

Morfología macroscópica de alteración de la piedra de la Catedral de Cádiz, España

Macroscopical morphology of deterioration of the stone in the Cathedral of Cádiz, Spain

M. ALCALDE* y A. MARTÍN**
Universidad de Sevilla
ESPAÑA

Fecha de recepción: 16-IX-90

RESUMEN

Dos son los factores de alteración que han determinado el estado actual de alteración de la Catedral de Cádiz, uno natural y otro antropogénico. Por una parte la presencia de sales, condicionada tanto por el ambiente atmosférico como por la ascensión capilar desde el subsuelo de soluciones salinas; por otra, las vicisitudes sufridas por el templo durante su construcción, desprotegido del medio largos períodos de tiempo tanto interior como exteriormente, el mal uso del mismo y las escasas actuaciones de mantenimiento. Los mecanismos de aumento de volumen en capilares e intersticios ligados a la cristalización y disolución, e hidratación y deshidratación de sales, han provocado graves alteraciones en los litotipos foráneos, siendo los indicadores de alteración más típicos en esta Catedral las fragmentaciones en las calizas compactas, disyunciones y pulverizaciones en los mármoles, y esferulencias de forma general; la autóctona ostionera, en buen equilibrio con el medio, presenta un buen estado de conservación.

El interior de la Catedral, contrariamente a lo usual, se encuentra mucho más degradado que el exterior y su estado es tal que se hace difícil ya su recuperación.

SUMMARY

Two factors have determined the actual deterioration state of the Cathedral of Cádiz, one is natural and the other is anthropogenic. On one hand, the presence of salts conditioned by atmospherical environment and saline solutions of the rising damp; on the other hand, the vicissitudes suffered by the temple during its construction, having been unprotected for long periods of time both internally and externally, the bad use of the building and the little maintenance carried out on it. The crystallization and dissolution, and salt hydration and dehydration mechanisms have provoked serious deteriorations in the foreign lithotypes: spalling in compact limestones, chipping and pulverizations in marbles; the autochthonous "ostionera", well-balanced in the medium, presents a good state of conservation. The interior of the Cathedral, contrary to the normal, is much more degraded than the exterior.

INTRODUCCIÓN

La gran prosperidad alcanzada por Cádiz en el siglo XVIII, el crecimiento de la ciudad y el hecho de que su puerto se fuese convirtiendo en uno de los más importantes del mundo, hicieron que la vieja iglesia de Santa Cruz, de finales del XVI, se considerase pequeña y poco acorde con la nueva situación. En 1722 comenzaron las obras, que habrían de estar llenas de vicisitudes, de gran importancia éstas en los procesos de alteración de la piedra. En la Tabla 1 se expone un calendario de las mismas, con los datos más significativos.

INTRODUCTION

The great prosperity reached by Cádiz in the eighteenth century, the growth of the city and the fact that its port was becoming one of the most important in the world made old Santa Cruz church, built at the end of the sixteenth century, seem small and not in being with the new situation. In 1722 work began being full of ups and downs, these being of great importance in the processes of deterioration of the stone. The Table 1 shows a calendar of these works with their most significant data.

* Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental.

** Dpto. de Química Analítica.

TABLA 1
Datos más significativos de la construcción
de la Catedral de Cádiz

14-01-1722	Comienzan las obras.
03-05-1722	Colocación de la primera piedra.
12-1769	Las bóvedas laterales quedan cubiertas.
1796	Se paralizan las obras. La iglesia se utiliza como almacén de pertrechos de guerra, de madera, depósito de cadáveres, cordelería, etc. La cúpula del crucero ha quedado abierta así como las bóvedas del trascoro.
06-01-1832	Se incendia la capilla de San Firmino. Se reanudan las obras.
30-07-1835	Se cierra la cúpula.
28-11-1838	Se consagra el templo sin terminar las obras.
21-02-1839	Nota del Cabildo en que se da cuenta de que se desprenden relieves de las bóvedas.
1853	Se finalizan las obras sin construir el Sagrario ni la Sala y Dependencias Capitulares.
18-10-1947	Se rompen los cristales de las ventanas y contraventanas debido a la explosión del polvorín de Cádiz.

TABLE 1
*The most significant data in the construction
of the Cathedral of Cádiz*

14-01-1722	<i>Work begins.</i>
03-05-1722	<i>Laying of the first stone.</i>
12-1769	<i>Lateral vaults are covered.</i>
1796	<i>Work stopped. The church is used as a warehouse for war supplies, wood, corpse deposit, rigging, etc. The dome of the cross-bearer is opened as well as the vault behind the choir.</i>
06-01-1832	<i>The chapel of San Firmino is set on fire. Work is recommenced.</i>
30-07-1835	<i>The dome is closed.</i>
28-11-1838	<i>The temple is consecrated without the works being finished.</i>
21-02-1839	<i>Chapter council's note in which they inform that the embossments of the vault are falling off.</i>
1853	<i>Work is finished without constructing the sacristy nor the hall of capitulary affairs</i>
18-10-1947	<i>The windows and shutters are broken due to the explosion of the powder-magazine in Cádiz.</i>

1. ENTORNO AMBIENTAL

La Catedral de Cádiz se encuentra situada al mediodía de la ciudad, junto al mar, separada de éste tan sólo por el paseo marítimo. Frente a la fachada Principal, orientada al Norte, se extiende una plaza; por el lado Sur tiene adosadas las dos Sacristías y la Capilla de las Reliquias, y por el lado de Occidente la Sacristía Mayor con la Antesacristía.

1.1. Clima

Cádiz pertenece a la región climática continental atenuada, área Sur. De los datos aportados por el Instituto y Observatorio de la Marina de San Fernando (Cádiz) y por el Instituto Nacional de Meteorología entre los años 1961 y 1985, se pueden extraer las siguientes conclusiones más importantes:

Las temperaturas son altas gran parte del año, siendo agosto el mes más cálido, con una media en sus temperaturas máximas diarias de 27,7°C. Puede descartarse la influencia de heladas pues el mes más frío es enero, y la media de sus temperaturas diarias es de 5,5°C. Las oscilaciones diarias de temperatura (máxima-mínima) tienen un valor medio a lo largo del año de 13,3°C, siendo máximo en julio con 14,7°C de oscilación media.

1. ENVIRONMENTAL SURROUNDINGS

The Cathedral of Cádiz is located in the South of the city next to the sea, only separated from this by the Maritime Walk. There is a square in front of the main facade which faces North; there are two Vestries and the Capilla de las Reliquias on the Southern side and the main vestry and antevestry on the Western side.

1.1. Climate

Cádiz belongs to the attenuated continental climatic region, Southern area. The most important data, obtained from readings taken by the San Fernando (Cádiz) Marine Naval Institute and Observatory and the National Institute of Meteorology between 1961 and 1985 are as follows:

The temperatures are high during a great part of the year, August being the hottest month with an average daily maximum temperature of 27,7°C. In respect, the influence of frosts can be discarded as the coldest month is January and the average daily minimum temperature is 5,5°C. The daily oscillation of temperature (maximum-minimum) has an average during the year of 13,3°C, July being the highest one with an average oscillation of 14,7°C.

La humedad relativa media anual es del 75 %, alcanzando sus valores máximos en enero y diciembre con una media diaria del 82 % y mínimos en julio y agosto en que, aún así, la media es del 69 %. Desde octubre a marzo la humedad relativa media mensual se mantiene por encima del 75 %. Las máximas oscilaciones en la humedad relativa, comparando los valores máximos y mínimos de cada día, se dan en julio, con incrementos de tan sólo 25 %; las menores oscilaciones son del 11 % en enero.

La precipitación media anual es de 596 l/m². Noviembre es el mes de mayor media pluviométrica con 113 l/m² y julio el de menor, con 0,3 l/m².

Las direcciones dominantes de los vientos a lo largo del año son la ESE, que representa alrededor del 45 %, y la ONO, el 30 %. La dirección de la velocidad máxima es por lo general la ESE, con una media de los valores máximos absolutos anuales de 83 km/h; por tanto, vientos fuertes. La velocidad media anual es de 16 km/h.

1.2. Contaminación

No se dispone de datos acerca de la contaminación pero, dadas las características urbanísticas y climatológicas del ámbito, se pueden hacer algunas consideraciones.

En general la zona, adyacente al mar, está bien barrida por los vientos, por lo que la renovación de aire es frecuente y los valores de inmisión de contaminantes de origen antropogénico cabe suponer que son bajos. No así los aerosoles marinos que los vientos dominantes arrastran desde el mar y que inciden sobre el edificio, sobre todo en la fachada Sur que es incluso salpicada por agua en los días de fuerte oleaje, más aún antes de haber sido construido el actual paseo marítimo. Los humos alcanzan mayor concentración en la plaza situada al Norte, con tráfico rodado y más protegida de los vientos.

1.3. Subsuelo

La situación topográfica del edificio, muy próxima al mar, origina la presencia de una importante humedad ascendente muy rica en sales que afecta, sobre todo, a los muros de la cripta.

2. MATERIALES PETREOS

Los principales materiales pétreos empleados en la construcción de la Catedral de Cádiz son los siguientes: Los cimientos y las hiladas

The average yearly relative humidity is 75 % reaching its maximum values in January and December at 82 % and minimum values in July and August when, even then, reach 69 %. From October to March the average monthly relative humidity is above 75 %. The maximum oscillations in relative humidity, comparing the maximum and minimum values of each day, are in July, with increases of only 25 %; the lowest oscillations are about 11 % in January.

The average yearly rainfall is 596 l/m². November is month with the highest average rainfall of 113 l/m² and July lowest with 0.3 l/m².

The dominating direction of winds during the year is ESE, which represents about 45 % and WNW at 30 %. ESE is generally the direction of the maximum speed of winds with an average yearly maximum of 83 km/h; so the winds are strong. The average yearly wind speed is 16 km/h.

1.2. Pollution

We do not have at our disposal data about the contamination but given the urban characteristics and scope climatology, some considerations can made.

In general, the area, next to the sea, is well swept by the winds so the renewal of air is frequent and we suppose that the immission values of anthropogeneous contaminants are low. Not so the marine aerosols which the dominating winds bring from the sea and strike on the building, above all the Southern face which is even splashed by sea water on days of strong waves, more so before the maritime walk was built. Smoke reaches its maximum concentration in the square situated to the North, with circulating traffic and more protected from the winds.

1.3. Subsoil

The topographical situation of the building, very near the sea, originates the presence of an important rising damp very rich in salts which affects, above all, the walls of the crypt.

2. PETROUS MATERIALS

The main petrous materials employed in the construction of the Cathedral of Cádiz are the following. The foundations and inside lines of

interiores del primer cuerpo de fábrica son de una *biocalcareita* procedente de la cantera de Puerto Real (Cádiz), de textura grosera con abundantes fósiles, de gran resistencia. Las hiladas del segundo cuerpo, cerramientos y algunas capillas laterales son de una *caliza oolítica* del Torcal de Antequera, muy compacta y densa. Las pilastras del segundo cuerpo, el cascarón de la fachada principal y el cuarto de esfera de la Capilla Mayor son de *caliza oolítica* procedente de Estepa (Sevilla), también compacta y densa, aunque algo menos que la anterior. Las placas de cubrimiento del primer cuerpo, los capiteles y columnas y las portadas laterales de la fachada principal son de mármol de Mijas, dolomítico. Vázquez (1986) ofrece una más exhaustiva relación de materiales.

3. MORFOLOGIA MACROSCOPICA DE LAS ALTERACIONES

Se hará una descripción por fachadas, comenzando por la Principal, orientada al Norte. Dentro de cada fachada, tras unas consideraciones previas acerca de los litotipos existentes, clima, urbanismo, ambiente y agentes biológicos, se hace una descripción de los *indicadores visuales de alteración*, siguiendo un criterio ordenado en el cual se estudian las modificaciones superficiales, disyunciones, deformaciones, eliminaciones de materia y rupturas, empleando para ello los términos sistematizados por los autores (Martín, 1990).

