

# Deterioro selectivo de la piedra de construcción de la catedral de Palma de Mallorca

## *Selective deterioration of the building stone of the Palma de Mallorca cathedral*

F.J. Alonso; J. Ordaz; y R.M. Esbert

Departamento de Geología, Universidad de Oviedo

### ABSTRACT

*Palma de Mallorca cathedral (Spain) is built with four types of carbonate rocks (one limestone, one dolomitic limestone and two dolomites). The forms and degree of degradation of these stones depend on their petrophysical characteristics as well as its situation in the monument. Weathering agents affect in different ways the façades of the cathedral, bringing on to a selective deterioration of the monument.*

**Key words:** *Deterioration, physical properties, atmospheric pollution, solid particles pollution, building stone, Palma de Mallorca (Spain).*

*Geogaceta, 20 (5) (1996), 1228-1231  
ISSN:0213683X*

### Introducción

La catedral de Palma de Mallorca es uno de los monumentos más significativos del gótico español, gozando de un emplazamiento privilegiado que permite su contemplación desde cualquier punto de la bahía (Fig. 1). La piedra de construcción utilizada es de naturaleza carbonatada, pudiéndose distinguir cuatro tipos, que hemos denominado: dolomía blanca, caliza blanca, caliza granuda y caliza oolítica.

La dolomía y la caliza blanca, han sido utilizadas en la antigua fábrica de la Catedral. Esta última se denomina localmente "Marés blanco". La caliza granuda, empleada en el cegado de ventanales y posiblemente en reconstrucciones antiguas, es conocida localmente como "Marés de Porreras". La caliza oolítica ha sido empleada en las portadas principal y del Mar y se

conoce localmente como "Piedra de Santanyí". Todas estas litologías pertenecen a niveles del Mioceno.

La degradación de dichas piedras está estrechamente relacionada con su ubicación concreta en la catedral y, de forma más específica, con la orientación de las fachadas; mostrando un deterioro selectivo, no sólo en cuanto al grado de alteración sino también a las formas exhibidas.

### Formas de deterioro de las piedras del monumento

Las diferentes formas de deterioro aparecen repartidas en todas las fachadas, si bien en cada una de ellas predominan unos tipos u otros (Esbert *et al.*, 1992).

**Fachada Norte:** Es la que presenta una mayor implantación de organismos vegetales (biodeterioro), especialmente

de algas y líquenes. A lo largo de toda esta fachada alternan zonas claras de lavado con zonas oscuras de suciedad y pátinas ocre. Así, la Torre-campanario presenta una pátina ocre de forma generalizada, con zonas lavadas y pátinas oscuras. La portada de la Almoina presenta una pátina ocre alternando con otra negra. En las terrazas de esta fachada se observan igualmente zonas de lavado y de suciedad, así como costras biogénicas en las partes más húmedas y resguardadas (fig. 2). Algunos sillares aparecen erosionados o con picaduras. Hay que mencionar también la presencia de importantes fisuras, que se repiten en otras partes del edificio (Ordaz y Esbert, 1988).

**Fachada Sur (Portada del Mar):** Se caracteriza por una acusada erosión y descohesión de los sillares de las hileras inferiores y medias del muro, así como por

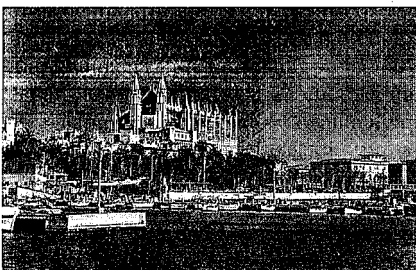


Fig. 1.- Vista general de la catedral de Palma de Mallorca.

*Fig. 1.- General view of the cathedral of Palma de Mallorca.*



Fig. 2.- Costras biogénicas en los muros de la primera terraza de la catedral (fachada Norte).

*Fig. 2.- Biogenic crusts on the walls of the first terrace of the cathedral (North façade).*

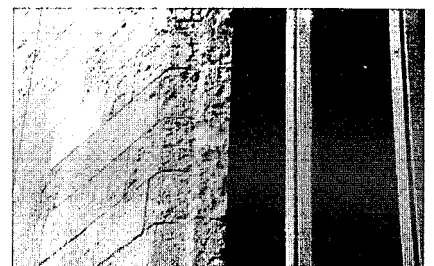


Fig. 3.- Alveolización en sillares de la primera terraza de la fachada Sur.

