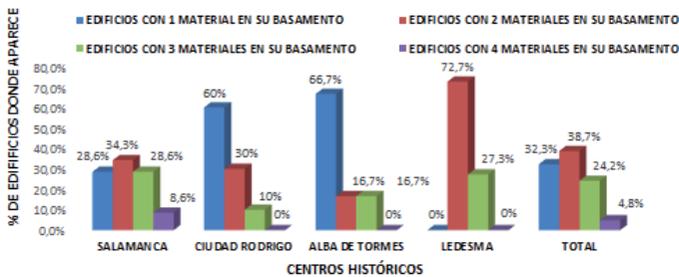
dral nueva y la parroquia de San Martín, donde dichas alteraciones aparecen en las fachadas con orientación norte.

Además de las alteraciones generalizadas en los



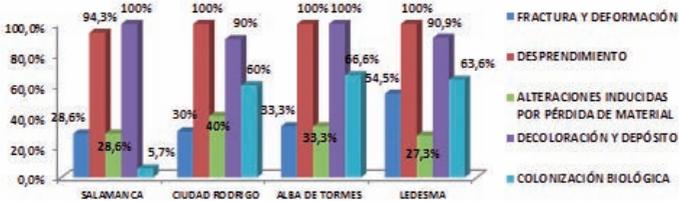
**Figura 4a.** Presencia de materiales graníticos en los edificios históricos estudiados en Salamanca y provincia.

**Figure 4a.** Granitic materials in the studied historic buildings in Salamanca city and province.



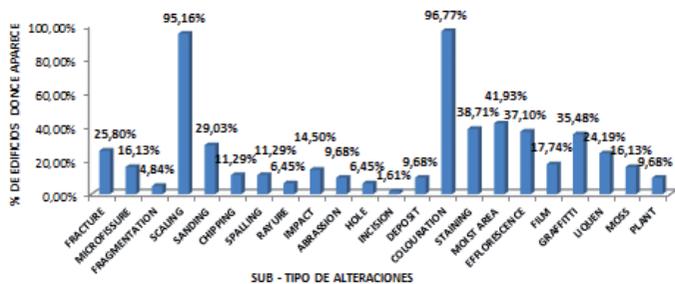
**Figura 4b.** Diversidad de materiales en los zócalos del estudio.

**Figure 4b.** Diversity of materials in the bottom ashlar of studied buildings.



**Figura 4c.** Porcentaje del tipo de alteraciones que afectan a los edificios históricos estudiados.

**Figure 4c.** Weathering affecting the studied buildings. The graphic shows the percentage of the affecting process.



**Figura 4d.** Subtipos de alteraciones (ICOMOS, 2008) en los zócalos de los edificios estudiados.

**Figure 4d.** Weathering subtypes (ICOMOS, 2008) affecting the studied buildings.

edificios estudiados, se ha observado la presencia de sub-tipos dentro de éstas (Fig. 4d). Queda en evidencia que los daños de mayor importancia en los edificios son los producidos por los sub-tipos de alteración *scaling* y *colouration* (ICOMOS, 2008) que afectan aproximadamente al 96% de los edificios.

## Discusión

La piedra natural utilizada con mayor frecuencia en los zócalos de los edificios históricos de Salamanca y su provincia es de naturaleza granítica. El transporte de granitos hasta Salamanca en la época de construcción de estos edificios implicaba un gran esfuerzo, por lo que suponemos que los arquitectos de la época ya sabían las ventajas de uso de este material. La piedra fue acarreada desde Martinamor, Calzadilla del Campo y Los Santos principalmente, aunque otras canteras de menor importancia también han sido documentadas: Villavieja, La Magdalena y Linares (del Arco, 2010)). Tanto originalmente como en sucesivos procesos de restauración se utilizaron con preferencia el granito de Los Santos y el granito de Martinamor, sobre todo en los edificios de los cascos históricos de Salamanca y Alba de Tormes (López Plaza *et al.* 2007a, 2007b). En esta última localidad, cuatro de los seis de los edificios históricos investigados están contruidos completamente con granito de Martinamor, mientras que en Salamanca el granito de Los Santos predomina sobre aquel. Ambos materiales han sido utilizados en la historia arquitectónica de Salamanca desde el siglo XVI al siglo XX por ser las rocas graníticas más accesibles a las localidades del estudio, en función de las condiciones de transporte del momento (Pereira y Cooper, 2013). Las rocas vaugneríticas aparecen de forma esporádica en edificios de Salamanca y profusamente en los de Ledesma (López Plaza *et al.* 2007b). El granito de Sorihuela lo encontramos en recientes obras de mantenimiento o restauración en varios edificios del casco histórico de Salamanca en cuyo zócalo no aparece colocado originariamente. Según los canteros que trabajan actualmente el granito de Sorihuela, hay constancia de que se utilizaba este material en la restauración de edificios históricos en Salamanca hasta finales del siglo XIX y principios del siglo pasado (comunicación personal de los canteros).