3.1. Fachada Principal

Se distinguen fundamentalmente dos tipos de piedra cuya distribución se aprecia con facilidad debido a la gran diferencia de color entre ambas (Figura 1a). La mitad inferior de la fachada es de una caliza oscura del tipo de Manilva y la superior es de caliza blanca oolítica del tipo de Estepa, más compacta y con mejor acabado superficial. En la bibliografía se designan también Mijas e Isla de León como canteras suministradoras de caliza blanca. Otros materiales empleados son mármol blanco en los frontones de las puertas y jaspe (mármol coloreado) en las molduras y en las columnas. En los zócalos se ha empleado una caliza compacta de color gris. Se observa la presencia de morteros utilizados como material de reparación, en lugares que posiblemente se encontraban alterados por la humedad ascendente.

La fachada se encuentra orientada al Norte y le antecede una plaza con tráfico rodado y donde el aparcamiento de automóviles está permitido y regulado por el Ayuntamiento. La regulación se entiende referida al límite de tiempo de

the first body of the building are a biocalcareite from the Puerto Real quarry (Cádiz) of coarse texture with abundant fossils of great resistance. The lines of the second body, partition walls and some lateral chapels are an oolitic limestone from Torcal de Antequera, very dense and compact. The pilasters of the second body, the shell of the main facade and the sphere room of the main chapel are an oolitic limestone from Estepa (Seville) also compact and dense although a little less than the former. The plaques covering the first body, the capitals and columns and the lateral portals of the main facade are dolomitic marble from Mijas. Vázquez (1986) offers a more detailed relationship of materials.

3. MACROSCOPIC MORPHOLOGY OF THE DETERIORATIONS

A description by façades will be made, starting with the Main one, facing North. A description of the visual indicators of deterioration on each façade, after some previous considerations about the existing lithotypes, climate, urbanism, environment and biological agents, is made following a methodical criteria in which the superficial modifications, disjunctions, deformations, eliminations of material and ruptures, using the systematized terms by the authors (Martín 1990) are studied.

3.1. Main façade

Two types of stone are basically distinguished whose distribution is easily appreciated due to the great difference in colour between both (Figure 1a). The lower half of the façade is a dark limestone, Manilva-type and the higher a white limestone, oolitic Estepa-type, more compact and with a better superficial finishing. In the bibliography, Mijas and Isla de León quarries are also cited as suppliers of the white limestone. Other materials used are white marble in the pediments of the doors and coloured marble in the chaplets and columns. In the socles a compact grey limestone has been employed. The presence of mortars used as repairing material has been observed in places which were possibly deteriorated by the rising damp.

The façade is oriented towards the North and before it lies a square with circulation traffic and where parking is allowed and regulated by the Town Hall. The regulation is understood to refer to the time limit for parking, not to the

estacionamiento, no al uso de una superficie moderada para el mismo. Tanto la frecuente remoción de vehículos, que al arrancar producen gran cantidad de in quemados, así como la libre circulación de los mismos, hacen que el ambiente se encuentre contaminado por materia particulada carbonosa.

Existen desarrollos de colonias de líquenes, cuya mayor proliferación se da en superficies horizontales o rampantes, como en las molduras de los zócalos.

La formación de depósitos superficiales de materia carbonosa, que en esta fachada es donde adquieren mayor relevancia, se ve favorecida por dos factores. Por un lado, la caliza oscura de la mitad inferior de la fachada, al ser más porosa y menos pulimentada que la blanca, la retención de suciedad se da de forma casi homogénea en toda la superficie, quedando más limpias sólo las esquinas, más barridas por el viento, y las lavadas por el agua vertida por algún elemento superior (Figura 1a). Sin embargo, la caliza blanca presenta las mayores deposiciones debajo de las cornisas, donde la retención de humedad y el desarrollo de microorganismos favorecen la fijación y coherencia de los depósitos, quedando el resto de la superficie más limpia (Figura 1a). Las portadas laterales, de mármol blanco, se encuentran completamente ennegrecidas por los depósitos, quedando al descubierto sólo las zonas lavadas por el agua de chorreo (Figura 1b). En elementos salientes como molduras, zócalos, estilóbatos, etc. existen depósitos de guano de palomino (Figura 1 c).

La aparición de eflorescencias es aquí irrelevante en comparación con el resto del edificio, sobre todo con el interior, pero también existen algunas, sobre todo en las juntas de los bloques de mármol de las portadas laterales.

En las zonas con leves ciclos de humedad se produce el desprendimiento de los depósitos en forma de *disyunciones de películas* que dejan el material subyacente casi inalterado o con ligeras *desagregaciones* (Figura 1d), pero donde dichos ciclos son más intensos, como es debajo de las cornisas, son frecuentes las *desgregaciones* (Figura 1e) con pérdidas puntuales de materia que pueden terminar en *pícampos*. Este efecto cornisa es más pronunciado en la caliza oscura que en la blanca y más en las cornisas de los niveles bajos que en los altos. Las columnas, bases y entablamento de la portada principal, así como los mismos elementos en la ventana superior, junto con su frontón, presentan un estado generalizado de *pícampos* (Figura 1f).

use of a moderate surface for it. The frequent removal of vehicles, which on starting produce a great quantity of smokes, as well as the free circulation, contaminate the environment with carbonaceous particles.

The biggest development of colonies of lichens is on the horizontal or rampant surfaces, like in the cap of the socles.

The formation of superficial deposits of carbonaceous material which on this façade acquires a greater importance is favoured by two factors. On one hand, the dark limestone of the lower half of the façade, being more porous and less polished than the white one, the retention of dirtiness is nearly homogeneous on all the surface, only the corners, more windswept and washed by water from some superior element are cleaner (Figure 1a). However, the white limestone presents the larger deposits underneath the cornices, where the retention of humidity and the development of micro-organisms favours the fixing and coherency of the deposits, the rest of the surface being cleaner (Figure 1a). The lateral portals, of white marble, are completely backened by the deposits, only the areas washed by dripping water being open to the air (Figure 1b). On the salient elements such as chaplets, socles, stylobates, etc. does seabird's dung exist.

The presence of efflorescencies is irrelevant here in comparison with the rest of the building, above all inside; but there are also some efflorescencies above all in the joints of the marble blocks in the lateral portals.

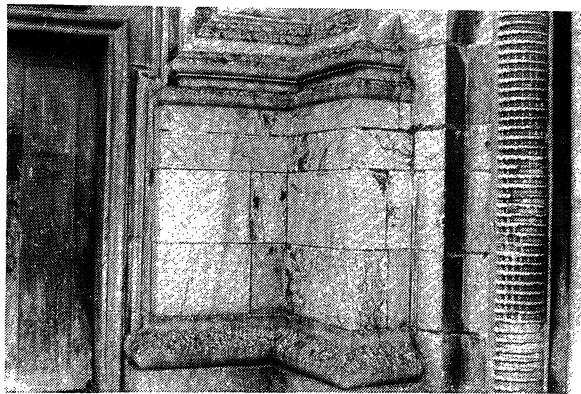
In areas with slight humidity cycles the falling of deposits is in the form of film disjunctions which leaves the underlying material almost unaltered or with slight disaggregations (Figure 1d), but where the aforementioned cycles are more intense, as under cornices, disintegrations are frequent (Figure 1e) with losses of material which can end up as pitting. This cornice effect is more pronounced in the dark limestone than in the white and more in the lower cornices than the higher ones. The columns bases and entablature of the main portal as well as the same elements of the superior window together with its pediment present a general state of pitting (Figure 1f).



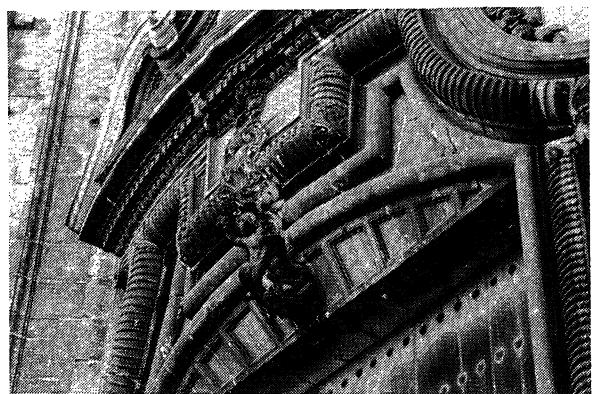
- a) Depósitos carbonosos debajo de las cornisas y en áreas protegidas.
a) Carbonaceous deposits underneath the cornices and protected areas.



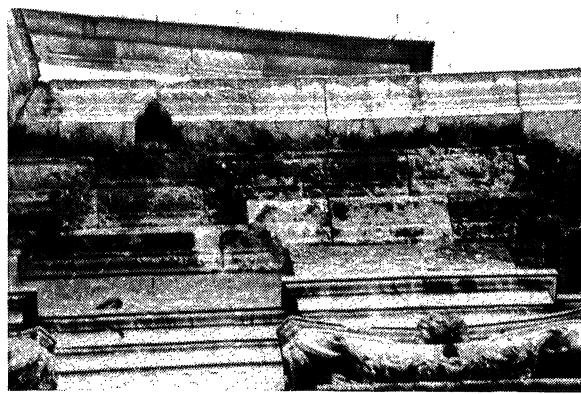
- b) Depósitos sobre el mármol blanco y contraste con zonas lavadas.
b) Deposits on the white marbles and contrast with the washed areas.



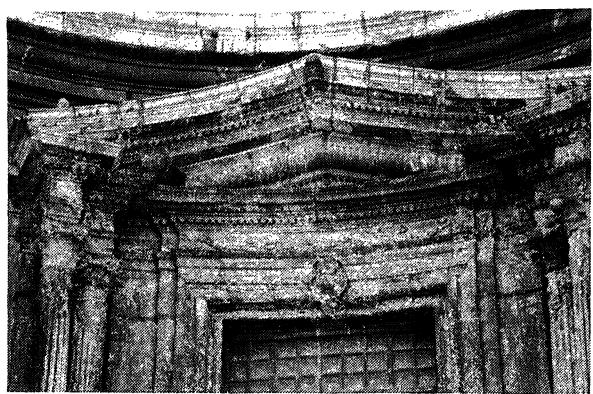
- c) Depósitos orgánicos de guano de paloma.
c) Organic deposits of sea-bird dung.



- d) Disyunciones de películas en superficies con depósitos coherentes.
d) Scale disjunctions on surfaces with coherent deposits.



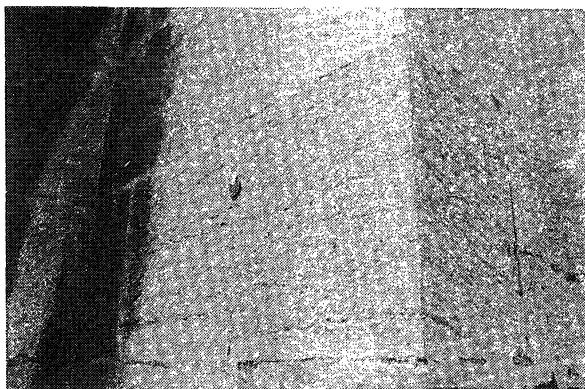
- e) Disgregaciones superficiales debajo de los depósitos.
e) Superficial disintegrations underneath the deposits.



- f) Picados en la caliza de la portada.
f) Pitting in the limestone on the portal.

Figura 1.—Indicadores de alteración. Fachada Principal. 1.^a lámina.

Figure 1.—Indicators of deterioration. Main Façade. 1.st picture.



a) Estriados en la caliza gris de los zócalos.

a) Striations in the grey limestone in the socles.



