

## Materiales pétreos de los muros de fábrica del Hospital de las Cinco Llagas (Sevilla): procedencia y alteraciones

Jesús Espinosa Gaitán

*Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (Junta de Andalucía, Sevilla)*

Rosario Villegas Sánchez

*Departamento de Ingeniería Química y Ambiental (Universidad de Sevilla)*

RESUMEN. En este trabajo se recogen los estudios realizados sobre la piedra de fábrica original del conjunto Monumental del Hospital de las Cinco Llagas, la denominada piedra del Puerto de Santa María (calcarenitas bioclásticas). El estudio comprende los análisis realizados con muestras del edificio, comparándolas con muestras de cantera, y de otros edificios construidos con el mismo litotipo. Se concluye que existen diferentes variedades de este tipo de piedra y cuáles son los principales factores intrínsecos influyentes en la susceptibilidad a su alteración. Por otro lado, en el edificio se han realizado reposiciones de la piedra original en diferentes intervenciones a lo largo de la historia. Estos tipos de piedra se han estudiado para establecer su procedencia y causas de su alteración, ya que son numerosos los casos en el que el estado de conservación de estos materiales pétreos es bastante peor que el de la piedra original. Asimismo se han estudiado algunos de los productos de alteración que aparecen en las superficies de los materiales pétreos.

*Palabras Clave.* Piedra del Puerto. Piedra reposición. Productos de alteración. Canteras.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo forma parte de una serie de estudios realizados por el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH) por encargo del Parlamento Andaluz y la Cámara de Cuentas de Andalucía para el desarrollo del Plan Director y de Mantenimiento del Conjunto Monumental del Hospital de las Cinco Llagas.

En este estudio se recoge parte de los estudios realizados, concretamente los centrados en la caracterización de los materiales pétreos de los muros de fábrica (originales y de reposición) del Conjunto Monumental del Hospital de las Cinco Llagas que permitan conocer su procedencia, las propiedades incidentes en su alteración (factores intrínsecos), así como el estado de conservación en el que se encuentran.

### *Localización y breve reseña histórico-constructiva*

El antiguo Hospital de las Cinco Llagas o de la Sangre se levantó en el extremo norte de la ciudad de Sevilla (inicio en 1502), fuera del entorno amurallado de la ciudad, frente a la puerta y murallas de la Macarena, emplazándose simétricamente respecto a un eje principal que mira al casco antiguo. El edificio aloja desde 1992 la sede del Parlamento de Andalucía y la Cámara de Cuentas, aunque el uso para el que se construyó fue el de hospital desde los inicios de su construcción hasta su clausura en 1972.

Arquitectónicamente la visión exterior muestra una edificación de dos pisos de gran altura, de fábrica pétreo, modulada por pilastras y semicolumnas, y una base orientada según los puntos cardinales, en cuyos vértices se edificarían cuatro torres que marcarían el comienzo y final del conjunto. Estas fachadas exteriores definen un espacio interior de planta rectangular que incluía 10 patios y una Iglesia central construida como Capilla del Hospital. Estilísticamente el edificio se podría decir que está a caballo entre el gótico tardío y un renacimiento incipiente, mientras que su iglesia, construida varias décadas después, se levanta con un lenguaje plenamente renacentista.

Los estudios históricos señalan que las calcarenitas de los muros de fábrica procedan muy probablemente de la vertiente sur del cerro de San Cristóbal en el Puerto de Santa María (Cádiz), ya que en este momento se estaba extrayendo piedra para la construcción de la Catedral de Sevilla de esta zona. También se menciona el uso de piedra de Jerez de la Frontera.

No existen datos bien documentados sobre intervenciones anteriores al S.XX (salvo intervenciones puntuales) en las fachadas, aunque sin duda, la intervención más significativa en el edificio fue

la realizada entre 1988-1992 para su adecuación como sede del Parlamento de Andalucía, y tuvo como objeto consolidar íntegramente las construcciones antiguas, donde además de las pertinentes adecuaciones de los espacios interiores, se intervino sobre las fachadas exteriores y sobre la Iglesia, con limpieza de sillares de piedra, consolidación e hidrofugación, así como ciertas reposiciones de piedra caliza blanca observada en las bancadas de la Fachada Sur, además de otras importantes intervenciones arquitectónicas de reacondicionamiento.

En dicha intervención también se aplicaron una variedad de morteros de restauración encontrados en la globalidad del conjunto, tanto para reposición de volúmenes de piedra como en llagueados de fábrica pétreo, y que han sido los causantes de gran parte de las alteraciones posteriores de los muros de fábrica, dada su incompatibilidad.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### *Inspección visual y toma de muestras*

Para el estudio de los materiales pétreos de fábrica se realizó una inspección visual detallada, combinándola con la toma de muestras necesarias para determinar la naturaleza de los diferentes materiales pétreos de fábrica. Dada la envergadura de los edificios fueron necesarias varias campañas de inspección visual y de toma de muestras.

En total se extrajeron 70 muestras correspondientes a los diferentes *litotipos* presentes, tanto de los originales, en sus distintas variedades y estado de conservación, como otros que se suponen de reposiciones antiguas. También se extrajeron muestras de diferentes *productos de alteración* presentes en diferentes ubicaciones de los edificios en estudio (costras negras, sales solubles, pátinas, etc.).

La inspección comenzó en la *Iglesia*, de la cual se extrajeron 27 muestras tanto de las cubiertas (fundamentalmente de la espadaña y pináculos, como de todas las fachadas de la Iglesia, de las cuales algunas se tomaron en altura con ayuda de una cesta elevadora (Fig. 1). Durante la inspección se observa que todos los materiales pétreos de fábrica en la iglesia, por su apariencia, pertenecen a distintas variedades de la conocida como "*Piedra del Puerto*", (Puerto de Sta. María, Cádiz) de gran profusión en construcciones históricas de Sevilla y Cádiz. Estos materiales aparecen en distintos estados de conservación, observándose que los materiales de granulometría más gruesa, por lo general menos cementados, aparecen en estados de alteración más avanzados, con importantes pérdidas de cemento calcáreo, disgregación, arenización, desprendimientos de fragmentos, alveolización, etc., frente a las variedades de granulometría más fina por lo general mejor cementadas y que se conservan mejor.

