PH Boletín 29

Estudio de los materiales y diagnóstico de las causas de alteración en el retablo de los Genoveses de la Iglesia de la Santa Cruz (Cádiz)



Jesús Espinosa Gaitán

Centro de Intervención del IAPH

Palabras Clave: Retablo, Piedra Ornamental, Costras Negras, Corrosión, Sacarificación, Pulverización, Mortero, Revestimiento, Capa pictórica.

Resumen: Se recogen en este trabajo los resultados y conclusiones de una serie de determinaciones analíticas realizadas sobre materiales del Retablo de los Genoveses, elaborado con piedras de gran valor ornamental y que se encuentra en un avanzado de alteración. Se han establecido los tipos de piedra utilizados, de morteros y revestimientos así como materiales que están incidiendo en su degradación. Con los resultados se ha podido establecer que las causas de las alteraciones son extrínsecas a los materiales pétreos, bien se han debido a inestabilidades estructurales, o a la acción ambiental en el interior de la Capilla (temperatura, humedad e incremento en las tasas CO₂ y SO₂)

Introducción

La Capilla de la nación Genovesa fue fundada en el año 1487 por iniciativa del mercader genovés afincado en Cádiz, Francesco Usodimare, que con apoyo del obispo Pedro Fernández de Solís, compró una de las capillas colaterales de la Catedral Vieja de Cádiz (Parroquia de Santa Cruz) ubicada en el lado izquierdo del crucero de la misma. Hasta el siglo XVII no se inició la construcción del retablo en piedra al que se refiere este trabajo, finalizando las obras hacia el 1671, tal y como figura en la inscripción grabada a lo largo de todo el arquitrabe: "Esta Capilla es propia de la Nación Ginovesa. Reedificos/con este retablo de Jas-

pe y Alabastro. Año de 1671". Se tiene constancia de que tras su finalización se realizaron intervenciones y modificaciones para realzar el embellecimiento que ya de por sí contienen los materiales pétreos que constituyen el retablo.

El retablo ocupa todo el frente y los dos laterales de la capilla. Consta de un banco, un único cuerpo compuesto de cinco calles, y un ático que remata parte del plano frontal. En su elaboración se utilizaron piedras ornamentales, tradicionalmente conocidas como jaspes, alabastros y mármoles, todos ellos, según consta, procedentes de Italia. Además de las piedras aparecen revestimientos y estucados distintos, uno negro en el recuadro trasero del crucificado y otro de color pardo oscuro que ocupa la zona de un ventanal clausurado en la zona del ático.

En la actualidad el retablo se encuentra en un estado de conservación desmerecido para una obra de tan elevado valor artístico a causa de numerosas alteraciones físicas y químicas, que han llevado a la necesidad de acometer una intervención de conservación-restauración que devuelva el esplendor original a la capilla.

Dentro del proyecto de intervención, llevado a cabo en el I.A.P.H, se ha realizado un estudio de caracterización de los materiales y diagnóstico de las causas actuantes en su alteración, del cual de forma resumida se destacan en este trabajo los aspectos más significativos. En relación con las alteraciones observadas se ha considerado el estudio de algunas garras metálicas de sujeción de los elementos pétreos, las cuales aparecen en un avanzado estado de degradación, y que han contribuido seriamente a las alteraciones físicas que aparecen en el retablo. También ha sido de interés establecer la naturaleza de los morteros, revestimientos y estucados presentes en el retablo.

Tras una identificación visual de los tipos de materiales presentes, y sus formas y productos de alteración se tomaron un total de 45 muestras de los siguientes materiales: piedra de cada tipo identificado, productos de alteración (costras, pulverulencias...), morteros de unión, revestimientos, estucos (algunos con capas pictóricas) y anclajes metálicos.

Para el estudio de estas muestras se han empleado las siguientes técnicas analíticas:

- Difracción de Rayos X (DRX)
- Microscopia Óptica de luz transmitida
- Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) y EDX
- Espectrometría de Infraroja por Transformadas de Fourier

Descripción de los materiales pétreos y sus alteraciones

Todas las piedras que aparecen en el retablo corresponden a materiales de gran valor ornamental que por sus características texturales y composicionales, se pueden considerar materiales muy compactos, con muy baja porosidad, pero con rasgos texturales y estructurales específicos, que junto a la ubicación concreta en el retablo han condicionado el variable estado de conservación en el que se encuentran.