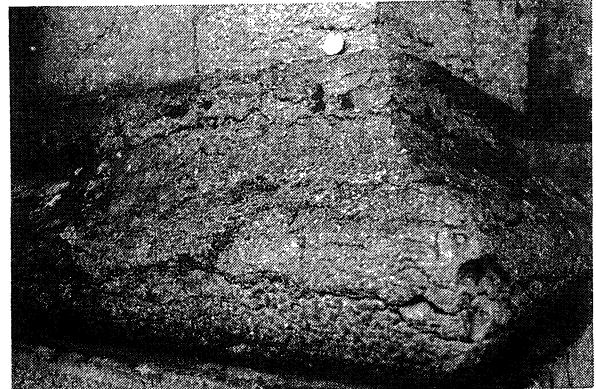
b) Rupturas diversas en el jaspe de las molduras de la portada.

b) Diverse ruptures in the coloured marble of the portal chaplets.



c) Gran fisura en una de las columnas de la portada.

c) A great fissure in one of the columns of the portal.



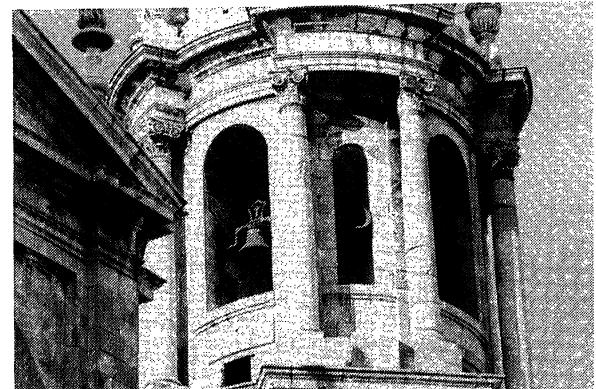
d) Fracturas y fisuras en la caliza de los zócalos.

d) Cracks and fissures in the limestone of the socles.



e) Fragmentaciones angulosas en la caliza gris compacta.

e) Angulated spalling in the compact grey limestone.



f) Alteraciones en las torres, distribuidas según la orientación.

f) Deteriorations in the tower distributed according to the orientation.

Figura 2.—Indicadores de alteración. Fachada Principal. 2.^a lámina.

Figura 2.—Indicators of deterioration. Main Façade. 2.nd picture.

En la caliza oscura del primer cuerpo se pueden encontrar alteraciones diferenciales entre unos bloques y otros, de forma que junto a sillares cuyas únicas alteraciones son la pátina del tiempo y los depósitos superficiales, otros presentan arenizaciones, picados, alveolizaciones y estriados. También se observan estriados en la caliza gris de los zócalos (Figura 2a).

Los denominados jaspes rojos de las molduras de los estilóbatos y de las jambas de la portada principal, que realmente son mármoles coloreados, ofrecen gran número de fracturas superficiales que conducen a la pérdida de multitud de pequeños fragmentos en las partes más angulosas, y en forma de escamas en las superficies planas, que le confieren un cierto aspecto de "picado de viruela", aun cuando no se trate de alveolizaciones (Figura 2b).

Una de las columnas de la portada presenta una gran fisura (Figura 2c), así como también uno de los plintos. En las pilastras que articulan la calle central de la fachada con las laterales, gran multitud de fracturas, fisuras y fragmentaciones, hasta una altura de algo más de dos metros, han querido ser ocultadas con cemento, pero éste se ha desprendido en parte, reproduciendo la alteración subyacente a la manera de una radiografía. En la caliza gris de los zócalos, además de los estriados ya comentados, las fisuraciones también parecen seguir la orientación de los lechos (Figura 2d) y son muy numerosos los casos de fragmentaciones, sobre todo en los ángulos de los sillares, con desprendimiento de trozos de pequeñas dimensiones que dejan huecos muy angulosos (figura 2e).

En las torres que flanquean la fachada, de caliza blanca, se dan todos los tipos de alteraciones antes mencionados pero distribuidos con ciertos criterios (Figura 2f). Por un lado, las superficies orientadas al Norte, sobre todo las más protegidas de la lluvia como es debajo de las cornisas, presentan depósitos negros que cuando se desprenden dejan la superficie subyacente disgregada. Por el contrario, las superficies orientadas al Sur, incluso debajo de las cornisas, se encuentran limpias, excepto en ciertas partes protegidas del viento, como entre los capiteles de las parejas de columnas. Sin embargo en esta orientación, o más bien al Sudeste, es donde aparecen con mayor frecuencia las alteraciones producidas por mecanismos en que el viento tenga un papel preponderante, es decir, picados y alveolizaciones, con carácter diferencial de unos bloques a otros.

En resumen, las alteraciones que pueden destacarse en esta fachada resguardada de los vientos dominantes fuertes y umbría, son los

In the dark limestone of the first body, differential deteriorations between some blocks and others can be found, so that next to ashlar whose only deteriorations are the patina of the weather and superficial deposits, others present grain segregations, pitting, alveolar erosions and striations. Striations have also been observed in the grey limestone in the socles (Figure 2a).

The so-called red jasperite of the chaplets of the stlobates and the door-jambs of the main portal, which are really coloured marbles, offer a great number of superficial cracks which lead to the loss of a multitud small fragments in the most angulated parts, and in chipping form on the smooth surfaces which gives them a certain look of "small-pox pitting", even when it is not talking about alveolar erosions (Figure 2b).

One of the columns of the portal presents a great fissure (Figure 2c); as well as one of the plinths. In the pilaster which joins the central lane of the façade to the lateral ones a great multitud of cracks, fissures and spalling, up to a height of somewhat more than two metres, they have endeavoured to hide with cement, but this has partly fallen off, reproducing the underlying deterioration in the way of a radiograph. In the grey limestone of the socles, besides the striation already commented on, the fissuring also seems to follow the orientation of layers (Figure 2d) and the cases of spalling are very numerous, above all in the angles of the ashlar with the loosening of small pieces which leave very angulated gaps (Figure 2e).

In the towers of white limestone which flank the façade all the aforementioned types of deterioration are given but distributed with certain criteria (Figure 2f). On one hand, the surfaces facing North, above all those most protected from the rain such as those under the cornices, present black deposits which when they fall off leaves the underlying surface disintegrated. On the other hand, the surfaces facing South, including those under the cornices, are clean except in certain parts protected from the wind as those between the capitals of the pairs of columns. However, in this orientation or perhaps better to the South East is where the deteriorations produced by mechanisms in which the wind has a prevailing role, i.e., pitting and alveolar erosions, are most frequently found with a differential characters from some blocks to others.

In summary, the deteriorations which are outstanding in this façade, sheltered from the dominant winds and shade, are the desposits

depósitos acompañados de disgragaciones, mayores debajo de las cornisas de los niveles inferiores; un picado que se extiende de forma generalizada por toda la portada, y las rupturas en sus diversos grados que afectan fundamentalmente a los zócalos.

3.2. Fachada Oeste

La torre, como ya se ha descrito en la fachada principal, está construida en su mitad superior con caliza blanca y en la mitad inferior con caliza oscura tipo Manilva, siendo el zócalo de caliza gris. El resto de la fachada es, fundamentalmente, de biocalcarenita ostonera que, en la portada de San Guzmán se ha aplicado con caliza blanca y mármol, y en el cerramiento de la sacristía con pizarra gris. Los marcos de las ventanas son de caliza blanca, así como todo el cuerpo superior. La cúpula del crucero está cubierta de azulejos de color naranja. Dada las diferencias de color y de textura macroscópica, esta distribución de materiales puede apreciarse a simple vista (Figura 3a). La piedra ostonera, tal vez por su aspecto tosco, debió ser cubierta de un enlucido que ha desaparecido casi por completo, quedando sólo algunos restos endurecidos en los bordes de los grandes huecos naturales de esta piedra, lo que le confieren cierto aspecto coralino. Como es habitual, también se aprecian reparaciones realizadas con cemento.

Dada la orientación al Oeste, la fachada está resguardada de los fuertes vientos dominantes de levante (más bien ESE) pero, sin embargo, recibe los más suaves pero también frecuentes vientos de poniente (ONO). La calle adyacente está abierta al tráfico de automóviles.

Los agentes biológicos más abundantes son los líquenes que cubren las superficies rampantes, así como la cúpula y el cupulín de la linterna de la antesacristía; en esta área es donde existen las zonas más umbrías, con unos escalones húmedos donde crece el musgo. El desarrollo de plantas superiores se da con carácter esporádico (Figura 3b). Debajo de las cornisas, sobre todo en los niveles inferiores y en las zonas más umbrías, pueden llegar a formarse grandes costras biológicas; es el caso de la Figura 3c, correspondiente al lienzo Norte de la sacristía; además de ser umbría, tiene rotos los aleros, el agua penetra en el interior de la piedra y ésta permanece en estado de constante humedad.

Los depósitos superficiales ennegrecen la portada de San Guzmán, sobre todo las capitelas de los contrafuertes y bajo las cornisas, más en el primer cuerpo que en los

acompañados by disintegrations, greater under the cornices of the lower levels; a pitting which spreads in a generalized way all over the face, and the ruptures in his different degrees which fundamentally affect the socles.

3.2. Western Façade

The tower, as has already been described on the main façade, has been built with white limestone in its higher half while a Manilva-type, dark limestone was used in the lower half; a grey limestone was used for the socle. The rest of the façade is basically "ostonera" biocalcarenite and the enclosing wall of the sacristy a grey slate. The frames are white limestone as is the higher body. The dome of the cross-bearer is covered by orange-coloured tiles. The distribution of materials can be seen at once due to the colour differences and macroscopical textures (Figure 3a). The "ostonera" stone, perhaps due to its coarse appearance, must have been covered with a coat of plaster which has nearly disappeared, leaving only some hardened remains on the edges of the large natural gaps of this stone which gives a coralline appearance. As is usual, repairs carried out in cement have been found.

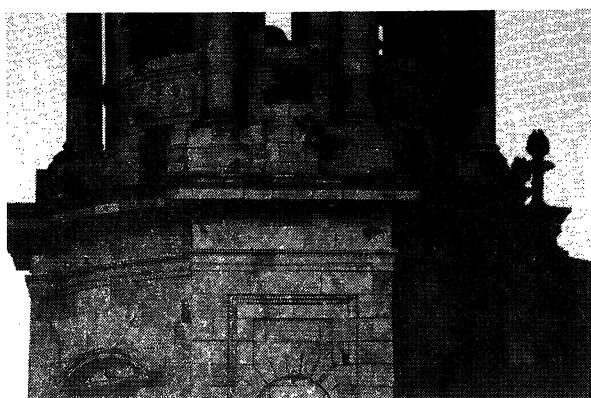
Due to its orientation to the West, this façade is sheltered from the strong dominating Easterly winds (really ESE) however, it receives the lighter yet frequent Westerly winds (WNW). The adjacent street is open to traffic.

The most abundant biological agents are lichens which cover the rampants as well as the dome and small dome of the lantern in the lantern in the antesacristy; this is the place where the most shaded areas are found with humid stairs where moss grows. The development of higher plant life is sporadic (Figure 3b). Under the cornices, above all the lower levels and in the more shaded areas, large biological crusts can be formed; this is the case in Figure 3c corresponding to the Northern face of the sacristy. Besides being shaded the eaves are broken and water penetrates into the stone and this remains in a state of constant humidity.