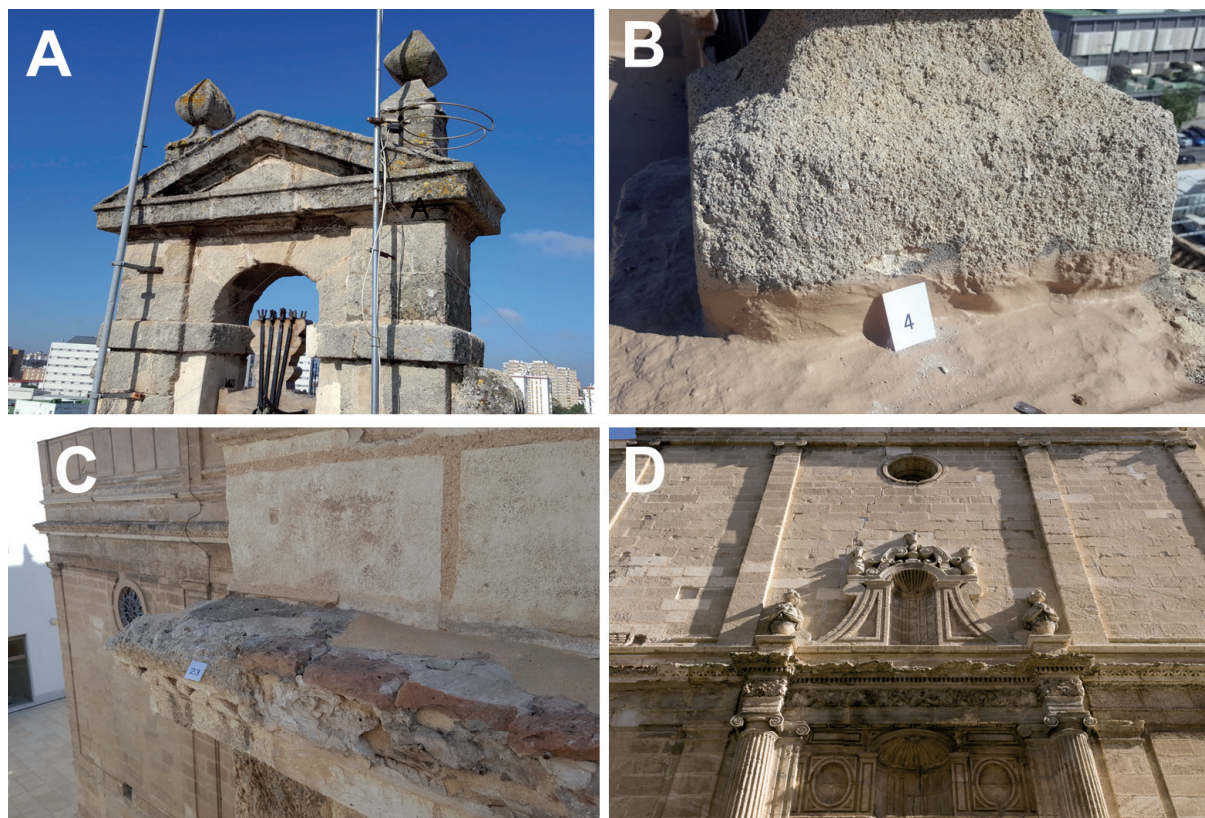


Figura 1. Observación visual de la piedra del Puerto de distintas zonas de la Iglesia. A y B en las cubiertas, C y D en la fachada de la iglesia y cornisas superiores de la misma. Año 2018. Fotografías de Jesús Espinosa Gaitán.

En las *Fachadas Exteriores* del edificio Exterior del Parlamento de las que se extrajeron 43 muestras, se observa que al igual que en la Iglesia aparece como principal litotipo la “*Piedra del Puerto*” en distintas variedades texturales y estados de alteración, dependiendo de la variedad y/o grado de afección por las humedades (Fig. 2). Las muestras de estas fachadas fueron extraídas hasta el nivel de la primera cornisa (aproximadamente 2 m. de altura), debido a que es dónde aparecían lo principales problemas de conservación, derivados de las humedades de ascensión capilar, y dónde igualmente mayor necesidad de intervención habrán requerido a lo largo de su historia; de ahí el hecho de que la mayor cantidad y diversidad de materiales de reposición (piedra y morteros) aparecen hasta ese nivel.

Se observan en las zonas bajas de las fachadas abundantes sillares de *materiales pétreos de reposición* (Fig. 3) en forma de sillares o aplacados de gran grosor. Por sus características se

aprecia que son materiales de distintas procedencias y diferentes estados de conservación, predominando unos de color amarillento-anaranjado (alberizo) con numerosos microfósiles y distintos grados de cementación y alteraciones. Por último, también se han tomado muestras de *productos de alteración* encontrados sobre las fachadas (costras, eflorescencias, pátinas anaranjadas, etc.).

Respecto a las *alteraciones* más importantes se observan zonas con abundantes pérdidas de material y volumen, causadas por la arenización, alveolización, pérdidas de cemento y matriz, como alteraciones más importantes que conlleven pérdidas de material, pero también se han observado descamaciones, algunas rupturas y disunciones. Aparecen costras negras poco desarrolladas (la mayoría fueron eliminadas en la última intervención), algunas eflorescencias salinas, y pátinas anaranjadas en zonas concretas.





Figura 2. Observación visual de distintas zonas de las fachadas exteriores. A y B visiones generales, C y D detalles de las alteraciones presentes en piedra del Puerto. Fotografías de Jesús Espinosa Gaitán.