*Fig. 3.- Alveolar deterioration in ashlar of the first terrace of the South façade.*

abundante alveolización y desagregación granular, especialmente en los sillares lindantes con la cara Este (Fig. 3). En los alveolos aparecen abundantes eflorescencias salinas. La alveolización adquiere distintos niveles de desarrollo en las terrazas, según la orientación, en especial en los contrafuertes.

Presenta asimismo amplias zonas con pátinas ocreas, alternando con otras de lavado y de suciedad, si bien en conjunto está menos sucia que las restantes fachadas. Localmente se observan pátinas de ennegrecimiento relacionadas con filtraciones de humedad. La alteración de origen biogénico es menor que en las otras fachadas. El deterioro en la segunda terraza (la más alta) es proporcionalmente mayor, y muchas de las torrecillas y ornamentaciones se hallan muy erosionadas, con costras, desagregación granular y desprendimientos de material.

La Portada del Mar está recubierta de una pátina de tonos ocreos y presenta de forma generalizada depósitos superficiales de polvo. Hay también descamaciones y pérdidas de material. En general la parte inferior del lado derecho está más deteriorada que la del lado izquierdo.

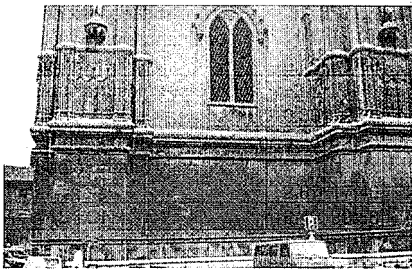


Fig. 4.- Pátinas de suciedad en la parte inferior de la fachada Oeste.

Fig. 4.- Soot patinas in the low part of the West façade.

**Fachada Oeste (Fachada principal):**

Las pátinas de suciedad son las formas de alteración más características de esta fachada (Fig. 4). Además, son abundantes los depósitos de excrementos de paloma en la parte superior de cornisas y relieves en general. En muchos sillares aparecen costras negras y descamaciones. Las partes inferiores de las torres laterales, especialmente la esquina con la fachada Sur, presentan notables fenómenos de alveolización.

En la parte superior de la fachada se aprecia la implantación de líquenes, principalmente en barandillas, así como fenómenos erosivos en grado avanzado.

La Portada principal, al igual que la Portada del Mar, muestra una pátina artificial de color ocre-rojizo, sobre la que se sobrepone otra negra de suciedad. En

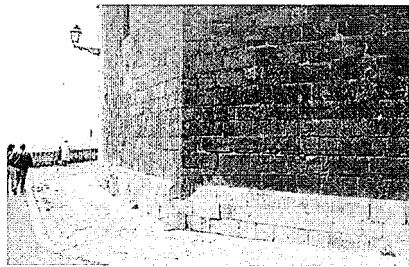


Fig. 5.- Ennegrecimiento de la parte inferior de la fachada Este.

Fig. 5.- Blackening of the low part of the East façade.

ellas se observan también costras negras, ampollas y descamaciones, con pérdidas de material.

**Fachada Este (Abside):** La parte baja de esta fachada tiene pátinas de distinta tonalidad según la orientación. Su parte inferior se halla recubierta de una intensa pátina de ennegrecimiento (Fig. 5). Hacia el lado norte, se observan depósitos de polvo y de verdín, relacionados con su ambiente específico.

En la parte alta, la zona correspondiente a la segunda terraza está ocupada por el rosetón; en general esta parte se presenta exenta de pátinas de suciedad, observándose alveolización en las partes más altas y desprotegidas. Localmente se observan pátinas de origen biogénico en zonas resguardadas..

**Incidencia de la contaminación atmosférica**

Se analizaron muestras de costras, procedentes de diferentes zonas de las fachadas, mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectrometría de rayos X por energía dispersiva (EDX).

Al MEB las caras externas de las costras estudiadas aparecen como láminas compactas, a veces rugosas y con protuberancias más o menos acentuadas. Están



Fig. 6.- Cristales de yeso en una costra negra (MEB).