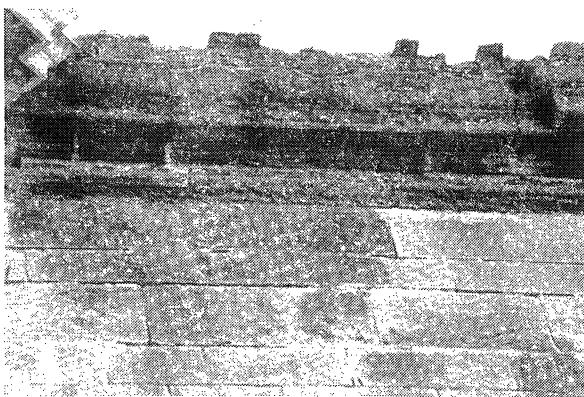
The superficial deposits blacken the Portada de San Guzmán, above all on the capitals of the buttresses and under the cornices, more on the first body than on the higher ones and



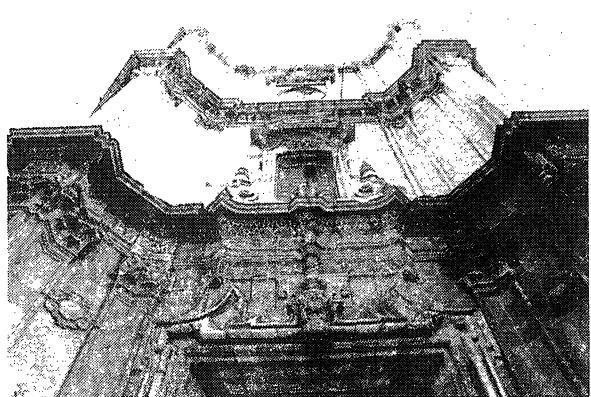
- a) Diferentes litotipos empleados en la construcción de esta fachada.
a) *Different lithotypes used in the construction of this façade.*



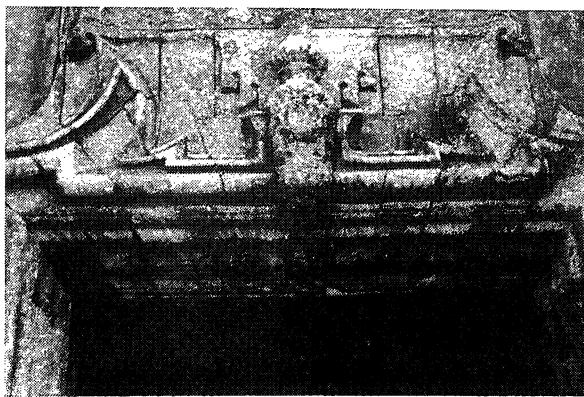
- b) Crecimiento esporádico de plantas superiores.
b) *Sporadic growth of higher plantlife.*



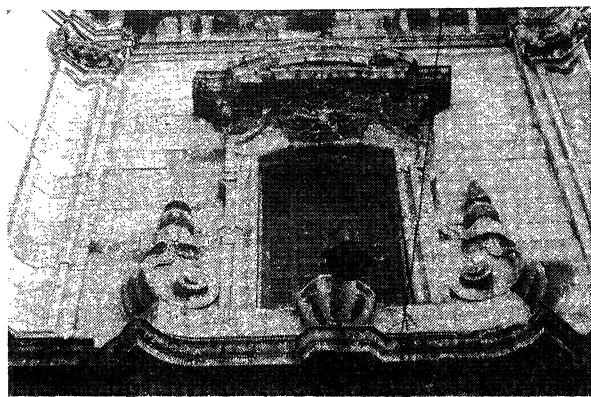
- c) Costras biológicas debajo de las cornisas orientadas al Norte.
c) *Biological crust under the cornices oriented to the North.*



- d) Depósitos superficiales, mayores en los niveles bajos y a la derecha.
d) *Superficial deposits, greater at lower levels and to the right.*



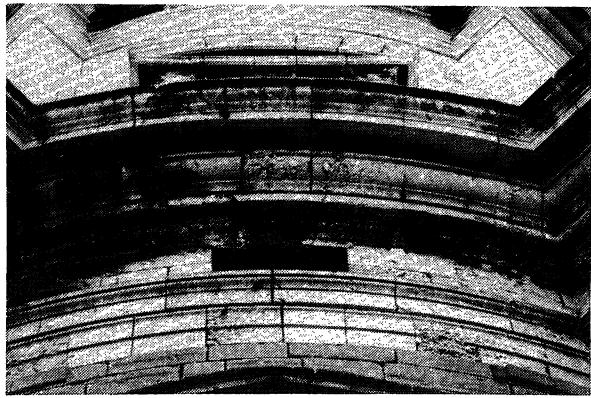
- e) Desagregaciones y disgragaciones en la portada.
e) *Disaggregations and disintegrations on the portal.*



- f) Desagregaciones en la caliza de la ventana.
f) *Disaggregations in the limestone of the window.*

Figura 3.—Indicadores de alteración. Fachada Oeste. 1.^a lámina.

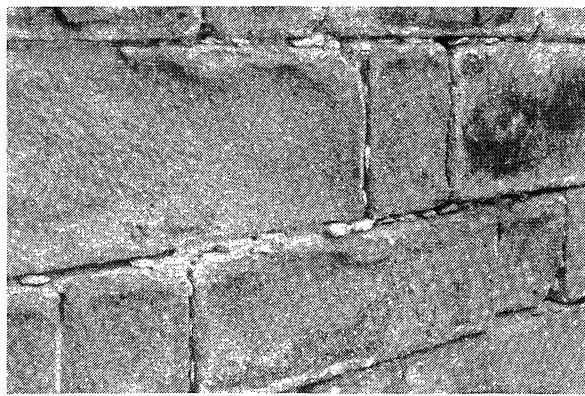
Figure 3.—Indicators of deterioration. Western Façade. 1.st picture.



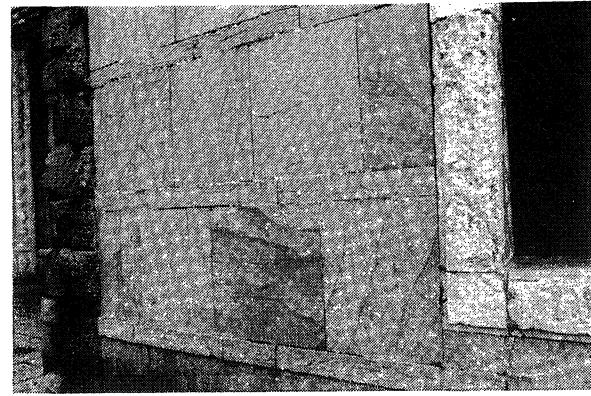
- a) Desagregaciones y disgragaciones en la caliza de las cornisas.
a) Disaggregations and disintegrations in the limestone of the cornices.



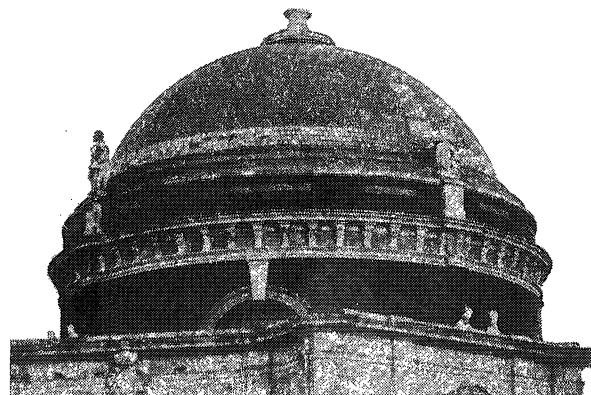
- b) Pulverizaciones en la caliza de las ventanas.
b) Pulverizations in the limestone of the windows.



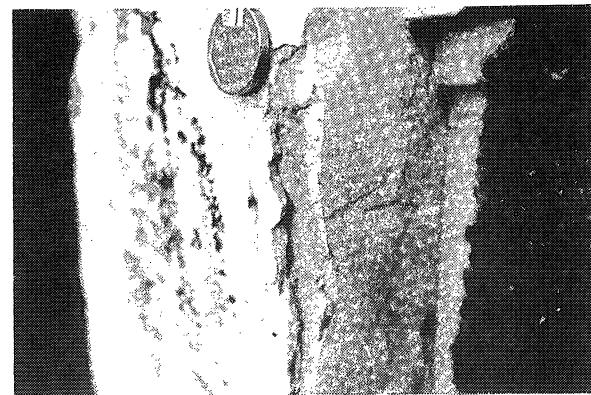
- c) Arenizaciones en la calcarenita de algunos muros.
c) Grain disgregation in the calcarenite of some walls.



- d) Alveolizaciones en la caliza y exfoliaciones en la pizarra.
d) Alveolar erosions in the limestone and exfoliations in the slate.



- e) Erosión en las ménsulas y estatuas que coronan el tambor.
e) Erosion in the brackets and statues which crown the drum.



- f) Disyunciones de placas y fracturas en la caliza de la portada.
f) Plaque disjunction and cracks in the limestone of the portal.

Figura 4.—Indicadores de alteración. Fachada Oeste. 2.^a lámina.

Figure 4.—Indicators of deterioration. Western Façade. 2.nd picture.

superiores, y más en el lado derecho (orientado al Norte) que en el izquierdo (al Sur) (Figura 3d). En los huecos de la piedra ostionera del paramento Sur de la sacristía, expuesto tanto a los vientos de levante como a los de poniente, aparecen depósitos de sales cuya procedencia cabe atribuirla más a los aerosoles marinos que al interior, así como también a los morteros abundantes en esta zona. Análisis de estos depósitos arrojan un alto contenido en cloruros y sulfatos (Vázquez, 1987).

Los depósitos presentan frecuentes *disyunciones* en forma de *películas*, apareciendo el material subyacente con decohesiones en sus diversos grados. También se presentan estos indicadores en el dintel de la portada donde, por diferencias en las propiedades entre unos bloques y otros, unos se encuentran inalterados, otros presentan *desagregaciones* y otros *disgregaciones* (Figura 3e). En el segundo cuerpo, la ventana presenta un estado generalizado de *desagregación* (Figura 3f), y el tercer cuerpo es el menos alterado, excepto el dintel de la ventana del lienzo izquierdo, degradado por *disgregación*. Debajo de las cornisas vuelven a aparecer alteraciones diferenciales, siendo frecuentes las *disgregaciones* (Figura 4a). En la compacta caliza de algunas ventanas se llega a verdaderas *pulverizaciones* (Figura 4b). Es interesante observar que en la calcarenita de la sacristía se presentan *arenizaciones* pero, contrariamente a lo habitual, localizadas en el centro de los sillares, conservándose mejor las aristas y esquinas (Figura 4c). Parece razonable pensar en el aporte de carbonato cálcico de los numerosos trozos calcáreos utilizados como enripiado en las uniones entre bloques, morteros de cal, etc.

En los marcos de caliza blanca de las ventanas de la sacristía existen *alveolizaciones* profundas, casi *cavernas* (figura 4d), y los elementos más expuestos al viento, como las ménsulas y esculturas de la cúpula presentan erosiones (Figura 4e), aunque en menor grado, como se verá, que en las fachadas Sur y Oeste.

Disyunciones de naturaleza muy diferente a las mencionadas con los depósitos, debidas en este caso a factores intrínsecos a la piedra, son las separaciones de *placas* que, junto con *fracturaciones*, se dan en la caliza de la portada, en zonas cercanas al suelo (Figura 4f). Un gran contraste con la caliza de las ventanas ofrecen las *exfoliaciones* de las pizarras de los aplacados de la sacristía (Figura 4d).

more to the right side (oriented to the North) than the left (to the South) (Figure 3d). In the openings of the "ostionera" stone of the Southern parament of the Sacristy, which is more exposed to the Eastern and Western winds, salt deposits appear in this area which could be put down to marine aerosols and abundant mortars rather than interior origin. Analysis of these deposits show a high chloride and sulfate content (Vázquez, 1987).

The deposits show frequent disjunctions in film form with the underlying material having decohesions at different degrees. These indicators are also shown in the door-head where, due to differences in property between blocks, some are unaltered, some show disaggregations and others disintegrations (Figure 3e). On the second body the window shows a general state of disaggregation (Figure 3f) and the third body is the least deteriorated except the window lintel in the left wall which is degraded by disintegration. Differential deteriorations reappear underneath the cornices, disintegrations being frequent (Figure 4a). Some real pulverizations are arrived at in the compact limestone of some windows (Figure 4b). It is interesting to observe that the calcarenite of the Sacristy shows grain disgregation while, contrary to normal, the salient angles and corners located in the centre of the ashlers are better conserved (Figure 4c). It seems reasonable to think that this is due to the contribution of the calcic carbonate of the numerous calcareous pieces used as packing in the joints between blocks and lime mortars, etc.

In the white limestone window-frame of the Sacristy there are deep alveolar erosions, almost craters (Figure 4d), and elements most exposed to the wind such as the brackets and sculptures of the dome show erosions (Figure 4e) although to a lesser degree, as will be seen, than those on the Southern and Eastern façades.