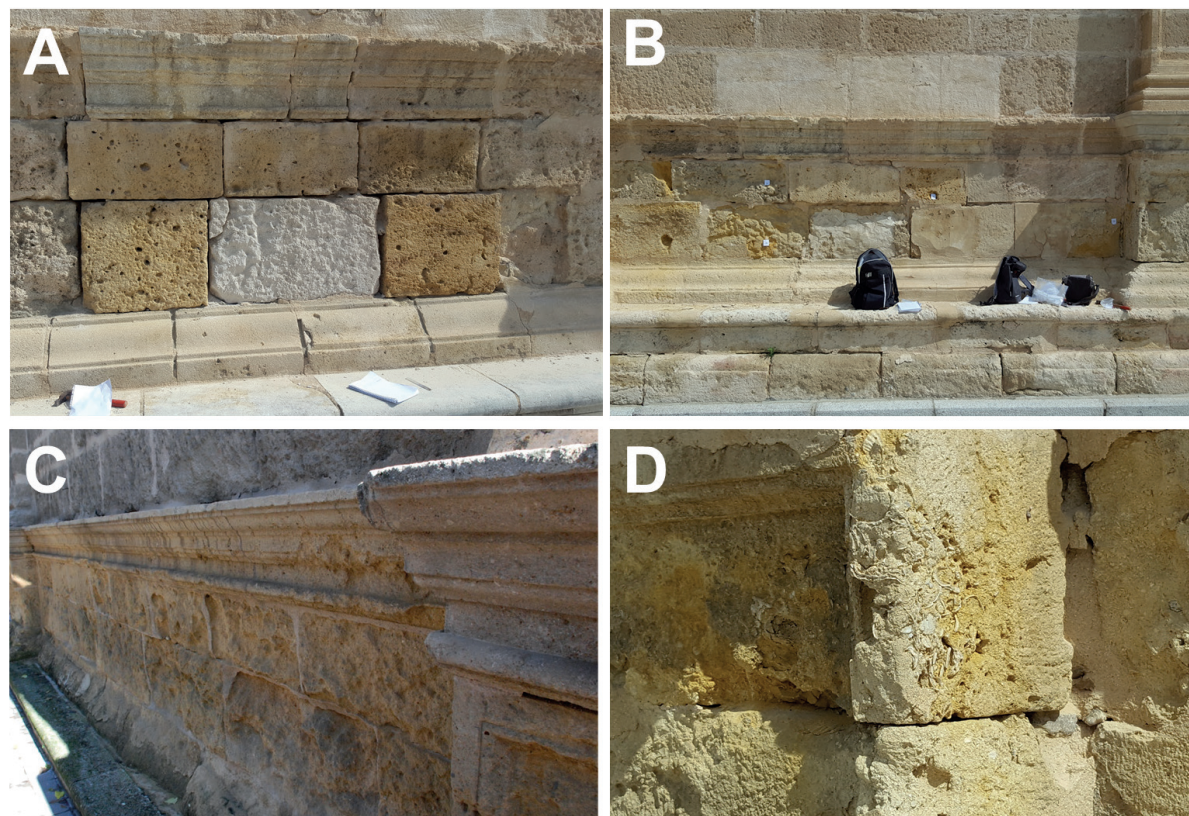


Figura 3. Distintas zonas de los zócalos de las fachadas exteriores con numerosos tipos de piedras de sustitución. A) todos los litotipos B) Piedra Alcor y morteros C) Alcor variedad muy alterable. D) piedra de Niebla. Fotografías de Jesús Espinosa Gaitán.



### Técnicas de análisis

Las técnicas empleadas para la caracterización de las muestras han sido la *Difracción de Rayos X (DRX)* en el que se ha empleado un Difractómetro BRUKER D8I-90, método polvo, la *Fluorescencia de Rayos X (FRX)* método minitrazas con un equipo Panalytical, Axios, ambos pertenecientes al Laboratorio de Rayos X del CITIUS de la Universidad de Sevilla, la *Microscopía Óptica de Polarización (MOP)* previa elaboración de las *láminas delgadas* en el laboratorio de preparación de muestras geológicas de la UGR, y estudiadas mediante un microscopio petrográfico LEICA DMLP, y captura digital DFC 280 del laboratorio de Geología del IAPH, y por último también se ha utilizado la *Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDX)* modelo JEOL JSM-5600LV equipado con un filamento de wolframio y un sistema de microanálisis por dispersión de energía de RX (EDS) modelo Inca X-sight de Oxford Instrument de los laboratorios del IAPH.

### RESULTADOS

#### *Piedra original: "piedra del Puerto"*

Como se ha mencionado, este tipo de piedra pertenece a las canteras el cerro de San Cristóbal

en el Puerto de Sta. María (Cádiz). De forma macroscópica y en corte fresco la roca presenta color cremoso claro, estructura bastante homogénea, tamaño de grano grueso, bastante equigranular, y suelen ser visibles a simple vista macrofósiles como lamelibranquios, así como la escasa cementación que presenta.

De los resultados obtenidos con *DRX-FRX* se concluye que todas las muestras presentan elevados porcentajes de calcita (80-50%), y proporciones variables de cuarzo (40-20%), aunque en términos medios la mineralogía para este tipo roca es: *Calcita* (70-75%) y *Cuarzo* (25-30%). En casi todas las muestras aparecen minerales minoritarios (<5%) de feldespato, dolomita, y yeso, todos ellos intrínsecos a la piedra.

Las observaciones al microscopio petrográfico –*MOP*– (Fig. 4) han permitido establecer que se trata de una roca sedimentaria con origen mixto entre detrítica y precipitación química. En términos medios, un 65% del total de los componentes son bioclastos (conchas de lamelibranquios, briozoos, equinodermos, algas y microfósiles fundamentalmente), un 5% corresponde al cemento y escasa matriz, y el 30% restante lo constituyen los terrígenos (mayoritariamente cuarzo y escasos feldespatos).

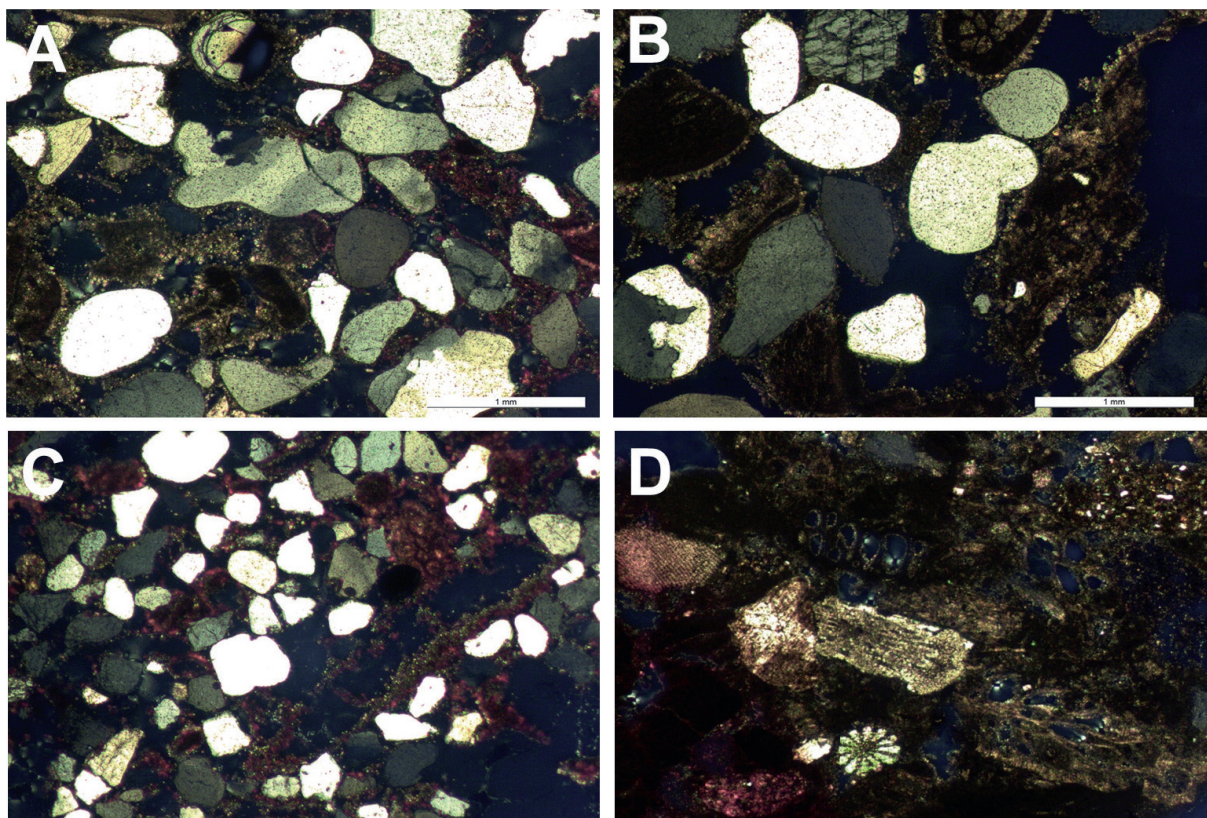


Figura 4. Imágenes al MOP de la piedra del Puerto. A y B) variedades más someras, más alterables, C) Variedad Intermedia D) Variedad más profunda rica en microfósiles. Fotografías de Jesús Espinosa Gaitán.