Petrográficamente se han diferenciado nueve tipos de piedra, incluyendo la de la cúpula de la capilla, que texturalmente nada tiene que ver con las del retablo. También se han diferenciado varios tipos de alteraciones y productos de alteración desarrollados sobre estas piedras cuyos resultados se recogen posteriormente.

Los tipos de piedra, indicados por orden de abundancia en el retablo, y los elementos en los que se han empleado aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tipos de piedra identificados en el Retablo	
Tipo	Localización
Caliza Negra	Columnas salomónicas, aplacados, hornacinas
Mármol Blanco Calcítico	Capiteles de columnas, cornisas superiores, frontón del ático, esculturas, aplacados
Mármol Blanco Dolomítico	Mesa del altar, encastres
Caliza Roja	Encastres zonas inferiores del retablo
Mármol Negro	Aplacados zonas inferiores del retablo
Serpentinita	Aplacados zonas inferiores
Falsa Ágata	Aplacados muy escasos
Dolomía Pardorojiza	Recuadro trasero del crucificado
Arenisca Calcárea	Cúpula de la Capilla

La mineralogía de las rocas del retablo es muy similar, constituyéndose mayoritariamente de minerales carbonatados, fundamentalmente calcita, o con cantidades minoritarias de dolomita, salvo un mármol blanco exclusivamente dolomítico. La única piedra del retablo que no es carbonatada es la serpentinita, que se constituye mayoritariamente de antigorita.

La Caliza Negra es una roca microcristalina con vetas blancas de calcita esparítica. Su estructura es heterogénea, de tipo "estilolítica", apareciendo los estilolitos de forma abundante en algunas piezas o ausentes en otras. Sobre las superficies estilolíticas aparecen acúmulos de un material anaranjado que constituye un veteado que embellece la piedra tras su pulido. Este material, constituido de cristales aislados de dolomita embutidos en una matriz ferruginosa (óxidos y oxihidróxidos de Fe, y minerales arcillosos), presenta, por lo general, menor cohesión granular y es más susceptible a procesos de alteración; de hecho en algunas piezas del retablo aparece un deterioro diferencial de éstas zonas respecto al resto de la roca que las engloba (fig.2).

El **Mármol Blanco Calcítico** es un roca bastante homogénea con textura granoblástica, constituida por un mosaico de cristales de calcita más o menos equi-





Fig.2 Alteración de material en juntas estilolíticas de la Caliza Negra

Fig.3 Alto grado de Pulverización en hornacina elaborada de caliza negra

Fig.4 Costra Negra (parcialmente desprendida) en escultura de mármol blanco del ático



dimensionales, con tamaño medio entre 0,5-1 mm, por lo que se trata de un mármol de grano fino. La porosidad en el mármol inalterado es muy baja (<1%), sin embargo en determinados sectores de las muestras estudiadas ésta se ha visto altamente incrementada, sobre todo en las zonas superficiales.

El Mármol Blanco Dolomítico presenta una estructura aparentemente homogénea, aunque a nivel microscópico se observa una orientación preferencial de crecimiento de los cristales que puede suponer la existencia de direcciones de debilidad tensional paralelas al eje cristalográfico de mayor desarrollo. La textura de la roca es granoblástica, constituida por cristales de dolomita, con tamaño medio comprendido entre 2-3 mm, lo que la incluye como un mármol de grano medio.

La Caliza Roja se compone mayoritariamente de calcita, pero posee cantidades minoritarias de dolomita y óxidos de Fe (responsables del color rojizo). La estructura es heterogénea, caracterizada por una matriz de calcita micrítica que se intercala con vetas blancas de calcita y dolomita esparíticas.

El Mármol Negro, compuesto de calcita, presenta un color que va de gris oscuro a gris claro, existiendo una gradación que produce bandeados de distintas tonalidades de gris. La estructura es bastante homogénea, ya que el bandeado no supone cambio estructural, y la textura es cristalina, con tamaño de grano entre fino (<1 mm) y muy fino (<0,1 mm).

La Serpentinita, de color verde oscuro, se compone mayoritariamente de antigorita (filosilicato de Mg hidratado) y presenta un abundante veteado blanco de calcita esparítica. Su estructura es heterogénea con una alternancia desordenada de zonas masivas de serpentina y venas de calcita con distintas distribuciones y morfologías.

La denominada Ágata se compone en su totalidad por calcita, por lo que su denominación es incorrecta ya que las auténticas ágatas se componen de una variedad criptocristalina del cuarzo, es decir, son silicatadas. La estructura de la roca es muy heterogénea y aparentemente de tipo estromatolítico, correspondiente a acumulaciones laminadas a modo de bandas de algas verdes y azules fosilizadas.