Disjunctions of a different nature to mentioned with deposits, due in this case to intrinsical factors of the stone, are contour scaling which, together with cracking, take place in the limestone of the door near ground-level (Figure 4f). The slate exfoliation on the Sacristy placators shows a great contrast to the window limestone (Figure 4d).

Los mármoles de la portada, también en mayor grado en las zonas bajas, presentan abundantes *fracturas* y *fisuras*.

En resumen, esta fachada constituye un ejemplo notable de la contribución de la naturaleza de la piedra a los mecanismos de alteración. La biocalcarenita ostionera, extraída de canteras del lugar (*Sancti Petri*), presenta un aspecto tosco por los grandes huecos naturales que presenta, frente al acabado noble que permiten las compactas calizas y los mármoles procedentes de canteras foráneas. Sin embargo, un mismo factor extrínseco natural como es el aporte de sales, tanto por vía de la humedad ascendente como por los aerosoles marinos, que genera mecanismos de alteración por incremento de volumen de capilares e intersticios al cristalizar o hidratarse las mismas, encuentra respuesta bien diferente en el grado de alteración de ambos litotipos. La piedra ostionera se encuentra en buen estado de conservación, pudiendo apreciarse depósitos de sales en sus grandes huecos sin daño para su estructura, mientras que la caliza muestra pérdidas de materia y rupturas de forma generalizada, llegando en ocasiones al grado de ruina, como en los marcos de las ventanas. Los mármoles presentan fisuraciones abundantes y las pizarras exfoliaciones superficiales.

3.3. Fachada Sur

Los tres litotipos que componen esta fachada son la biocalcarenita ostionera del muro del ábside, la caliza oolítica de la cúpula de la capilla de las Reliquias y de las cornisas, y el mármol con que se ha revestido ésta última (Figura 5a).

Orientada hacia el mar y separada de éste tan sólo por una avenida, recibe de lleno los aires marinos e incluso gotas de agua cuando las olas batén con fuerza. Muy soleada por su orientación al mediodía, se ve sometida a gradientes térmicos. Aunque exista tráfico rodado, dada la buena renovación de aire en este espacio abierto, no debe ser apreciable la contaminación ambiental debida al mismo.

Los únicos agentes biológicos de importancia son las algas y el musgo que crecen en la pared oriental de la capilla, con gran humedad, así como algunos líquenes de su cúpula y de la baranda de la balaustrada que originan *cromatizaciones*.

De acuerdo con las condiciones ambientales comentadas, no existen prácticamente depósitos de in quemados, salvo bajo la

The marbles of the door present abundant crack and fissures to a greater degree in the lower areas, too.

*In summary, this façade is a notable example of the contribution of nature of the stone on deterioration mechanisms. The “ostionera” biocalcarenite, extracted from local quarries (*Sancti Petri*), presents a coarse appearance due to the large natural gaps it has as opposed to the noble finishing given by the compact limestones and marbles from alien quarries. However, a same natural extrinsecal factor as is the contribution of salts, by means rising damp or marine aerosol, which generates deterioration mechanisms by increasing the volume of capillaries and interstices on their crystallizing or hydrating, finds a different answer in the degree of deterioration of both lithotypes. The “ostionera” stone is in a good state of conservation, with salt deposits in its large openings, without damaging the structure, while the limestone shows general losses of material and rupture which sometimes reach a state of ruin as in the window-frames. The marbles show abundant fissuring and the slates show superficial peeling.*

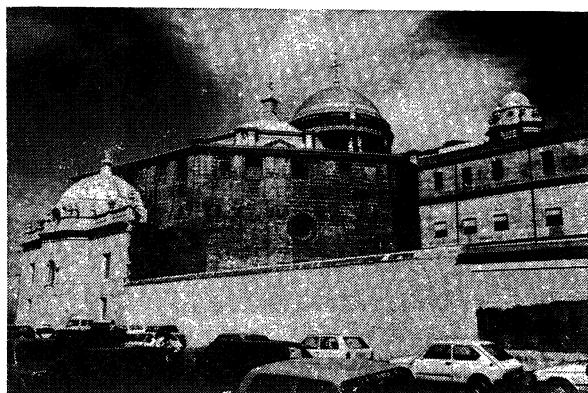
3.3. Southern Façade

The three lithotypes of which this façade is composed are “ostionera” biocalcarenite of the apsis wall, the oolitic limestone of the Capilla de las Reliquias dome and cornices and the marble with which this has been covered (Figure 5a).

It faces the sea and is only separated from this by an avenue, it receives the sea breezes and even drops of water when the waves pound against the barriers. It sun-baked due to its orientation at midday and it undergoes thermic gradients. Although there is traffic because of the good renovation of air the environmental contamination is not appreciable.

The only important biological agents are the algas and moss which grow on the Eastern wall of the chapel, with great humidity, as well as lichens on its dome and railing of the balustrade which originate chromatic alterations.

In agreement with the aforementioned environmental condicions, practically no deposits of unburnt matter exist except under



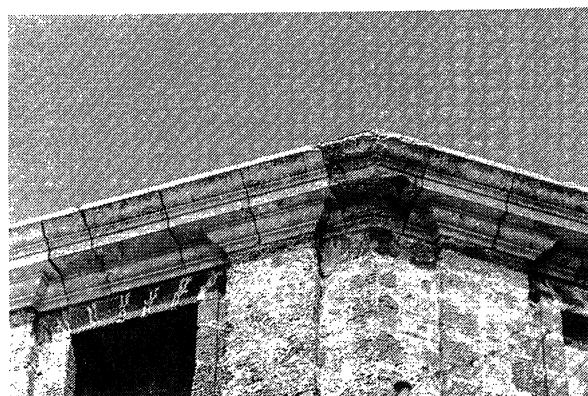
- a) Biocalcarenita ostionera, caliza oolítica y mármol dolomítico.
a) "Ostionera" biocalcarenite, oolitic limestone and dolomitic marble.



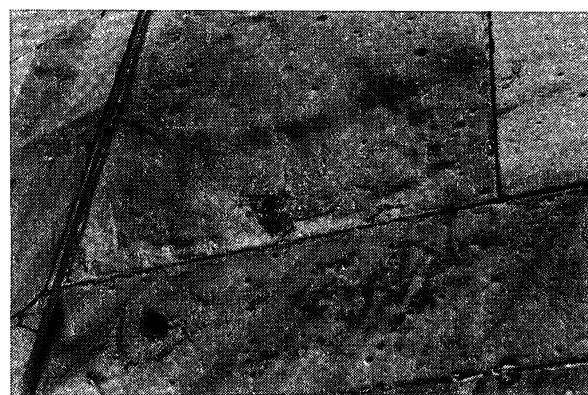
- b) Algunos depósitos debajo de la cornisa del primer nivel.
b) Some deposits under the cornice of the first level.



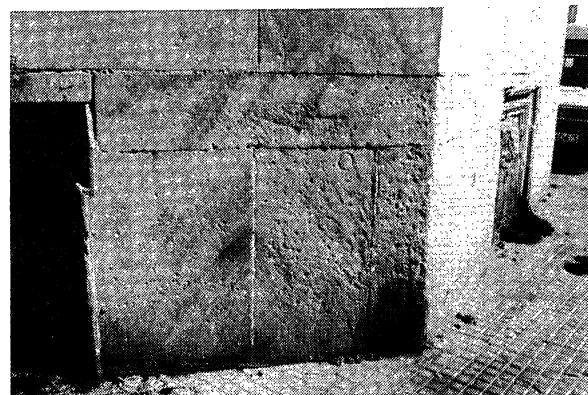
- c) Desagregaciones en la caliza de cornisa del segundo nivel.
c) Disaggregations in the limestone of the cornice at second level.



- d) Disgregaciones en algunos bloques de la cornisa del segundo nivel.
d) Disintegrations in some blocks of the cornice at second level.



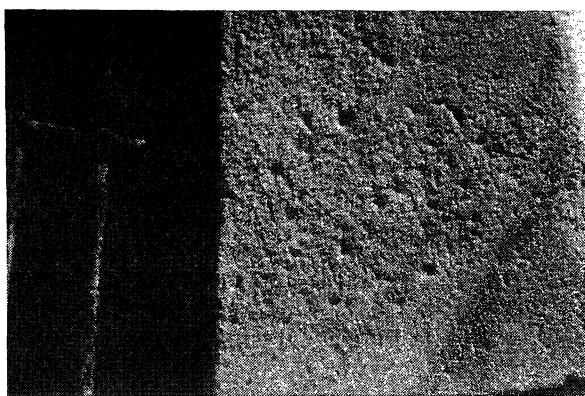
- e) Picado generalizado en los aplacados de mármol.
e) General pitting in the marble plaques.



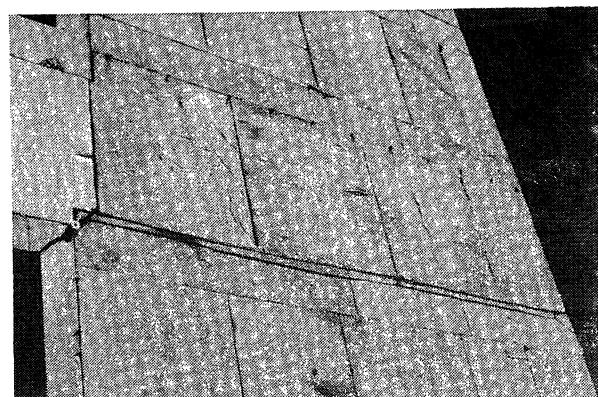
- f) Aumento del picado del mármol al nivel del suelo.
f) Increase in pitting of marble at ground level.

Figura 5.—Indicadores de alteración. Fachada Sur. 1.^a lámina.

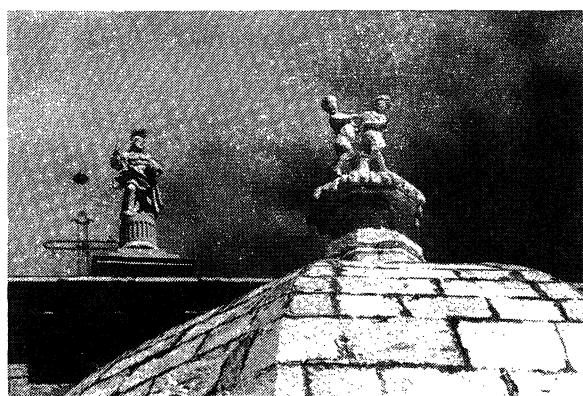
Figure 5.—Indicators of deterioration. Southern Façade. 1.st picture.



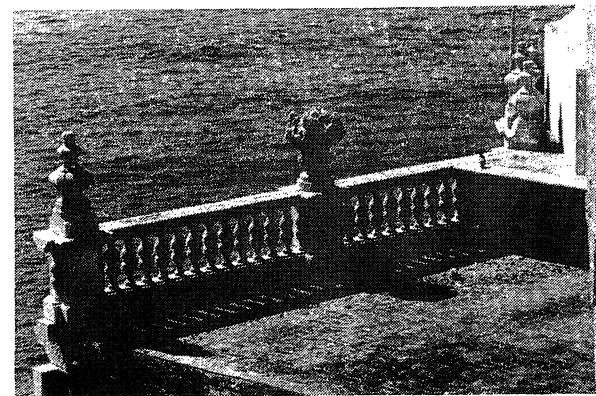
a) Aumento del picado en el mármol de las jambas de las ventanas.
a) Increase in pitting in the marble of the window-posts.



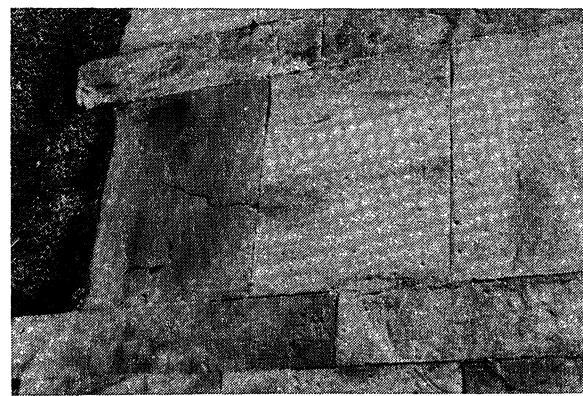
b) Vermiculaciones y disyunciones de placas y escamas en el mármol.
b) Vermiform striations, scaling and chipping in the marble.