Fig. 6.- Gypsum crystals in a black crust (SEM).

constituidas en gran parte por minerales carbonatados de reprecipitación y, en menor medida, por otros componentes tales como yeso (Fig. 6), material particulado de diversa índole -procedente de la contaminación atmosférica- y restos vegetales.

Las partes internas son menos compactas y muchas de ellas muestran cavidades de tendencia esférica originadas por la disolución de los minerales que constituyen los oolitos. Su composición mineral es similar a la de las zonas externas, aunque presenta menos partículas exógenas.

Las partículas sólidas de contaminación tienden a acumularse en las fachadas Oeste y Sur, pudiéndose distinguir tres tipos dominantes, (Sabbioni, 1992):

Tipo 1: Esféricas, de 20 a 40 micras de diámetro, con poros más o menos redondeados. Los principales elementos químicos, detectados con EDX, son: silicio, azufre y calcio. En menor proporción se encuentran aluminio, potasio, fósforo y cloro. Probablemente proceden de la combustión de madera (Connor *et al.*, 1990)

Tipo 2: Elipsoidales, de 10 a 20 micras, con poros más o menos redondeados. Están compuestas de azufre y calcio, y en menor proporción: silicio, potasio y hierro. Proceden de la combustión de petróleo industrial.

Tipo 3: Esféricas, de 20 a 25 micras, huecas y con algunos poros, aunque en menor número que los casos anteriores. Compuestas por azufre y, en menor proporción, silicio, potasio, aluminio, calcio y hierro. Proceden muy probablemente de la combustión de gasóleos de motores diesel (Fig. 7).

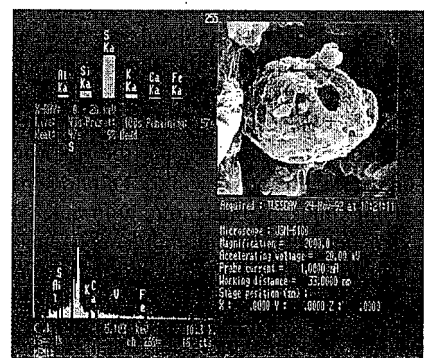


Fig. 7.- Morfología y diagrama composicional de una partícula sólida de contaminación de tipo 3.

Fig. 7.- Morphology and compositional diagram of a solid particle of pollution of type 3.

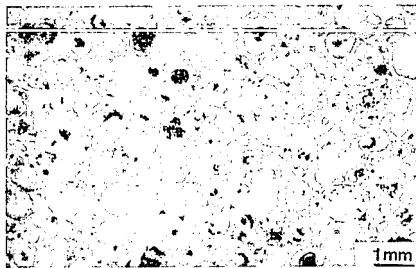
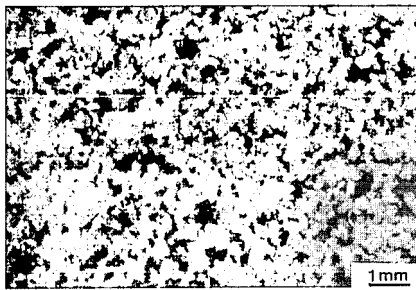
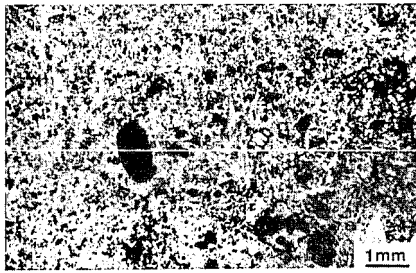


Fig. 8.- Tipos de materiales rocosos empleados en la catedral. A) Dolomía blanca (Pol, NC); B) Caliza blanca (Pol, NP); C) Caliza granuda (Pol, NC); D) Caliza oolítica (Pol, NP).

Fig. 8.- Types of rock materials used in the cathedral. A) White dolomite (Pol, CN); B) White limestone (Pol, PN); C) Grained limestone (Pol, CN); D) Oolitic limestone (Pol, PN).

**Características petrofísicas de los materiales pétreos**

En la Tabla I se exponen las principales características petrográficas de los cuatro tipos de piedras empleadas en la fábrica de la catedral. En la Fig. 8 se muestra el aspecto de la textura de dichos tipos rocosos.