La **Dolomía Pardorojiza** debe su color a la presencia de material ferruginoso (óxidos y/o arcillas) en forma de microparticulas que envuelven los cristales esparíticos de dolomita que constituyen la roca.

La Arenisca Calcárea de la bóveda de la capilla presenta mayor proporción de cuarzo que de calcita. La textura global de la roca es de tipo detrítico, compuesta de clastos de distinta naturaleza (terrígenos y aloquímicos), con un tamaño de grano muy inequigranular, entre medio y grueso (I-I0 mm). La porosidad de la roca es muy elevada, estimándose en torno al 40%.

El Estado de Conservación del retablo es variable dependiendo del tipo de piedra, de las zonas en las que se encuentran ubicadas y de los elementos en consideración. Un aspecto muy llamativo, que no puede ser considerado propiamente una alteración, es el alto grado de suciedad por acumulación de polvo y material desprendido, especialmente en las zonas altas. Los materiales que presentan **Alteraciones Químicas** más preocupantes son los que aparecen en el cuerpo medio-superior del retablo, afectando principalmente a los aplacados y otros elementos elaborados con caliza negra, y a las cornisas superiores, esculturas u otros elementos de mármol blanco calcítico. Las alteraciones más significativas son:

- Desagregación granular a causa de la disolución y ataque ácido, la cual se manifiesta de distinta forma dependiendo de la textura original del material; pulverización en la caliza negra y sacarificación en los mármoles blancos (figs. 3 y 4)
- Formación de costras negras y/o carbonatadas más o menos desarrolladas dependiendo de las zonas, fundamentalmente se generan en zonas altas del retablo y/o resguardadas donde se favorece la acumulación de gases.
- Oxidación de las garras metálicas, que ocurre en cualquier zona del retablo en las que aparecen. Estas se encuentran en un avanzado de descomposición perdiendo la función de agarre y el consiguiente efecto sobre el elemento que sujeta.

Las Alteraciones Físicas, de menor extensión pero más peligrosas para la integridad del retablo, están presentes en numerosas zonas del retablo aunque más localizadas. Estas se manifiestan como desplazamientos de aplacados, fracturaciones de piezas, y grietas y roturas de distinta apertura; todas ellas en su mayor parte relacionadas con inestabilidades estructurales (fig.5), o con la oxidación de las garras metálicas que han inducido, por aumento de volumen al alterarse, una fracturación de los materiales adyacentes (fig.6).

Todas estas formas de alteración pueden ir acompañadas de pérdidas de volúmenes de material de distinta entidad, por desprendimiento del material debilitado en superficie por causas químicas, por desplome de material fracturado por causas físicas, o incluso relacionado con la propia naturaleza de los materiales como puede haber ocurrido en el estucado y revestimientos del ático.

Estudio de los productos de alteración

Se han estudiado muestras de **Costras Negras** desarrolladas sobre la piedra de la bóveda, y sobre las cornisas de mármol blanco y otros elementos de las zonas altas del retablo, donde aparecen de forma incipiente.

Los análisis realizados muestran como componentes fundamentales de las costras los propios de la piedra sobre la que se desarrolla más una considerable cantidad de yeso. El origen de estas acumulaciones sulfatadas se relaciona con la combustión en el interior de la capilla de velas u otros materiales que en su combustión desprendan SO₂, que tiende a acumularse en las zonas altas y resguardadas. El SO₂, en presencia de humedad, se transforma en H₂SO₄ que reacciona con





Fig. 5 Fracturación de gran envergadura por inestabilidades estructurales.

Fig. 6 Pérdida de material por desplome a causa de oxidación de garras metálicas

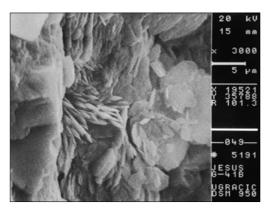
los componentes carbonatados de la piedra formando finalmente yeso ($SO_4Ca_{\cdot 2}H_2O$), componente principal de las costras negras, junto a otras partículas carbonosas y metálicas minoritarias responsables de la coloración oscura de las mismas.

Las costras desarrolladas sobre los mármoles blancos de las zonas altas sólo ha sido posible identificarlas mediante Microscopia Electrónica de Barrido con EDX. Estas se han estudiado por su cara interna y externa, con la intención de comprobar, además de la composición de las costras, la posible presencia de otras sales distintas a los sulfatos que estén interviniendo en el deterioro de las piedras del retablo. En los numerosos microanálisis realizados no se ha detectado la presencia de sales solubles, aparte del yeso.