Dependiendo de la profundidad del sedimento original en la fracción bioclástica predominan de forma variable restos de conchas de lamelibranquios, briozoos, equinodermos, algas rojas, intraclastos, y microfósiles (foraminíferos) siendo estos últimos más abundantes en las facies más profundas. La granulometría también es variable con la profundidad del sedimento, pero en general es de tamaño “arena media-gruesa” sobre todo en los granos de cuarzo (terrágenos), pudiendo ser el tamaño de algunos fósiles superior, especialmente los lamelibranquios. Los granos de cuarzo se caracterizan por presentar formas redondeadas y tamaños en torno a 1 mm de diámetro en las facies más someras pero puede ser menores en facies más profundas. Aisladamente se encuentran granos de feldespatos y yeso en algunos casos

Las diferencias en las proporciones de los minerales mayoritarios (calcita-cuarzo) están relacionadas con la variedad del material, existiendo sillares correspondientes a facies más profundas (ricas en calcita), hasta otros que corresponden a sedimentos más someros, generalmente de granulometría más grosera y menos cementadas.

### **Materiales pétreos de reposición**

En las fachadas exteriores del conjunto monumental se han encontrado varias tipologías de materiales pétreos de sustitución en los muros de fábrica, de los que se ha establecido de forma clara su procedencia, por comparación con estudios anteriores de edificios y/o de cantera de estos materiales, salvo algunos sillares aislados sobre los que existen dudas. Al igual que ocurre con la Piedra del Puerto, en algunos materiales de reposición se han podido establecer diferentes variedades.

### **Piedra de los Alcores (Carmona, Sevilla)**

De los materiales de sustitución la tipología más abundante se atribuye a las canteras de la “formación Alcor” por su coloración y aspecto macroscópico, material muy abundante en construcciones de todas las poblaciones de la cornisa de los Alcores, la cual constituye una franja alargada en dirección NE-SW con una longitud aproximada de unos 30 Km.

A nivel macroscópico, la roca en corte fresco es de color ocre anaranjado (albero), incluso rojizo a veces, con tamaño de grano arena gruesa, poco clasificada, y a veces grano más fino, por lo que es bastante “inequigranular”.

Las muestras estudiadas mediante *DRX-FRX* se caracterizan por presentar una elevada

proporción de calcita, en todos los casos superior al 75%, incluso en algunas muestras hasta el 90%. El resto de la mineralogía es de cuarzo (15-25%), dependiendo de las muestras, y proporciones variables de feldespatos y minerales férricos que confieren el color amarillento a la roca al oxidarse. Es significativo en este tipo de rocas también la presencia de yeso (<5%) y arcillas (illita, esmectitas), encontrándose estos últimos en proporciones considerables en algunos casos (hasta el 15%). Los sillares que contienen arcillas son más susceptibles a la alteración, especialmente si contienen arcillas del grupo de las esmectitas, como ocurre en los materiales de la fachada exterior oeste.

Del estudio petrográfico mediante *MOP* (Fig. 5) se deduce que es una roca sedimentaria de medio marino somero con influencia de aportes continentales. Los bioclastos que contienen representan el 70-90% del total de los componentes, y se componen de lamelibranquios de concha más fina que los presentes en la piedra del Puerto, además de briozoos y foraminíferos, entre otros, frecuentemente removilizados y fragmentados. La matriz carbonatada no es demasiado abundante, sin embargo el cemento esparítico si suele aparecer con abundancia. También contiene minerales férricos que les confiere el color alberizo. La porosidad de la roca es elevada, entre el 25-30%, o superior en muestras más alteradas.

Las muestras de la fachada Oeste de este tipo de piedra, que se encuentran en avanzado estado de alteración, se atribuyen a esta misma formación geológica pero a niveles estratigráficos correspondientes a depósitos más profundos, con mayor riqueza en microfósiles (básicamente foraminíferos bentónicos tipo nummulites y miliólidos), pellets y placas de crinoides. Se ha observado que estas rocas tienen una matriz con cierta componente margosa y material arcilloso en forma de nódulos. Estos nódulos arcillosos probablemente contienen esmectitas (arcillas expansivas) que incrementan su susceptibilidad al deterioro, de ahí el avanzado estado de alteración de la piedra en esta zona del edificio.

### **Piedra de las Canteras de Niebla (Huelva)**

Durante la inspección visual y toma de muestras se encontraron algunos sillares de color amarillento anaranjado, de las cuales en principio se pensó que pertenecerían a las canteras de los Alcores, pero tras su estudio se ha podido concluir que existen numerosos sillares (no sólo los de color anaranjado) procedentes de las canteras de la denominada formación Niebla (Huelva).