En la Tabla II se presentan parámetros del sistema poroso obtenidos mediante porosimetría de inyección de mercurio:

Denominación de la piedra	Composición mineralógica			Características texturales		Clasificación
	Calcita	Dolomita	Cuarzo	Componentes	Tamaño	
Dolomía blanca	2 %	94 %	4 %	granos: algas rojas cristales: dolomita	mm 20 µm	Dolomía
Caliza blanca	83 %	17 %	-	granos: bioclastos matriz: micrita	mm <4 µm	Caliza dolomítica
Caliza granuda	95 %	5 %	-	granos: calcita cemento muy escaso	250 µm	Caliza
Caliza oolítica	100 %	-	-	granos: oolitos cemento: esparita	750 µm 100 µm	Caliza

Tabla I. Características petrográficas de los principales tipos de piedras de la Catedral de Palma de Mallorca

Table I. Petrographical characteristics of the main types of stones of Palma de Mallorca Cathedral

porosidad abierta, macroporosidad (poros con radio de acceso mayor de 7.5 m), microporosidad (radio de acceso menor de 7.5 m) y el tamaño más frecuente de acceso a los poros.

Se han determinado otras propiedades físicas relacionadas con el comportamiento de los materiales pétreos frente a los procesos de absorción y desorción de agua. Se trata de propiedades estrechamente ligadas al sistema poroso de las rocas, cuya configuración tridimensional condiciona el movimiento del agua por su interior.

Las propiedades se han medido siguiendo normas o recomendaciones de CNR-ICR (1981, 1988) y RILEM (1980). En la Tabla III se muestran los valores del contenido en agua en absorción libre (a los dos días) y del contenido en agua en desorción o evaporación (a los seis días).

Cabe resaltar que, aunque todos son materiales carbonatados, algunos muestran comportamientos muy diferentes frente a la absorción y desorción de agua. Así, la capacidad de absorción a corto plazo (2 días) es mucho más baja en la caliza oolítica que en el resto de las rocas ensayadas; este hecho puede relacionarse con el pequeño tamaño de acceso de poro (Tabla II). En cuanto a la desorción, la caliza granuda muestra un comportamiento muy distinto al resto, a los 6 días se ha secado completamente; este comportamiento está claramente relacionado con el relativamente bajo valor de su microporosidad (Tabla II).

**Relaciones entre las características petrofísicas y el comportamiento alterológico de las piedras**

De los valores obtenidos pueden extraerse algunas conclusiones acerca de las características petrofísicas de los diferentes tipos rocosos empleados en la catedral

y su alterabilidad.

En cuanto al comportamiento alterológico la dolomía blanca es la piedra que mejor se comporta frente los procesos de alteración. Esto es debido al hecho de ser una roca constituida mayoritariamente por dolomita, mineral de menor solubilidad que la calcita. La dolomitización supone un crecimiento del tamaño de los cristales respecto a la caliza precursora y también un incremento del volumen de espacios vacíos. Así, aunque es la roca que presenta valores más elevados de porosidad (45%), también presenta un alto grado de cristalinidad, que junto a la naturaleza de sus cristales (dolomita), hace que manifieste un buen comportamiento frente a los agentes de alteración.

La caliza blanca es una piedra fácilmente deleznable. Por su composición mineralógica (calcita), pequeño tamaño de sus cristales (micrita) y elevada porosidad (40%), es la piedra más susceptible a la disolución y la que presenta un peor comportamiento frente a los procesos de alteración.

La caliza granuda está constituida mayoritariamente por granos de calcita, ligeramente cementados, dejando grandes poros intergranulares. Presenta elevada porosidad (36%) y muy buena comunicación entre los poros, lo que le confiere una gran facilidad para absorber agua y también para perderla. Puede decirse que esta piedra presenta un comportamiento intermedio entre las dos anteriores.