Ledesma y Alba de Tormes construyen prácticamente todos los zócalos de sus edificios históricos con un mismo material (vaugneritas y granito de Martinamor respectivamente). El desconocimiento de la piedra granítica utilizada como material de construcción hace que solo una tercera parte de los edifi-

cios históricos de la provincia de Salamanca presente un zócalo granítico formado por un sólo material. Debido a la mezcla de materiales en una sola construcción, el centro histórico de Salamanca se convierte en un caso de estudio del patrimonio arquitectónico que refleja el uso de los diferentes materiales de la provincia a lo largo de la historia y en función de la evolución de las infraestructuras viarias y métodos de transporte. Algunos edificios de interés histórico-arquitectónico son verdaderos mosaicos de diferentes materiales que no sólo rompen la estética de ese patrimonio sino que en ocasiones ponen en peligro la integridad estructural del zócalo debido al posible desgaste diferencial de los elementos constructivos (Esbert Alemany, 2007). También las alteraciones (Fig. 4e) afectan preferentemente a algunas de las diferentes litologías.

Algunos zócalos graníticos de Ciudad Rodrigo y Ledesma no se han podido identificar. Posiblemente procedan de canteras cercanas que han sido colmatadas o desaparecidas por integración en los núcleos urbanos. Sería precisa una búsqueda más exhaustiva en los archivos de esas ciudades para ubicar las canteras históricas que se utilizaron en el abastecimiento de roca de construcción en las épocas correspondientes. De este modo, si fuese posible, se propondría la utilización de dicho material en caso de necesidad de aplicar acciones de reemplazamiento para restauración de los edificios históricos afectados (Pereira et al. 2013).

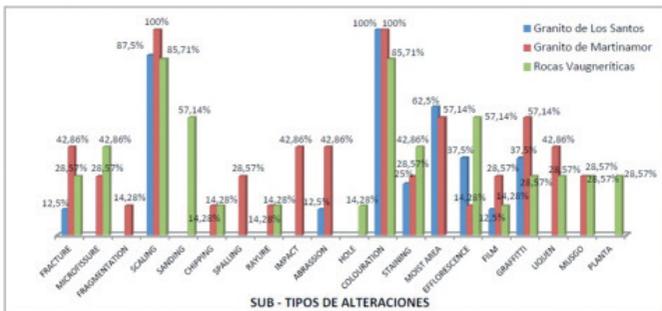
El granito de Los Santos ha demostrado ser el material más resistente y duradero ya que además de ser el granito que aparece con más frecuencia en los zócalos de los edificios históricos es el material que presenta menor variedad de subtipos de alteraciones.

Todas las rocas graníticas estudiadas en este trabajo tienen una densidad real similar (Tabla 1) con valores de porosidad comparables excepto para el caso de las vaugneritas (1.51%). El granito de Martinamor es el que presenta menor alteración por *sanding* aunque es el material que presenta mayor porcentaje de alteraciones por *spalling* y *abrasion* (ICOMOS, 2008). Quizás esta afectación es más acentuada en bloques con mayor anisotropía, lo que queda pendiente de confirmar en estudios futuros.

Las vaugneríticas de Ledesma están frecuentemente afectadas por *sanding*, igual que sucede en areniscas. Dicho efecto fue observado en la mitad de los edificios estudiados y no es aparente en los zócalos constituidos por los otros materiales. Es posible que esta alteración se relacione con el mayor porcentaje de porosidad que presenta esta roca frente a los otros granitos, aunque curiosamente los zócalos construidos únicamente por vaugneritas son los que presentan afectación por *moist area* (ICOMOS, 2008).