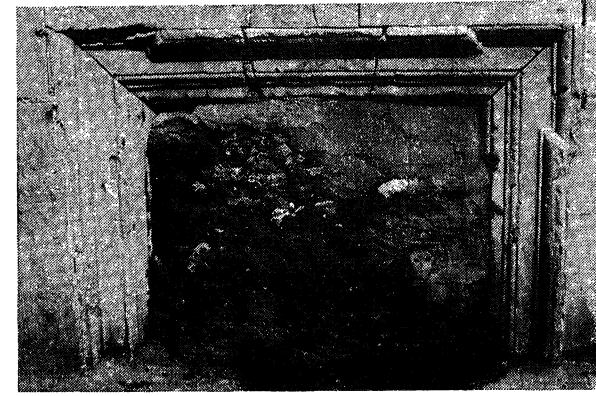
c) Erosión fuerte en las estatuas de las cúpulas.
c) Strong erosion on the dome statues.



d) Erosión leve en los adornos de la balaustrada.
d) Slight erosion on the balaustrade ornaments.



e) Fisuraciones en los aplacados.
e) Fissuring in the marble plaques.



f) Fragmentaciones en las molduras.
f) Spalling in the chaplets.

Figura 6.—Indicadores de alteración. Fachada Sur. 2.^a lámina.

Figure 6.—Indicators of deterioration. Southern Façade. 2.nd picture.

primera cornisa, prácticamente confinados al goterón (Figura 5b) y en los sofitos de los dinteles de las ventanas. La piedra ostionera, al igual que en la fachada occidental, conserva algunos depósitos de algún antiguo enlucido (Figura 5c y d).

La caliza oolítica de las cornisas y cúpula sufre cierta desagregación, por pérdida superficial del cemento que une los oolitos (Figura 5c), llegando en algunos bloques aislados al grado de *disgregación* (figura 5d).

El mármol de la capilla presenta un *picado* que se extiende por todo el paramento (Figura 5e), aumentando éste al nivel del suelo, probablemente por la humedad ascendente (Figura 5f), y en las jambas de las ventanas, por la mayor aireación producida por los remolinos formados en el hueco (Figura 6a). Como es conocido, es la acción conjunta de la humedad y el viento la que conduce a los fenómenos de pérdida de materia con formación de huecos, es decir, picados, alveolizaciones y cavernas. Otros huecos, de origen antropogénico, son los agujeros practicados para el alojamiento de armellas para la sujeción de cables. También se dan algunos casos de *vermiculaciones*, como muestra la Figura 6b.

Las estatuas que coronan las cúpulas de la capilla Mayor y de las Reliquias, de caliza sometida a fuertes vientos, presentan una gran erosión (Figura 6c), mientras que las figuras que adornan la balaustrada, de mármol y algo menos expuestas al viento, se encuentran en mejor estado de conservación (Figura 6d).

Es también en el mármol de esta capilla donde se dan *descamaciones* y *disyunciones de placas* (Figura 6b) así como *fisuraciones* (Figura 6e) y *fragmentaciones*, éstas sobre todo en las molduras de los huecos adyacentes al suelo (Figura 6f).

En resumen, como se ha comentado en la fachada occidental, los mecanismos de alteración relacionados con el incremento de volumen en capilares e intersticios son bien asumidos por la piedra ostionera que presenta un buen estado de conservación, producen diversos grados de decohesión en la caliza oolítica y picados en el mármol. Los gradientes térmicos producen fracturas y fisuras en el mármol. Cabe señalar que las placas de mármol han sido colocadas sin la menor consideración a sus planos estructurales, sin consecuencias en este caso en las alteraciones pero sí en cierto efecto antiestético. El viento provoca fuertes erosiones en los elementos más aireados.

the first cornice, practically confined to the weather groove (Figure 5b) and the soffits of the window lintels. The “ostionera” stone, as on the Western façade, still has some deposits of an ancient coat of plaster (Figure 5c & d).

The oolitic limestone of the cornices and dome undergoes a certain disaggregation due to the superficial loss of cement which joins the oolitic (Figure 5c) and reaches a state of disintegration in some blocks (Figure 5d).

The Chapel marble presents pitting which spreads all over the parament (Figure 5e) becoming greater at ground level probably due to rising damp (Figure 5f) and in the window-posts due to whirlwinds formed in the openings (Figure 6a). As is known, it is the united action of humidity and wind which leads to loss of material and the forming of openings, i.e., pitting, alveolar erosions and craters. Other openings, of anthropogeneous origin, are the holes for staples used for fastening cables. Some cases of vermiciform striation occur such as in Figure 6b.

The statues which crown the domes of main and Reliquias Chapels are limestone which is subjected to strong winds. They show a great erosion (Figure 6c) while the marble figures which adorn the balustrade, and are less exposed to the wind, are in a better state of conservation (Figure 6d).

Chipping, scaling (Figure 6b), fissuring (Figure 6e) and spalling also occur in the marble in this chapel, above all the latter in the chaplets of the openings near the ground (Figure 6f).

In summary, as it has commented on the main façade, the deterioration mechanisms related to the increase in volume in capillaries and interstices are well accepted by the “ostionera” stone which shows a good state of conservation. They produce diverse degrees of decohesion in the oolitic limestone and pitting in the marble. We should point out that marble plaques were placed without the least consideration to the structural plans and although there is no deterioration in this case they do have a certain unsightly effect. The wind provokes strong erosions in the most aerated elements.

3.4. Fachada Este

Esta fachada presenta la misma distribución de litotipos que la occidental.

Las dos características que más la diferencian de aquélla desde el punto de vista ambiental son, en primer lugar, su orientación hacia los fuertes vientos dominantes de poniente y, en segundo lugar, la proximidad de las casas vecinas, sobre todo la residencia episcopal que está prácticamente adosada, que hace que la mitad inferior de la fachada se encuentre a cubierto de los vientos mientras que la superior se ofrece sin protección alguna a la acción de los mismos. En esta zona no existe tráfico rodado.

En cuanto a los agentes biológicos se pueden reseñar algunos líquenes en superficies horizontales o rampantes, como en las cúpulas, y el crecimiento esporádico de algunas plantas superiores.

Los depósitos presentan una distribución íntimamente ligada a la exposición al viento. Así podemos observar que son abundantes en las zonas menos expuestas, como es debajo de las cornisas inferiores de la mitad septentrional de la fachada (Figura 7a) y en el primer cuerpo de la portada (Figura 7b). Sin embargo en el segundo cuerpo, aunque abundantes son algo menores, y en el tercero prácticamente no existen, salvo en el soffit de la cornisa (Figura 7c). El resto de las superficies de este nivel situadas a la izquierda de la portada se encuentran limpias, excepto algunas zonas protegidas del viento, como una ventana del tambor del ábside, en que un contrafuerte hace cierto efecto de pantalla.

La cornisa de la zona situada a la izquierda de la portada no presenta depósitos como a la derecha, pero sin embargo aparecen aquí las desagregaciones típicas de esta caliza oolítica (Figura 7d), con alguna pérdida de oolitos. En la caliza de la torre y del friso del tambor, las disaggregaciones son profundas, incluso pulverizaciones, con pérdidas abundantes de materia (Figuras 7e y f). En la torre son frecuentes también los picados y alveolizaciones.

Las estatuas que circundan el tambor y las que lo coronan experimentan una gran erosión (Figura 7f). Una de ellas sufre una fragmentación grave provocada por la inclusión de un anclaje de hierro de sostén de un cable eléctrico.

3.4. Eastern Façade

This façade shows the same distribution of lithotypes as the Western one.

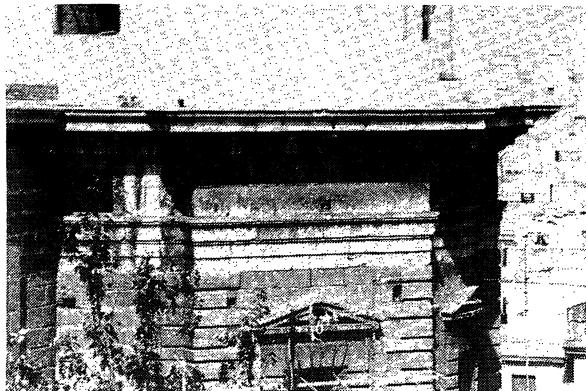
The two characteristics which make this façade different to the Western one from an environmental point of view are, firstly, its orientation toward the strong dominating Westerly winds and, secondly, the proximity of neighbouring houses especially the episcopal residence which is practically joined to it, which means the lower half of the façade is sheltered from the winds while the higher one has no protection whatsoever to the winds. There is no circulating traffic in this area.

As for the biological agents, some lichens can be found on the horizontal or rampant surfaces, such as on the domes, and the sporadic growth of higher plant-life.

The deposits show a distribution intimately bound to wind exposure. Therefore we can observe that they are abundant on the less exposed areas such as under the lower cornices of the septentrional half of the façade (Figure 7a) and the first body of portal (Figure 7b). However, they are somewhat less abundant on to the second body and do not practically exist on the third except on the soffits of the cornice (Figure 7c). The rest of surfaces at this level to the left of the portal are clean except for some areas protected from the wind such as a window in the drum apsis in which an abutment makes a certain screen-like effect.

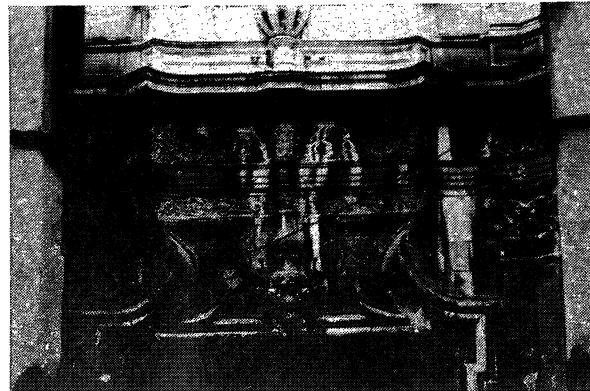
The cornice situated in the area to the left of the portal does not have any deposits as on the right side. However, the typical disaggregations of this oolitic limestone appear (Figure 7d) with some losses of oolites. In the limestone of the tower and drum wainscot there are deep disaggregations, even pulverizations, with abundant losses of material (Figure 7e & f). Pitting and alveolar erosions are also frequent in the tower.

The statues that surround the drum and the ones that crown it have experienced a great erosion (Figure 7f). One of them is undergoing a serious spalling due to the placing of supporting iron anchor for an electric cable.



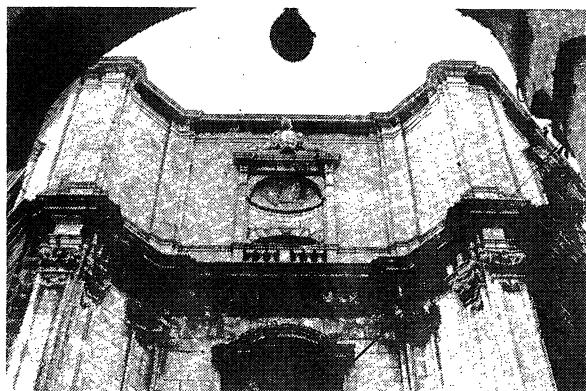
a) Depósitos debajo de las cornisas de la parte septentrional.

a) Deposits under the cornices on the septentrional part.