La caliza oolítica está formada únicamente por calcita, con diferencias notables en el tamaño de los cristales. Así, en las variedades menos recristalizadas los oolitos están constituidos por calcita de tamaño micrita y disueltos en distintas proporciones, mientras que el cemento presenta grandes cristales. La piedra tiene una porosidad en torno al 28 %, siendo la comunicación entre sus poros más variable y en general mucho peor que en las

TIPO ROCOSO	POROSIDAD ABIERTA $n_p$ (%)	MACRO-POROSIDAD (%) ( $r > 7.5 \mu\text{m}$ )	MICRO-POROSIDAD (%) ( $r < 7.5 \mu\text{m}$ )	RADIO DE ACCESO DE PORO ( $\mu\text{m}$ )
Dolomía blanca	45.6	27.4	18.2	12
Caliza blanca	40.3	4.8	35.5	3
Caliza granuda	36.2	32.6	3.6	40
Caliza oolítica	27.8	4.2	23.6	0.06

Tabla II. Características porométricas de las piedras de la catedral de Palma de Mallorca.

Table II. Porometric characteristics of the stones of Palma de Mallorca cathedral.

anteriores. En consecuencia, el comportamiento de esta piedra frente a los procesos de alteración es también intermedio.

### Conclusiones

Además de esta alteración diferencial de los materiales pétreos de acuerdo con sus naturaleza petrofísica, se observa en la catedral un deterioro selectivo según la orientación y ubicación de las piedras en las fachadas del edificio, con distinta distribución de lesiones o formas de deterioro y diferentes grados o niveles de degradación.

Así, la fachada Sur o del Mar, es la más afectada por la acción del agua y los aerosoles marinos, dando lugar a sales solubles que favorecen la aparición de eflorescencias, alveolizaciones y desagregaciones granulares en la piedra. La fachada Norte (la más umbría y húmeda) presenta mayor crecimiento de organismos vegetales (especialmente de líquenes y algas) y mayor el biodeterioro. En la fachada Oeste o Principal, en particular

en las partes labradas de la Portada, es donde más se nota la incidencia de la contaminación atmosférica, con abundancia de pátinas de suciedad y costras (que contienen yeso y partículas sólidas de origen antropogénico). Finalmente en la fachada Este abundan los depósitos de polvo, las pátinas ocreas y de suciedad (según la exposición de las piedras a los agentes de alteración), el verdín (en las zonas más resguardadas y húmedas) y las pátinas de tinción por óxidos de hierro.

### Agradecimientos

Al Ministerio de Cultura por la financiación del estudio titulado "Diagnóstico de lesiones y análisis de las piedras de construcción de la Catedral de Palma de Mallorca". A la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno Balear y al Cabildo de la catedral de Palma de Mallorca, por las facilidades concedidas en la realización del trabajo. A la CICYT (Proyecto CC95-SEC 0501), por su colaboración en la infraestructura del equipo

TIPO ROCOSO	ABSORCIÓN DE AGUA $W_{2d}$ (%)	DESORCIÓN DE AGUA $W_{6d}$ (%)
Dolomía blanca	21	8
Caliza blanca	17	3
Caliza granuda	17	0.1
Caliza oolítica	2.6	0.5

Tabla III. Absorción y desorción libre de agua: Contenido en agua a los dos ( $W_{2d}$ ) y seis días ( $W_{6d}$ ), respectivamente; para las piedras de la catedral de Palma de Mallorca.

Table III. Free water absorption and desorption: Water content at two and six days; for the stones of Palma de Mallorca cathedral.

de trabajo. Al Dr. Lluís Pomar, de la Universidad de Palma de Mallorca, por su ayuda en la localización geológica de las piedras de la catedral.

### Referencias

- CNR-ICR (1981): Normal 7/81, 5 p.  
 CNR-ICR (1983): Normal 29/88, 8 p.  
 Connor, M; Girardet, F; Furlan, V. (1990): *Les aérosols antropogènes et l'alteration de la pierre*, Ecole Polytechnique, Lausana, 82 p.  
 Esbert *et al.* (1992): *Diagnóstico de lesiones y análisis de productos de alteración de la piedra de construcción de la catedral de Palma de Mallorca*. Informe de Investigación, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, 93 p.  
 Ordaz, J y Esbert, R.M. (1988): *Materiales de Construcción*, 38 (209), 39-45.  
 RILEM (1980): *Bulletin RILEM*, 13 (75), 216-220.  
 Sabbioni, C. (1992): *Electron Microscopy*, Vol. 2, Eurem 92, 773-776.