El hecho de que todas las rocas investigadas solo presenten daños que podríamos valorar en su mayoría como "leves" tras siglos transcurridos desde su colocación demuestra lo acertado de la decisión de emplear estos materiales en los zócalos en sustitución de la arenisca de Salamanca una vez que quedaron exhaustas las canteras de este material en los alrededores de la ciudad de Salamanca. El uso de estos materiales en restauración podría suponer un impulso a la sostenibilidad no solo de la conservación del patrimonio arquitectónico de la provincia de Salamanca sino también a la muy afectada industria de la roca ornamental de la zona de estudio. No obstante, se recomienda un estudio pormenorizado de las características físico-mecánicas completas de todo el conjunto de rocas, puesto que algunas de ellas carecen de datos importantes (i.e. vaugneritas) y otras han dado valores controvertidos con respecto a algunos parámetros, dependiendo de los autores (i.e. valores de absorción para el granito de Martinamor) que no cumplirían con los valores recomendados para su uso como material de construcción (ASTM, 2011)

La identificación y el registro de patologías realizadas en este trabajo debería ser ampliado y desarrollado en futuras investigaciones con la aplicación de nuevas técnicas de clasificación multispectral de imágenes digitales multibanda (Lerma, 1999). Estas técnicas permiten cartografiar planos de fachada de edificios o de cualquier monumento arquitectónico de manera automática, así como identificar los materiales constructivos y las patologías asociadas a ellos, simplificando y enriqueciendo de esta manera la labores que se vienen realizando hasta la fecha en el



**Figura 4e.** Presencia de subtipos de alteraciones sobre los principales materiales graníticos observados en los edificios históricos de Salamanca y provincia en función del porcentaje de edificios donde aparecen.

**Figure 4e.** Presence of weathering sub-types depending on the granitic material, showing the percentage of affected buildings.

campo de la restauración y conservación del patrimonio arquitectónico.

## Conclusiones

El estado de conservación de los zócalos graníticos en los edificios históricos de Salamanca muestra que el uso de esa litología en la construcción inicial o restauración subsiguiente de otros materiales más propensos al deterioro ha derivado en un mejor mantenimiento general de los mismos. Los diferentes tipos de materiales se han descrito en este trabajo con el fin de que los profesionales de la arquitectura y restauración arquitectónica tengan información sobre la adecuación del material a utilizar llegado el caso y además con la intención de que se puedan nominar como rocas patrimonio (GHSR) en el caso de que cumplan con los requisitos que dicha figura exige para tal reconocimiento (Cooper, 2010). Del mismo modo, la presentación del grupo de los distintos granitos, junto con otras piedras naturales utilizadas en la construcción de los edificios históricos (arenisca de Villamayor, arenisca de Salamanca, pizarra de Mozárbez, etc...) puede llevar al reconocimiento de la provincia de Salamanca como Global Heritage Stone Province (GHSP, Pereira y Cooper, 2014b). El reconocimiento de los granitos de la provincia de Salamanca como roca patrimonio establece un valor añadido al sector de la construcción y de la restauración. Así mismo, se promueve la localización y conservación de canteras históricas que han dejado de tener actividad minera, pero que por motivos estratégicos (único material utilizado en edificios históricos emblemáticos) pueden ser necesarios en una tarea de restauración futura que implique el reemplazamiento de bloques (Baltuille et al., 2012). La correcta identificación del material utilizado originalmente en la construcción de edificios históricos evita que se utilicen materiales que, aun agrupándose dentro de la misma litología, tienen características distintas en cuanto a su aspecto externo y su evolución con el paso del tiempo. El uso de la piedra natural apropiada conserva los efectos estéticos que en el caso de las ciudades y sitios reconocidos como patrimonio de la humanidad por la UNESCO deben ser mantenidos para conservar esa figura destacada.

## Agradecimientos

C.G. agradece la financiación a través de una beca de la Fundación del Patrimonio Histórico de Castilla y León y Cabero Edificaciones. S.A; Manuel Mateo, de

Granitos Mateo y Álvaro y Raúl García Mateos, de Granitos Sorihuela, explicaron el uso histórico de estos granitos a los autores. D.P. y J.M.B. son miembros de la red nacional CONSTRUROCK y del grupo de trabajo de la IUGS International Commission for Geoheritage. Ambos agradecen el apoyo prestado por ambas redes de trabajo para la difusión de la piedra natural como patrimonio.