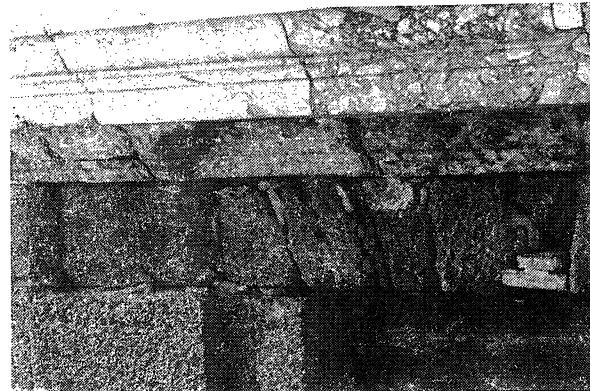
b) Depósitos más abundantes en el primer cuerpo de la portada.

b) More abundant deposits on the first body of the portal.



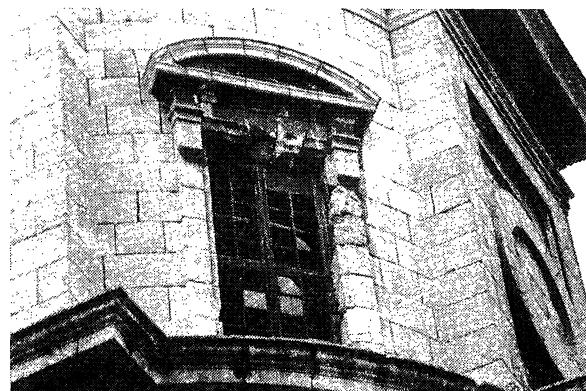
c) Depósitos en el segundo cuerpo de la portada y escasos en el tercero.

c) Deposits on the second body of the portal and a few on the third.



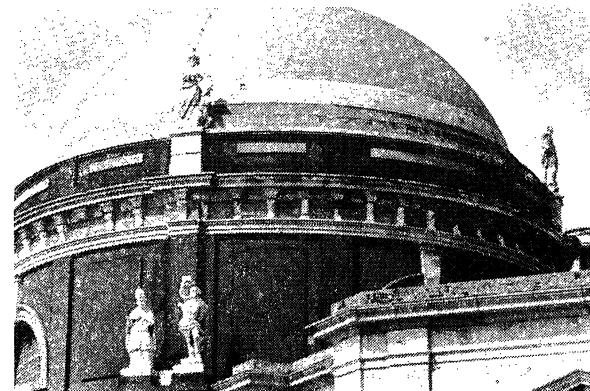
d) Desagregaciones en la caliza de algunos bloques de la cornisa.

d) Disaggregations in the limestone of some blocks in the cornice.



e) Disgregaciones en la caliza de la torre.

e) Disintegrations in the tower limestone.



f) Disgregaciones y erosiones en los elementos más aireados.

f) Disintegrations and erosions in the more windswept elements.

Figura 7.—Indicadores de alteración. Fachada Este.

Figure 7.—Indicators of deterioration. Eastern Façade.

En resumen, las superficies del tercer nivel y de la mitad meridional son las más expuestas al viento, por lo que están más limpias de depósitos, pero es donde se presentan mayores pérdidas de materia. El friso del tambor manifiesta muy bien el efecto de la orientación puesto que se puede estudiar en sus 360°, siendo las orientaciones Sur y Este donde sus alteraciones revisten mayor gravedad. También es ilustrativa la comparación del estado de ruina en que se encuentra la caliza del marco de la ventana de la Figura 4b de la fachada Oeste, con su gemela en esta fachada, en un paramento resguardado de los vientos, en buen estado de conservación.

3.5. Interior

La variedad de litotipos usada en el interior es muy grande, pudiendo resumirse su distribución de la siguiente forma: la parte estructural del primer cuerpo hasta los capiteles está construida con calcarenitas muy porosas y de grano medio como la ostionera, y con otras más compactas y de grano más fino, ambas de color ocre claro; las hiladas de sillares y pilastras del cuerpo superior, así como el cuarto de esfera de la capilla Mayor son de calizas clásicas y oolíticas del tipo del Torcal y de Estepa; los relieves y esculturas del tercer cuerpo son de caliza blanca; existen numerosos aplacados en zócalos, bases, pedestales y pilastras, así como molduras que son de mármoles de diversos colores.

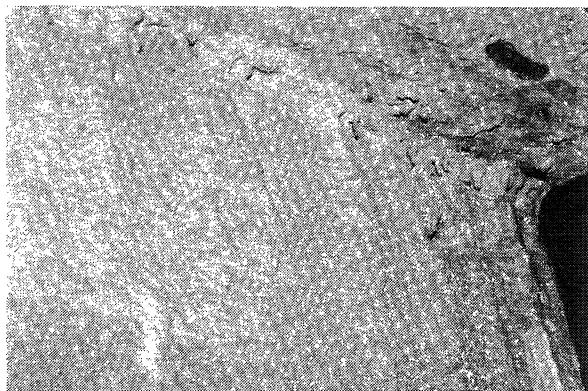
Los factores extrínsecos de alteración más agresivos aquí son los ambientales de tipo hidráulico, relacionados tanto con la elevada humedad ascendente como con la relativa del aire, comprendida entre el 75 y el 95 % para una temperatura de equilibrio de 18 a 20°. Las sales más importantes por su concentración y participación en los mecanismos de alteración son los carbonatos y sulfatos de sodio, estos últimos más abundantes en las zonas más bajas, lo que invita a pensar en el agua del subsuelo como fuente suministradora, aunque también proceden de algunos morteros. También son importantes los cloruros aunque son menos abundantes que en el exterior. Tanto el carbonato como el sulfato de sodio hidratan con diez moléculas de agua dentro de las condiciones ambientales antes mencionadas y es precisamente en los períodos húmedos cuando se detectan mayor número de fragmentaciones en las calizas, como se ilustrará más adelante. Dado que el cloruro sódico exige una humedad relativa inferior al 75 % para su cristalización, no interviene de forma directa en los mecanismos de alteración pero sí lo hace indirectamente al producir un aumento de solubilidad de la caliza por efecto salino, provocando la

In summary, the surfaces of the third level and meridional half are the most exposed to winds so they are cleaner of deposits but it is where greater losses of matter are seen. The drum wainscot shows the effect of orientation very well as it can be studied in all its 360° with its Eastern and Southern orientations being the most deteriorated. The ruinous state in which the limestone of the window frame of Figure 4b of the Western façade is found is also illustrative when compared to its twin on this façade on a parament sheltered from the winds, in a good state of conservation.

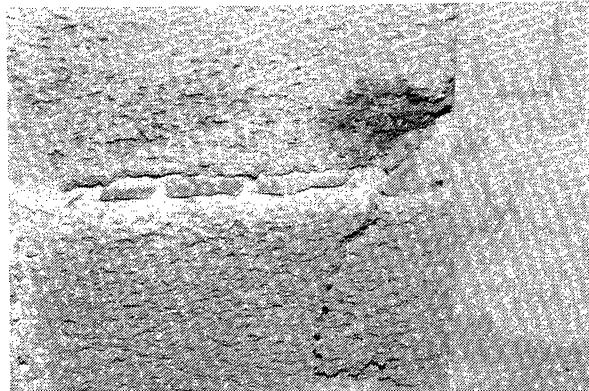
3.5. Interior

The variety of lithotype used in the interior is very wide, their distribution being as follows: the structural part of the first body up to the capitals is constructed with very porous, middle-grained calcarenites like the "ostionera", and more compact, finer-grained others, both of them light ocrecoloured. The lines of ashlar and pilasters of the higher body and the quarter of sphere in the Main Chapel are constructed with clastic and oolitic limestones like those from Torcal and Estepa. The relieves and sculptures of the third body are white limestone; numerous placators exist in the socles, bases, pedestals and pilasters as well as chaplets which are made of different coloured marbles.

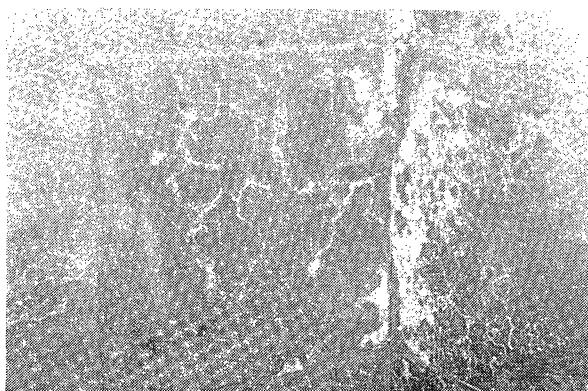
The most aggressive extrinsical factors of deterioration are the hydraulic-type environmental ones, related to the high rising damp as well as relative humidity to the air, comprising between 75 and 95 % for a balanced temperature of 18 to 20° C. The most important salts because of their concentration and participation in the deterioration mechanisms are the sodium carbonates and sulfates, the latter being more abundant in the lower areas, which makes us think of the water from the soil as a supplying source although it could also proceed from some mortars. The chlorides are also important although they are less abundant than on the exterior. The sodium carbonate as well as the sulfate hydrate with ten molecules of water in the environmental conditions aforementioned and it is precisely during the humid periods when a greater number of spalling are detected in the limestones as will be illustrated later. As the sodium chloride needs a relative humidity lower than 75 % for its crystallization it does not directly intervene in the deterioration but indirectly it does by producing an increase in solubility in the limestone by saline effect provoking the crystallization of the dehydrated sodium carbonate and



a) Concreciones en las paredes y el techo del triforio.
a) *Concretions in the walls and ceiling of the triforium.*



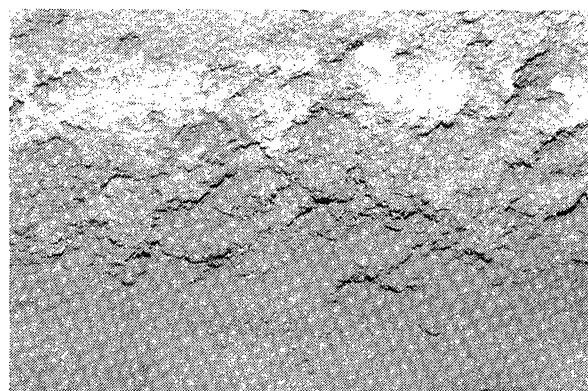
b) Eflorescencias en las juntas entre sillares.
b) *Efflorescencies in the joints between ashlars.*



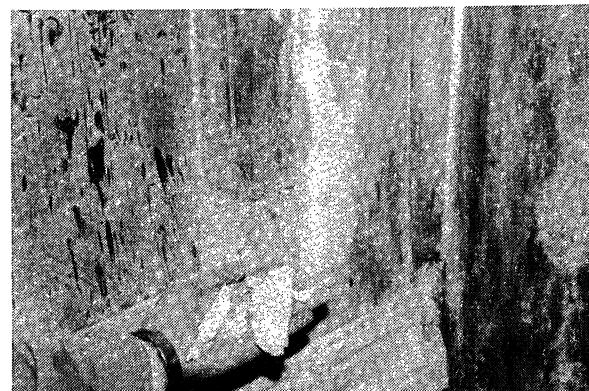
c) Eflorescencias en los aplacados de mármol de la cripta.
c) *Efflorescencies in the marble slabs in the crypt.*



d) Subflorescencias en los aplacados de mármol de los zócalos y basas.
d) *Subefflorescencies in the marble slabs of the socles and bases.*



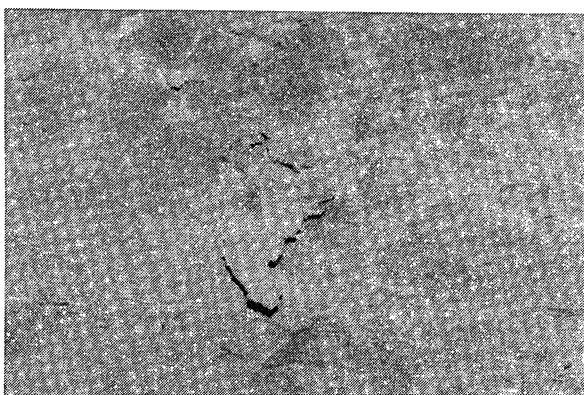
e) Arenizaciones en la calcarenita.
e) *Grain disgregation in the calcarenite.*



f) Pulverizaciones en el mármol.
f) *Pulverizations in the marble.*

Figura 8.—Indicadores de alteración. Interior de la Catedral. 1.^a lámina.