Las observaciones realizadas en la parte interna de las costras con ambos tipos de microscopia muestran el alto grado de desagregación granular. En las zonas más próximas a la superficie se observan algunas aglomeraciones masivas de yeso granular, como continuidad a la costra que se está formando superficialmente, apareciendo ocasionalmente cristales de yeso con mejores desarrollos cristalinos (fig.7). Las observaciones sobre la cara externa muestran que la costra negra sobre estos mármoles está escasamente desarrollada en espesor, pero los desarrollos cristalinos de yeso son más importantes (fig.8).

Por otro lado, el estudio mediante microscopia óptica de secciones transversales a las costras ha permitido establecer el estado de la piedra bajo las mismas. El rasgo más destacable es el incremento en el volumen de espacios vacíos de la roca respecto a la piedra inalterada, ya sea en forma de poros intergranulares,

PH Boletín 29



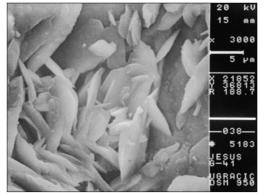
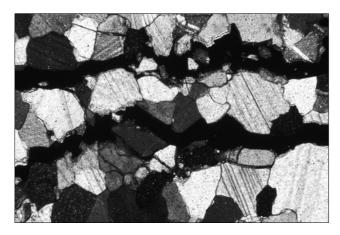


Fig.7 Microfotografía al SEM de cristales de yeso a Imm de profundidad

Fig. 8 Gran desarrollo cristalino de yeso en la superficie externa

Fig. 9 Detalle al microscopio óptico de microfisuración superficial en el mármol blanco



o más abundantemente de tipo fisural, siendo común para todos ellos la total ausencia de sales cristalizadas en su interior. Esto ha ocasionado un elevado índice de descohesión granular dando lugar a la sacarificación típica de los mármoles, junto a la formación de pequeñas descamaciones superficiales de fácil desprendimiento y desplome (fig.9). El grosor de estas zonas debilitadas alcanza como mínimo I cm de espesor.

El estudio del **Material Pulverulento** formado en las capas superficiales de la caliza negra, en numerosas zonas del retablo, muestra mediante DRX y SEM-EDX la misma composición que la piedra inalterada, o sea, exclusivamente calcita.

No se han detectado cloruros sobre las muestras de caliza negra ni las de los mármoles por lo que su incidencia en el deterioro de estos materiales no está clara, aún encontrándose en un ambiente con influencia de aerosoles marinos como es Cádiz.

Los Acúmulos de Suciedad existentes en todo el retablo se constituyen de los componentes que se han ido desprendiendo del retablo en forma de partículas de tamaño arcilla o limo y que con el tiempo se han ido depositando, impregnando todo el retablo. Aparecen compuestos que se pueden atribuir tanto a las piedras (calcita, dolomita, filosilicatos), como a los morteros (yeso).

Garras Metálicas

Las garras de sujeción de las piezas del retablo, correspondientes a un hierro dulce forjado en caliente, se encuentran en un avanzado estado de corrosión, lo que está afectando seriamente a las piezas de piedra.

Los resultados de DRX sobre muestras alteradas señalan como componentes mayoritarios la goethita, lepidocrocita, akaganeita y limonita; todos ellos óxidos o hidróxidos con distintos grados de hidratación, fruto de la alteración de óxidos ferrosos o férricos anhidros (magnetita, hematites, wustita) que aparecen en proporciones menores. Estos productos de la corrosión del metal constituyen lo que habitualmente se conoce como "orín" o "herrumbre", formando un depósito ocre anaranjado, por hidratación de las fases metálicas anhidras.

Los constituyentes del "orín" presentan estructuras cristalinas de gran expansividad con distintas morfologías y tamaños, provocando deformaciones, grietas y desconchaduras sobre el metal que pueden causar su completa destrucción. Esto ha sido constatado mediante SEM-EDX, observándose en la superficie grandes aglomeraciones de cristales con morfología framboidal, con hábitos tabulares formando "rosas de Fe", con hábitos hojosos de tamaños considerables, aglomeraciones con hábitos palmeados, etc. (figs.10 y 11).

En el caso que nos ocupa, más preocupante que la propia destrucción de los anclajes metálicos son los efectos que su corrosión causa al retablo, ya que los esfuerzos que se generan en las expansiones volumétricas de cristalización se transmiten a las piedras llegando a un momento de fatiga mecánica que las hace estallar.