## Referencias

- ASTM International 2011. Standard Specification for Granite Dimension Stone. C615/C615M.
- Cooper, B.J. 2010. Toward establishing a 'Global Heritage Stone Resource' designation. *Episodes*, 33, 38-41.
- Baltuille, J.M., Gisbert, J., Pereira, D., Sebastián, E., Mota, M<sup>a</sup>.I., Gómez Gras, D., Taboada, J., García de los Ríos, J.I., Franco, A. y Fort, R. 2012. CONSTRUROCK. A network at the service of Natural Stone and the Architectonic Heritage. *Proceedings from the Global Stone International Congress, Borba 2012*.
- del Arco, A. 2010. *Canteras y Canteros en la Provincia de Salamanca. Siglos XVI-XXI*. Tesis de Licenciatura inédita. Biblioteca de la Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Salamanca.
- Esbert Alemany, R.M. 2007. Alteración de rocas graníticas utilizadas en edificación, *Materiales de Construcción*, 57, 77 – 89.
- EXCAL, 2007. Catálogo de Exportaciones de Castilla y León. Natural Stone Castilla y León. Spain, Ed. Junta de Castilla y León, 207 pp.
- García de los Ríos, J.I. y Báez Mezquita, J.M. 2001. *La Piedra en Castilla y León*, Ed. Junta de Castilla y León, 345 pp.
- ICOMOS, 2008. Internacional scientific comitee for stone: Illustrated glossary on stone deterioration patterns, 78 pp.
- Lerma, J.L. 1999. Metodología de clasificación multiespectral para el reconocimiento y caracterización de material y patologías en fachadas arquitectónicas. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral.
- 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. 2007a. La utilización del granito turmalinífero de Martinamor en los monumentos de Salamanca y Alba de Tormes, *Studia Geologica Salmantica*, 43-2, 247-280.
- 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. 2007b. La utilización de rocas vaugneríticas en los monumentos de Salamanca, *Studia Geologica Salmantica* 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", *Studia Geologica Salmantica*, 45-1, 7-40.
- Madoz, P. y Sagasti, L. 1845. Diccionario geográfico-estadís-

- tico-histórico de España y sus posesiones de ultramar, p. 11.668, Est. Literario-Tipográfico de P. Madoz y L. Sagasti.
- Nespereira, J., Blanco, J.A., Yenes, M. y Pereira, D. 2010. Opal cementation in tertiary sandstones used as ornamental stones, *Engineering Geology*, 115, 167-174.
- Pereira, D. y Cooper, B. 2014a. Building stone as a part of a World Heritage site: "Piedra Pajarilla" Granite and the city of Salamanca, En: Cassar, J. et al. (eds), *Stone in Historic Buildings: Characterization and Performance*, Geological Society Special Publications, 391, <http://dx.doi.org/10.1144/SP391.3>
- Pereira, D. y Cooper, B. 2014b. A "Global Heritage Stone Province" in association with the UNESCO World Heritage City of Salamanca, Spain. *Proceedings from the IAEG international congress, Torino 2014*.
- Pereira, D., Baltuille, J.M., Cooper, B. 2013. Documenting the architectonic heritage: the best way of preserving it. En: Candelera, R., Lazzari, M y Cano, E. (eds) *Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage*. Taylor and Francis Group, London, 411-414.
- Pereira, D., Gimeno, A. y del Barrio, S. 2015. Piedra Pajarilla: a candidacy as a Global Heritage Stone Resource for Martinamor granite. En: Pereira, D. et al. (eds), *Towards International Recognition of Building and Ornamental Stones*, Geological Society Special Publication.
- Portal-Monge, Y. 1988. *La torre de las campanas de la catedral de Salamanca*. Universidad de Salamanca, 198 pp.
- Rodríguez de Ceballos, A. 1978. La torre de la catedral nueva de Salamanca, *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología*, 44, 245-256.

Recibido: diciembre 2015

Revisado: febrero 2016

Aceptado: abril 2016

Publicado: junio 2017