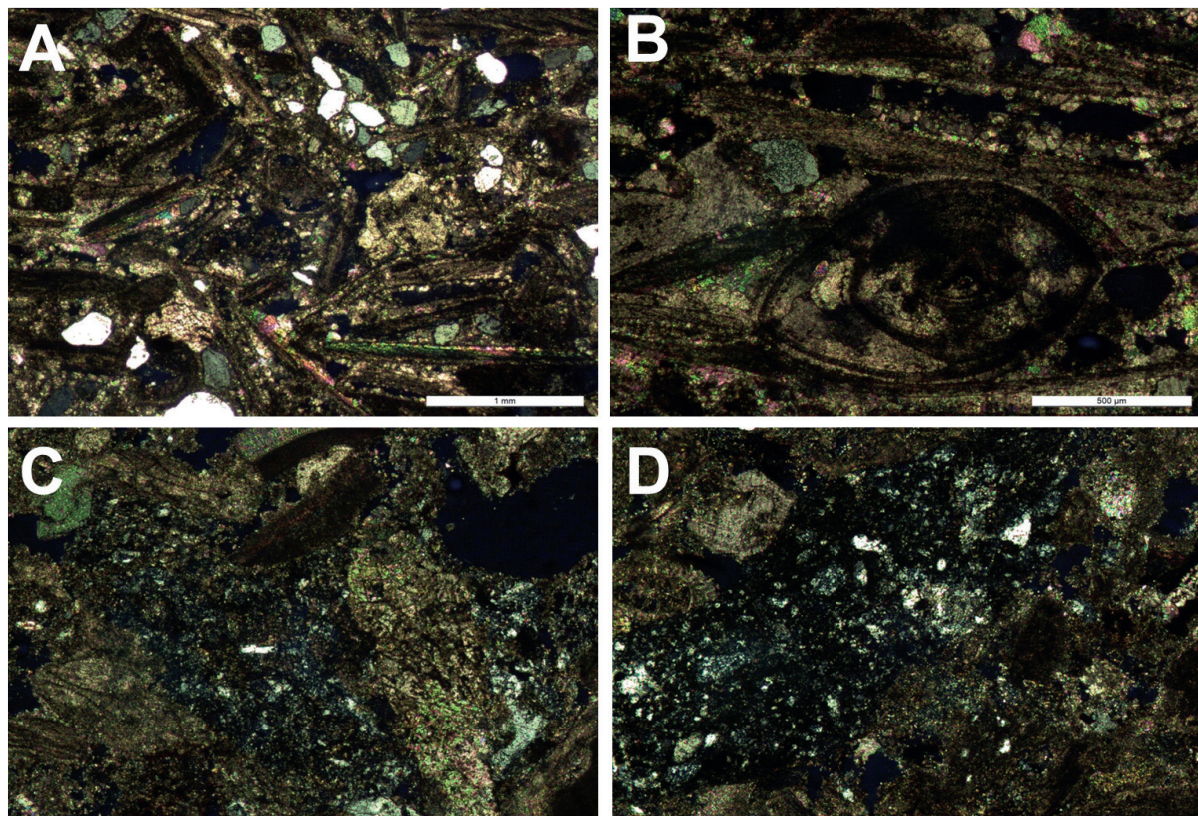


Figura 5. Imágenes al MOP de la piedra del Alcor. A y B) Variedades más compactas y mejor cementadas, C y D) Variedades más alterables, matriz con material arcilloso. Fotografías de Jesús Espinosa Gaitán.

El aspecto macroscópico que presentan estos materiales es muy variado tanto en textura como en color, ya que aparecen sillares desde colores anaranjados hasta otros de colores grisáceos claros. Esto ocurre tanto en cantera como en los materiales encontrados en este edificio. Las rocas pertenecientes a esta formación corresponden igualmente a calcarenitas de origen bioclástico marino, correspondientes a facies cuyo depósito se produjo en un medio litoral somero.

Su composición mineralógica (*DRX*) y química (*FRX*) es también distinta dependiendo de la muestra y la variedad (nivel estratigráfico al que pertenezcan). La mineralogía es mayoritariamente de calcita (80-85%) y cuarzo (10-15%), junto a otros minerales minoritarios, que varían en proporción dependiendo de las muestras estudiadas, como dolomita, feldespato, óxidos de Fe (hematites), y algunas con indicios de filosilicatos tipo illita.

Tanto los sillares localizados en el edificio, como las muestras estudiadas de las canteras, presentan un grado de heterogeneidad importante,

observándose variaciones texturales que afectan al contenido en bioclastos, proporción de porosidad, contenido en cemento carbonatado y minerales secundarios que repercuten en el color de la piedra. El tamaño de grano de la roca es variable, pero mayoritariamente es arena de media-gruesa.

Los bioclastos de la formación de Niebla (*MOP*, Fig. 6) están constituidos por algas rojas coralinas, lamelibranquios, entre otros, pero su rasgo más identificativo es el alto contenido en un tipo de foraminíferos bentónicos *-heterosteginas-*. Suelen contener material terrígeno (granos de cuarzo, feldespatos) y glauconita como mineral autógeno, predominando el cuarzo de grano fino en proporciones siempre inferiores al 20%.

Estas rocas suelen presentar un contenido muy variable de *cemento*, que puede oscilar entre un 5% hasta 25%, en algunos casos ferruginoso, como es el caso de algunos de los sillares observados en la fachada sur del Hospital de las Cinco Llagas que le otorgan ese color amarillento.

La porosidad de la roca es elevada, oscilando entre el 25 y 35%.



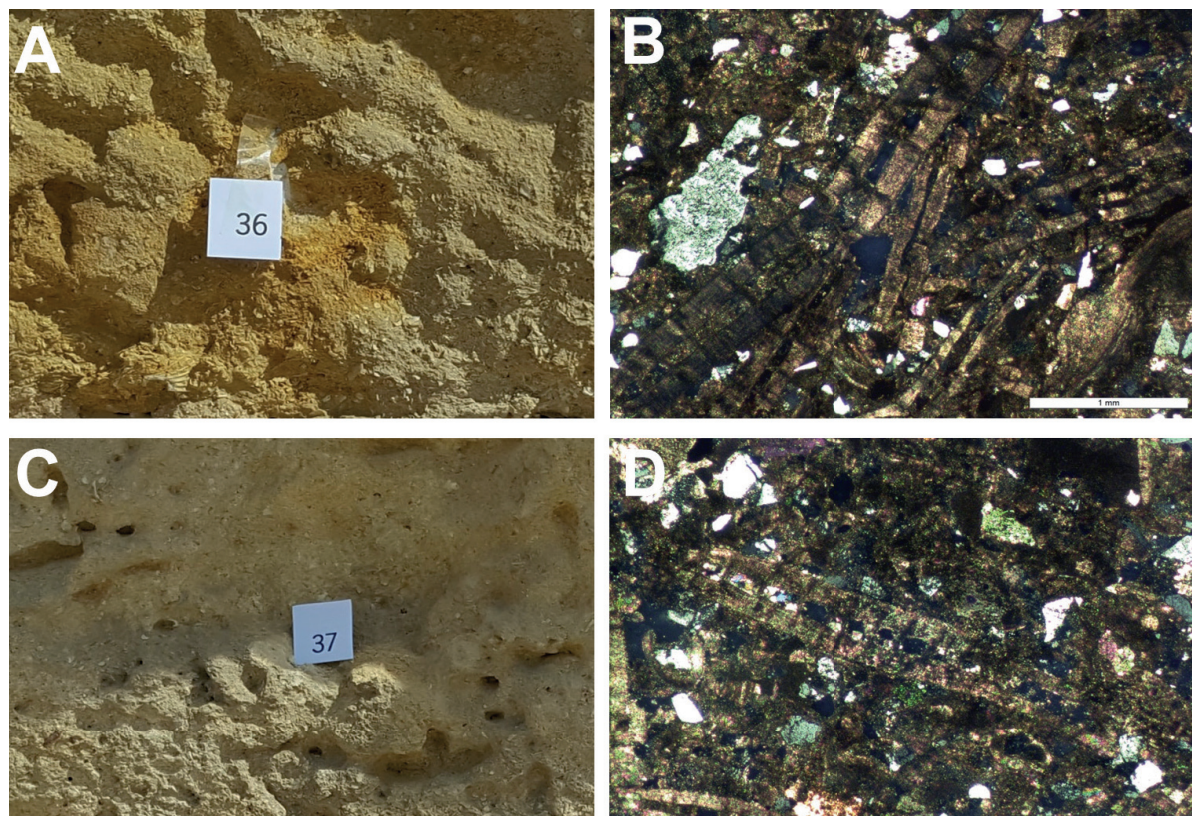


Figura 6. Imágenes de piedra formación Niebla. A y B) Variedad de color anaranjada y observación petrográfica. C y D) Variedad grisácea y observación petrográfica. Fotografías de Jesús Espinosa Gaitán.