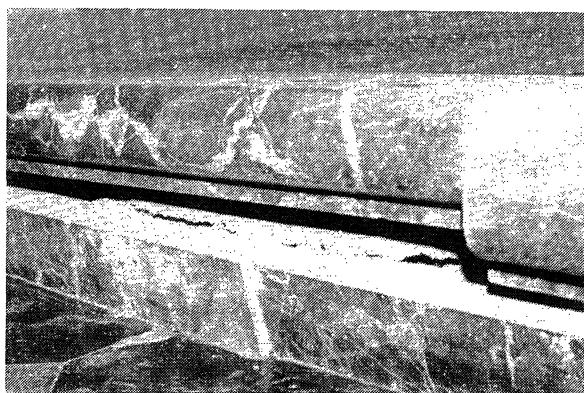
Figure 8.—Indicators of deterioration. Interior of the Cathedral. 1.st picture.



a) Descamaciones en los mármoles de la cripta.
a) Chipping in the crypt marble.



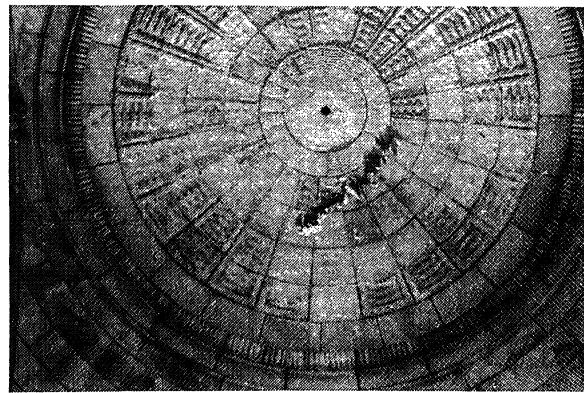
b) Disyunciones de placas en las columnas de mármol.
b) Scaling in the marble columns.



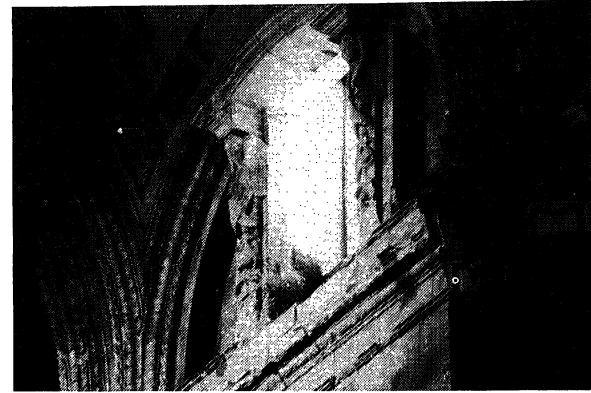
c) Fisuraciones y combamientos en los mármoles.
c) Fissuring and warping in the marble.



d) Recogida de fragmentos en una red protectora.
d) Catching of fragments in a protection net.



e) Fragmentaciones en los relieves de la caliza de las bóvedas.
e) Spalling in the limestone reliefs in the dome.



f) Rupturas diversas en la caliza de las esculturas superiores.
f) Diverse ruptures in the limestone of the higher sculptures.

Figura 9.—Indicadores de alteración. Interior de la Catedral. 2.^a lámina.

Figure 9.—Indicators of deterioration. Interior of the Cathedral. 2.nd picture.

cristalización de carbonato sódico decahidratado y aportando cloruro cálcico a la parte más humeda. También puede producir un aumento de los cristales de calcita por cristalización inducida. Cabe considerar también la posible desdolomitización de los mármoles de Mijas debido a la mayor solubilidad de las sales de magnesio.

Como indicadores de alteración superficial de menor importancia pueden mencionarse *limonitzaciones* y otras *cromatizaciones* en los mármoles de ciertas columnas y pilastras. Es muy llamativa la *patinatura* de las columnas del presbiterio, de fuste color sangre de Toro, a consecuencia de la aplicación de petróleo. Algunas columnas presentan una fuerte costra oscura, quizás por el efecto combinado del calor y humo en el incendio de 1832.

Es difícil encontrar una mejor representación de *concreciones* que las que se dan en las paredes y el techo del triforio; el agua percola desde el exterior arrastrando carbonato cálcico que cristaliza en la superficie, formando un depósito que, en el caso del techo, llega a constituir verdaderas estalactitas (Figura 8a). La alteración de mayor representación en toda la Catedral son las *eflorescencias*. Aunque las soluciones de sales encuentran un paso preferencial a través de las juntas de sillares (Figura 8b), éstas ascienden con facilidad por la porosa calcarenita, esqueleto del edificio, alcanzando la superficie tanto de las placas de mármol de la tumba de Falla de la Cripta (Figura 8c), donde revelan los límites de grano por donde han migrado dichas soluciones, como a los mármoles de zócalos, pedestales, etc. de la planta superior. Cuando se producen desprendimientos de materia superficial, se hacen visibles las *subflorescencias* (Figura 8d).

Las rupturas internas de capilares e intersticios por los mecanismos de cristalización conducen a *arenizaciones* en la calcarenita (Figura 8e) y a *pulverizaciones* en los mármoles, donde es posible a veces desprender trozos muy friables por simple presión con los dedos (Figura 8f); o bien a *disyunciones*, tanto de escamas (Figura 9a) como de placas (Figura 9b), que afectan a todo el edificio, principalmente a los zócalos y bases de columnas y a la cripta. Estas disyunciones hacen pensar también en el ataque frontal producido cuando, al aumentar la humedad relativa, se produce la delicuencia del carbonato sódico depositado en las pequeñas fisuras y la posterior cristalización como decahidrato dentro de las mismas; la existencia de esta sal, posiblemente por deposición de eflorescencias caídas desde arriba, puede revelarse por el simple uso de un indicador adecuado.

contributing calcic chloride to the more humid part. An increase in the calcite crystals can also be produced by induced crystallization. It could be to think over the possible dedolomitization of the Mijas marble due to the great solubility of the magnesium salts.

As less important superficial deterioration indicators we can mention limonitzations and other chromatic alterations in the marbles of certain columns and pilasters. The patinature of the presbytery columns is outstanding due to the application of petroleum. Some have a strong dark crust perhaps due to the combined effect of smoke and in the fire in 1832.

It is difficult to find a better representation of concretions than those found on the walls and ceiling of the triforium; water percolates from the outside bringing calcic carbonate which crystallizes on the surface forming a deposit which, in the case of the ceiling, become stalactites (Figure 8a). The most frequent deterioration in all the Cathedral are the efflorescencies. Although the salt solutions find a preferential way through the joints of the ashlar (Figure 8b), these ascend easily through the porous calcarenite, the skeleton of the building, and reach the surface of the marble plaques of Falla's tomb in the crypt (Figure 8c), where the limits of grain where said solutions have migrated are revealed, as well as the marbles of the socles, pedestals, etc., of the higher floor. When falls of superficial matter occur subflorescencies are made visible (Figure 8d).

The internal ruptures of capillaries and interstices by crystallization lead to grain disgregation in the calcarenite (figure 8f) and pulverizations in the marbles where it is possible sometimes to take very friable pieces off by simple finger pressure (Figure 8f); or disjunctions, chipping (Figure 9a) as well as scaling (Figure 9b) which affect all the building, mainly the socles, column bases and the crypt. These disjunctions also make it think of frontal attack produced when the relative humidity increases, wherefore the deliquescence of deposits of sodium carbonate occurs in the small fissures and a later dehydrated crystallization within them occurs; the existence of this salt, possibly due to the efflorescencies which fall from above, can be revealed by the simple use of a suitable indicator.

Cuando las tensiones se distribuyen sobre todo un plano, conducen a *combamientos* (Figura 9c). Gran parte de los mármoles, sobre todo en los zócalos y bases de las columnas, se ven afectados por *fisuraciones* y *fracturaciones*.

Los más sorprendente que puede observarse en el interior de la Catedral es el hecho del continuo desprendimiento de fragmentos de piedra de tamaño variado, de los relieves de las bóvedas, esculturas y cornisas, lo que ha obligado a la instalación de una red protectora que recoja dichos fragmentos y a mantener fuera del culto al templo, que ha vuelto a reabrirse recientemente. Esta red se extiende por todo el interior a la altura de la primera cornisa y, periódicamente, ha de retirarse el material acumulado (Figura 9d). Todas las bóvedas se encuentran muy afectadas por este fenómeno (Figura 9e) e incluso algunas han perdido ya la totalidad de sus labrados. Debe señalarse que este fenómeno ya se detectó al comienzo del uso del edificio, según consta en las actas capitulares. Los adornos, esculturas y cornisas presentan su mayor degradación en las proximidades de las ventanas (Figura 9f). Las estrías de los fustes sufren también pequeñas *fragmentaciones* que rompen la viveza de sus aristas.

En resumen, la presencia de sales, a la que no será ajena la época en que el templo estuvo abierto al exterior, junto con las condiciones microclimáticas, en especial el rango de oscilaciones de humedad y temperatura, son las que van a determinar los principales mecanismos de alteración que conducen a las graves fragmentaciones que afectan a las calizas, principalmente de las zonas altas, y a las eflorescencias, descamaciones y decohesiones de los mármoles, sobre todo en las partes bajas del edificio.

When the tensions are distributed all over a plane they lead to warping (Figure 9c). A great part of the marbles, above all in the socles and column bases, are affected by fissuring and cracking.

The most surprising thing we can see in the interior of the Cathedral is the continuous fall of different-sized fragments of stone from the relieves of the domes, sculptures and cornices. This has led to the installation of a protection net to catch said fragments, and to keep the cult of the temple, which has been reopened recently. This net has been extended throughout the interior at a height of the first cornice and, periodically has to be emptied of the fallen material (Figure 9d). All the domes are badly effected by this phenomenon (Figure 9e) and some have even lost all their figures. We must point out that this phenomenon was detected when the building was first brought into use, according to Capillary minutes. The ornaments, sculptures and cornices show a greater degradation in the proximities of the windows (Figure 9f). The strias of the fusts also undergo small spallings which break the brilliance of the salient angles.

In summary, the presence of salts, due largely to the period when the temple was open to the exterior, together with the microclimatic conditions, especially the range in oscillations of humidity and temperature, are the ones which will determine the main deterioration mechanisms. These lead to the serious spalling that affects the limestone mainly in the higher areas, and the efflorescences, chipping and decohesions of the marble, above all in the lower parts of the building.

BIBLIOGRAFIA

- ALONSO, L.; ALONSO, J.: Guía artística de Cádiz. Fundación Municipal de Cultura. Cádiz. 1987.
- CABRERA, J. M.: Causas de alteración y métodos de conservación aplicables a los monumentos hechos de piedra. Materiales de Construcción, 174, 1-38. 1979.
- Datos del Instituto y Observatorio de la Marina de San Fernando. Cádiz. 1986.
- ALCALDE, M.: Sintomatología de alteraciones de las Catedrales de Sevilla, Cádiz y Almería. Ed. Universidad de Sevilla. 1990.
- FONT TOLLOT, I.: Climatología de España y Portugal. INM. Madrid. 1983.
- I.N.M. Servicio de Climatología. Guía resumida del clima de España. INM. Madrid. 1983.
- MARTIN, A.: Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico artístico. Ed. Ceura. 1990.
- VAZQUEZ, M. A.: El estado de alteración de la piedra de la Catedral de Cádiz. Tesis de Licenciatura. Dto. de Geología. Universidad de Sevilla. 1986.
- VAZQUEZ, M. A.; GALAN, E.; ALCALDE, M.: The Cathedral of Cádiz, Spain: Deterioration State. Stone Decay. The Sixth Meeting of the European Clay Groups. Stone Decay, 49-52. Seville. 1987.