### Piedra “Martelilla” (Jerez de la Frontera, Cádiz)

Este tipo de piedra se ha asignado a dos muestras de sillares, que en principio se pensaba que correspondían a la fracción más fina de las variedades del Puerto, pero tras su estudio se aproximan más a la denominada “*piedra Martelilla*”. Aunque serían necesarios análisis complementarios para confirmarlo, petrográficamente se aproximan mucho a otras muestras atribuidas a estas canteras de otros edificios en Sevilla donde sí está constatada su procedencia.

Las canteras originarias de esta piedra se encuentran en Jerez de la Frontera (Cádiz), aunque de difícil acceso, y corresponde a una roca bioclástica carbonatada sin presencia de terrígenos. Esto es indicativo de que su génesis corresponde a una cuenca sedimentaria más profunda. Su composición mineralógica-química (*DRX-FRX*) es prácticamente del 100% de calcita en ambas muestras, con indicios de cuarzo.

Al microscopio (*MOP*, Fig. 7A y B)) se observa que se trata de una caliza bioclástica bien cementada, y entre los aloquímicos (fósiles) predominan los briozoos, foraminíferos bentónicos como nummulites, y pellets, entre otros, que es lo que conforma mayoritariamente el entramado de la roca;

todo ello envuelto de una matriz micrítica carbonatada y cemento esparítico abundantes.

Presenta una porosidad intermedia, inferior a las del Puerto, en torno al 15-20%.

### Caliza Blanca (Sierra de Estepa, Sevilla).

Por último, en la bancada que recorre toda la Fachada Sur se ha comprobado la existencia de una piedra blanca de sustitución a ambos lados de la portada de la fachada, de la que aisladamente también se han observado algunos sillares. Se tiene constancia de que esta reposición en la bancada con este tipo de piedra tuvo lugar en la intervención del 1988-92.

Se ha comprobado mediante *DRX-FRX* que es una caliza muy pura, compuesta en su totalidad por calcita, con indicios de cuarzo. El estudio mediante *MOP* (Fig. 7 c y D) ha permitido establecer que se trata de una caliza blanca muy pura, comúnmente denominada como “*piedra de Estepa*”, aunque existen canteras en varios puntos de las Sierra Sur de Sevilla (Estepa, Gilena, Pedrera, etc), y de la cual existen diversas variedades, dependiendo de la tipología de aloquímicos y cemento.



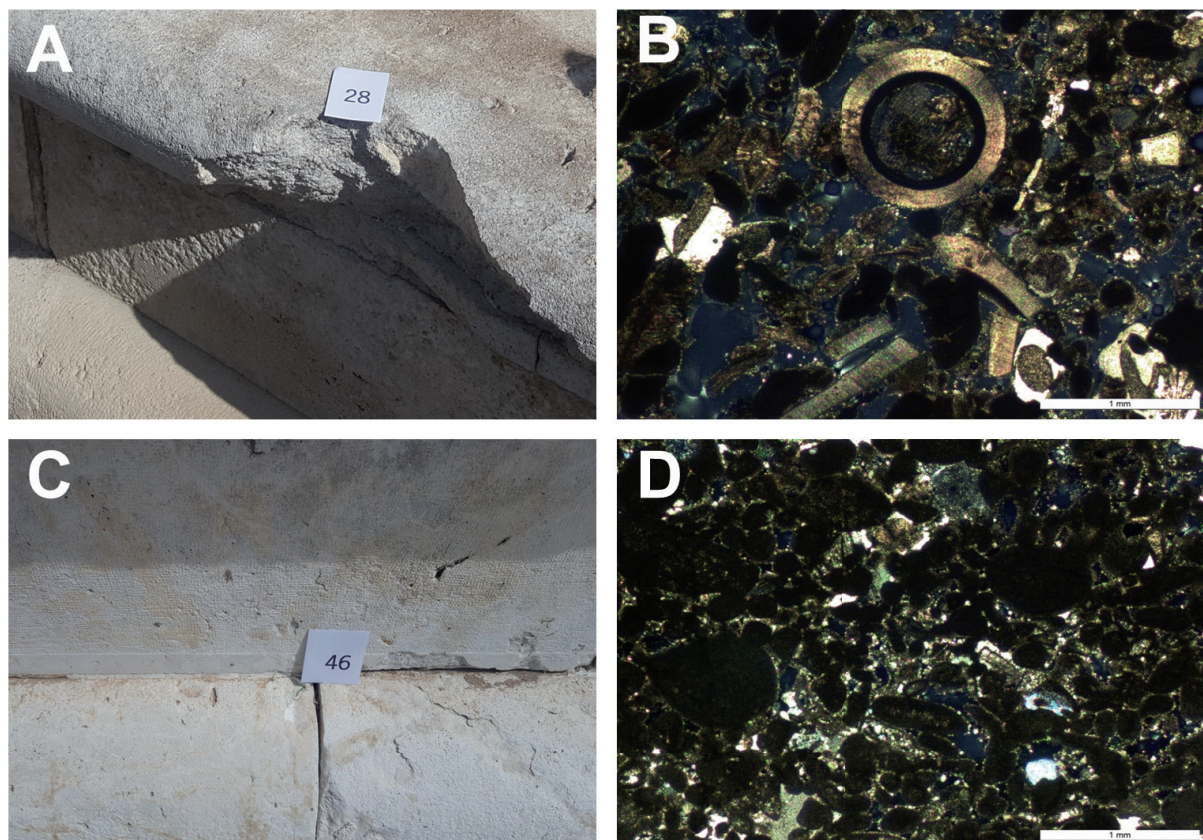


Figura 7. Imágenes de piedra Martelilla: A) aspecto macroscópico B) observación petrográfica; y Piedra de Estepa C) aspecto macroscópico D) observación petrográfica. Fotografías de Jesús Espinosa Gaitán.

Las estudiadas en este caso se componen básicamente de elementos aloquímicos no fosilíferos (oncolitos), envueltos por un cemento esparítico interpartícula. La roca se denominaría como una “Oncoesparita” (Folk, 1969), y es un material de muy escasa porosidad (<10%) en todas sus variedades.

### *Productos de alteración*

Debido a que los edificios han sido sometidos a numerosas intervenciones durante los últimos años, especialmente desde que se convirtió en la sede actual del Parlamento de Andalucía, los productos de alteración debidos a la polución no son demasiado abundantes, salvo en determinadas zonas donde no se ha intervenido tan recientemente, como en la fachada oeste. Las alteraciones más importantes

que se observan, parecen estar más relacionadas con el uso de morteros incompatibles, aun así, se han observado ciertos productos de alteración en la globalidad de ambos edificios, como restos de costras negras, algunas eflorescencias y pátinas anaranjadas, además de biodeterioro.

### **Costras Negras**

Todas las muestras de costras negras estudiadas de diversas zonas de los inmuebles (espadaña y cornisas de la iglesia, fachadas exteriores) presentan una composición mineralógica y química (DRX-FRX-SEM-EDX) que reflejan una composición sulfatada (yeso), junto a los constituyentes del soporte pétreo, composición típica de este tipo de costras que proceden fundamentalmente de la combustión de hidrocarburos fósiles.



Tabla 1. Costras negras. Análisis químico (%) elementos mayoritarios.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
PA-2	13.79	1.63	0.64	0.02	0.72	40.19	0.18	0.49	22.47
PA-47	23.53	1.80	0.65	0.02	1.13	39.63	0.25	0.68	12.14

Mediante MOP y SEM se ha podido observar el desarrollo de dichas costras y también se han podido apreciar zonas con costras negras sobre las que se aplicaron tratamientos de conservación

que recubren la costra, lo que indica que la limpieza previa antes del tratamiento no fue completa ni correcta (Fig. 8).

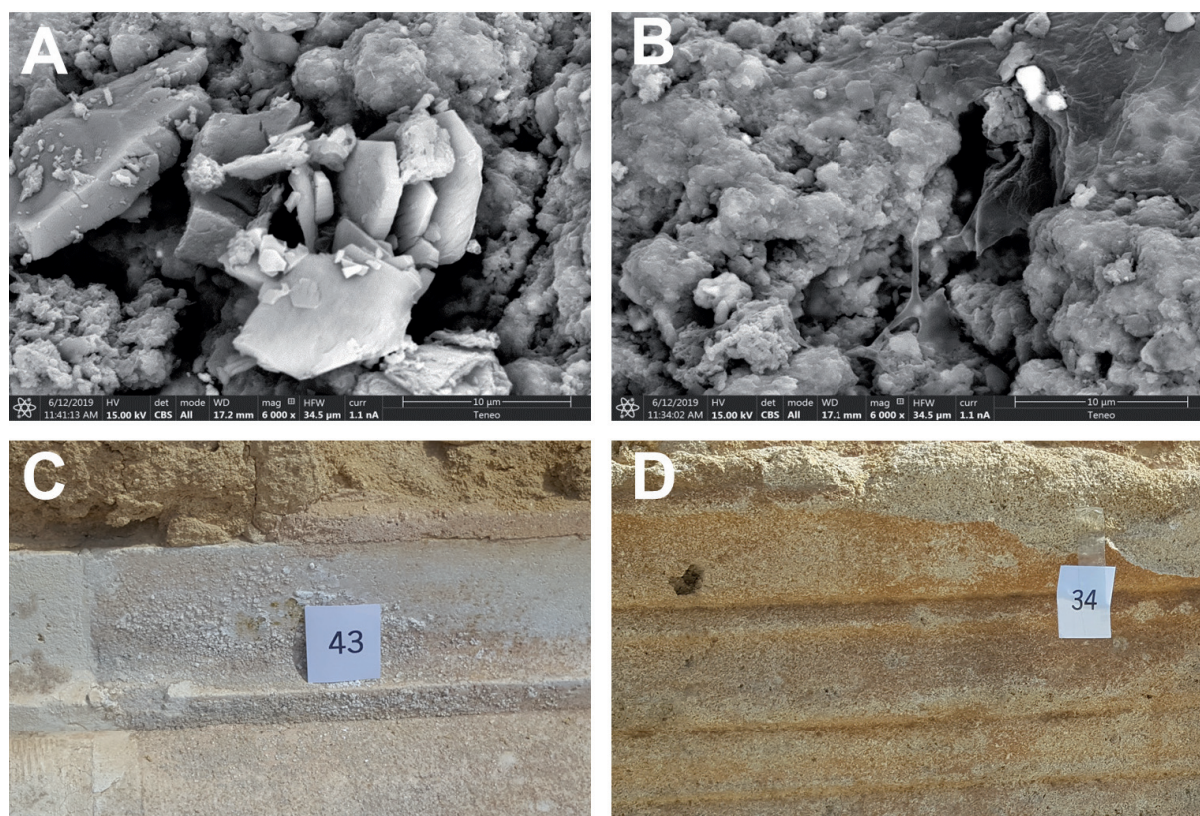


Figura 8. Productos de Alteración. A y B) Costras negras, en la imagen B se observa al SEM restos de tratamiento sobre la costra. C) Imagen de eflorescencias salinas y D) Pátina anaranjada. Fotografías de Jesús Espinosa Gaitán.

### Eflorescencias

En el momento de las campañas de muestreo no se observaron muchas eflorescencias sobre los materiales pétreos. En algunas zonas bajas de los edificios se encontraron sales en superficie, especialmente en las zonas próximas a la portada principal (fig 8C). Las muestras estudiadas mediante DRX-FRX manifiestan que se componen de yeso en su totalidad, que probablemente deriva de los morteros adyacentes de la última intervención.

### Pátinas Anaranjadas

En algunas zonas de la fachada sur próximas a la portada principal se observó la presencia de unas pátinas anaranjadas sobre la piedra del Puerto (Fig. 8D, tabla 2).



Tabla 2. FRX. Pátina anaranjada. Análisis Químico Elementos Mayoritarios (%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>
PA-34	28.78	0.41	0.19	0.03	0.26	43.52	0.12	0.15	0.03	2.77	0.28

En el estudio mediante *DRX* se ha podido detectar, además de los componentes de la piedra, cantidades minoritarias de yeso y de oxalato cálcico (whavellita). Este último mineral está normalmente asociado a la presencia de fosfatos, y aunque su origen es muy discutido se suelen relacionar con la actividad biológica que se desarrolla sobre tratamientos antiguos de conservación de origen orgánico. La presencia de fósforo se ha podido comprobar mediante el estudio con *FRX* en algunas de las muestras (tabla 2).

## CONCLUSIONES

Como conclusiones generales del estudio se extrae que la *Piedra Principal* de los muros originales del Conjunto Monumental es la comúnmente conocida como "*Piedra del Puerto*", procedente de las canteras del cerro de San Cristóbal. Esta cantera se encuentra a 5 km al noreste del Puerto de Santa María. Se trata de una roca sedimentaria, concretamente una calcarenita bioesparítica, de medio marino somero del Mioceno Inferior, de grano medio-grueso, escasa cementación, y matriz prácticamente nula. Según Folk (1969), sería una roca aloquímica esparítica: *Bioesparenita*, y según Dunham (1969) un *Grainstone*.

La *porosidad* de la roca es variable, pero suele oscilar entre el 30%-35%. Predomina en ella la macroporosidad, siendo la microporosidad prácticamente nula y los poros de tamaño medio escasos. La porosidad mediante ensayos de porosimetría de Inyección de Hg, muestran que la microporosidad de la roca (poros inferiores <5 µm) es muy inferior al 5% del total de la porosidad (datos recopilados de otros estudios).

Se ha podido comprobar que existen diferentes variedades texturales, en cuanto al tamaño de grano, grado de cementación, porosidad, etc., dependiendo de si los depósitos originales son más profundos (granulometrías más finas) o más someros (variedades de granulometría más gruesa).

Todos estos factores intrínsecos influyen notoriamente en las formas de alteración, siendo por lo general más susceptibles a las alteraciones las variedades más groseras y menos cementadas.

De las *Piedras de Reposición* en los sillares de elementos de fábrica se han identificado de forma clara la existencia de dos tipos de piedra de formaciones geológicas distintas. Estas proceden de la *formación Alcor* en la zona de Carmona (Sevilla), y la piedra de la *formación*

*Niebla* (Huelva). Dentro de ambos tipos, también se han diferenciado distintas variedades tanto a nivel macroscópico en cuanto al color y textura, composición mineralógica, y susceptibilidad a la alteración.

Dentro de las muestras procedentes del Alcor se han encontrado algunas variedades que presentan buena durabilidad y buen comportamiento, sin embargo los materiales encontrados en la fachada exterior oeste presentan un avanzado estado de alteración, probablemente relacionado con el importante contenido en "arcillas expansivas" que parecen contener estos materiales.

El otro tipo de piedra procedente de la *formación Niebla*, corresponde igualmente a una calcarenita, y el color puede variar desde amarillento a colores grisáceos claros dependiendo de la mineralogía secundaria, de hecho se pueden apreciar distintas variedades de color asociados con este tipo de piedra en la Fachada Sur.

Se han estudiado un par de sillares de piedra cuya adscripción es dificultosa sin estudios complementarios, aunque por comparación con muestras de otros edificios se asemejan mucho a la denominada piedra *Martelilla* con canteras próximas a Jerez de la Frontera. También se ha determinado la presencia de material de reposición correspondiente a una caliza blanca muy pura conocida como *Piedra de Estepa*.

En cuanto a los *productos de alteración*, las escasas *eflorescencias salinas* encontradas se componen de yeso, las *costras negras* presentan la típica composición sulfatada, y por último las *pátinas anaranjadas* encontradas en la fachada sur, contienen oxalatos cálcicos y fósforo. Aunque su origen no está muy claro se suelen relacionar con la actividad biológica que se desarrolla sobre tratamientos antiguos de conservación de origen orgánico.

## REFERENCIAS

- ALONSO F.J, ORDAZ J, ESBERT R.M. *Indicadores del deterioro en los materiales pétreos de edificación. Clasificación y análisis de los daños*. IPCE. Año 2013.
- BELLO M.A, MARTÍN A. "Microchemical characterization of building stone from Seville Cathedral, Spain". *Archeometry*. Año 1992.
- DE LA BANDA Y VARGAS, A. *Las Cinco Llagas. De hospital a Parlamento de Andalucía*. Ed. Parlamento de Andalucía. (Sevilla). Año 2007.

- CALDERÓN BERROCAL, M.C. *El Hospital de las Cinco Llagas de Sevilla. Historia y documentos*. Tesis doctoral. Universidad de Huelva. Año 2016.
- ESBERT R.M., ORDAZ J, ALONSO F.J, MONTOTO M, GONZÁLEZ LIMÓN T., ÁLVAREZ DE BUERGO M. *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*. Colegio de Aparejadores y Arquitectos técnicos de Barcelona. Año 1997.
- ESPINOSA, J; MARTÍN, A. "A Comparison of three methods of Consolidation for a Calcareous Mixed Stone (Piedra del Puerto, Cartuja de Jerez)". *Science and Art: A Future for Stone: Proceedings of the 13th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone*, Volume 2. Paisley: University of the West of Scotland, pp. 145-152. ISBN: 978-1-903978-55-9 (eBook). Año 2016.
- ESPINOSA J.; ONTIVEROS E. "El cielo sobre Jerez. Conservación de las cubiertas y bóvedas de la iglesia de San Miguel: Estudios Geológicos". *Revista: PH, Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, Núm. 69, pp. 78-79, ISSN1136-1867. Año 2009.
- ESPINOSA, J. VILLEGAS, R. "La investigación científica aplicada a la caracterización de materiales y la selección de tratamientos de conservación. Puerta de Córdoba de Carmona". *Revista PH. Dossier de La puerta de Córdoba de Carmona (Sevilla)*. Año 2000.
- ESPINOSA, J. ONTIVEROS, E., VILLEGAS R. "Previous Studies for the Restoration of the Cordoba Door, Carmona (Spain)". *8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. Berlin (Germany). Año 1996.
- I.G.M.E. *Mapa geológico de España*. Hojas 1047, 1048, 1061,162 (Provincia CÁDIZ).
- I.G.M.E. *Mapa geológico de España*. Hoja 985. Carmona.
- I.G.M.E. *Mapa geológico de España*. Hojas 982, 960, 1000 (Provincia HUELVA).
- I.G.M.E. *Mapa geológico de España*. Hojas 1005, 1021 (Provincia SEVILLA).
- ILLESCAS, J.F. *Nuevos Nanomateriales para la conservación del Patrimonio Monumental Andaluz*. Tesis doctoral. Grupo TEP-243. Universidad de Cádiz (España). Año 2012.
- KLAMP, C.; GONZÁLEZ-REGALADO M. "Caracterización de las microfacies carbonatadas en la formación calcarenita de Niebla (provincia de Huelva, España)". *Boletín de la real sociedad española de historia natural*. ISSN 0583-7510, tomo 88, nº 1-4, pp. 5-16. Año 1993.
- RUIZ, F; BACETA, J; et Al. "Los ostrácodos de las arenas con Heterostegina de la Formación "Calcarenita de Niebla" (Depresión del Guadalquivir, S.O. de España). *Stvd. Geol. Salmant.*, 35, pp. 9-19. Año 1999.
- VÁZQUEZ CALVO, M; ÁLVAREZ DE BUERGO, M; FORT, R. "Estudio de pátinas de oxalatos y fosfatos cálcicos en monumentos de Cifuentes (Guadalajara, España). *Geogaceta*, ISSN 0213-683X, Nº. 55, pp. 43-46. Año 2014.
- VILLEGAS, R.; ESPINOSA, J.; SEBASTIÁN, E. "Catálogo de materiales pétreos empleados en el Patrimonio Inmueble andaluz". *IX Cong. Int. Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación. Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación*, pp. 185-190, ISBN 978-84-612-3459-Z. Año 2008.
- VILLEGAS R., ARROYO F., et al. "La alteración de la piedra en la Catedral de Jerez de la Frontera (Cádiz, España)", *I Congreso Internacional «El patrimonio cultural y natural como motor de desarrollo: investigación e innovación*, pp. 693-701. Año 2012.
- TOSQUELLA J; BACETA J; et al. "Paleobiocenosis de heterostegina en sedimentos de origen litoral de la formación Calcarenita de Niebla". *Geogaceta* 27, pp. 167-171. Año 1999.