Por otro lado, además de los óxidos e hidróxidos férricos, y de forma relativamente abundante, se han encontrado otras estructuras cristalinas constituidas por agregados de cristales capilares con desarrollos radiales (fig.12), que por su composición química se atribuyen a cloruro férrico (Cl₃Fe: Molysita) o ferroso (Cl₂Fe: lawrencita). Estos cloruros se relacionan con la presencia de halita (ClNa) disuelta en la humedad ambiental, y pueden suponer un proceso cíclico de corrosión muy peligroso, ya que son muy higroscópicos y se disuelven con facilidad en presencia de agua y oxígeno para formar óxidos e hidróxidos

PH Boletín **29**

de Fe (orín) y HCl. El ácido clorhídrico a su vez puede atacar al metal sano liberando nuevamente cloruros ferrosos e hidrógeno, iniciándose nuevamente el proceso químico.

O sea, la presencia de cloruros en el medio puede haber acelerado el proceso de deterioro de las garras metálicas que ya de por sí produce la presencia de oxígeno y agua, y por consiguiente más rápido o traumático el deterioro que induce a las piezas de piedra.

Estudio de morteros y revestimientos

Por su ubicación y función se pueden diferenciar dos tipos de materiales encontrados en el retablo:

- Morteros de unión que aparecen en las juntas entre piezas de piedra.
- Revestimientos y estucos con capa pictórica (ático y recuadro trasero del Crucificado).

De los **Morteros de Unión** se distinguen dos tipos por su coloración: morteros claros (blanco o gris claro) y morteros oscuros (gris oscuro, casi negro).

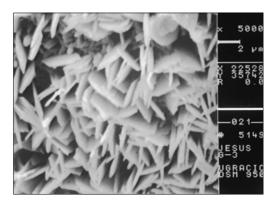
Los morteros de colores claros se componen mayoritariamente de yeso, con proporciones variables de cal y cuarzo como árido, en algunos casos feldespatos o fragmentos de rocas. Es de resaltar que las muestras procedentes del ático poseen cantidades notables de anhidrita en contra de las muestras procedentes de otras zonas del retablo.

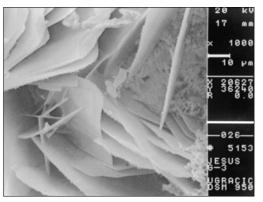
La porosidad de todos ellos es muy elevada y existen síntomas de pérdida de materia por disolución. No se han observado recristalizaciones en el interior de los poros.

Los morteros de colores oscuros tienen todos composiciones muy similares. Su composición es mucho más rica en cal, con proporciones en torno al 60%, y aproximadamente un 35 % de yeso. En algunas de estas muestras se ha observado la existencia de dos niveles, uno exterior muy oscuro que se compone de cal con gran abundancia de partículas finas de minerales opacos muy oscuros, responsables del color negro del mortero, y árido distinto a los morteros anteriores (fragmentos de roca caliza); y un nivel más interno de color más claro (gris) compuesto mayoritariamente de yeso con algunos nódulos de cal y partículas opacas en menor proporción.

Probablemente este tipo de mortero oscuro se aplicó en alguna intervención pasada con la intención de homogeneizar todo el frontón del Crucificado con una coloración oscura como la caliza negra que aparece en el cuerpo medio inferior del retablo, aplicándose también un estuco con pintura negra.

De los **Revestimientos y Estucos** se han estudiado dos tipos de materiales que proceden de zonas distintas del retablo, unos de la zona del ático, en el recuadro trasero del Padre Eterno (fig. I 3), y otros proce-





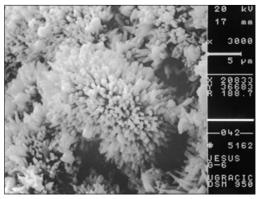


Fig.10 Hidróxidos de Fe (alteración de garras) formando rosas de Fe

Fig. I I Hidróxidos de Fe con hábitos hojosos de gran expansividad

Fig. 12 Agregados capilares de cloruros de Fe

dentes del recuadro trasero del Crucificado (fig.14). En ambos casos se han diferenciado varias capas con distinta composición y/o textura.

En el revestimiento del recuadro trasero de Padre Eterno se han diferenciado los siguientes estratos desde el exterior al interior (fig. 15):

- Capa Pictórica de color pardogrisáceo y grosor medio entre 50-75 mm.
- 2) Enlucido bastardo de grosor variable (250-750 mm).
- 3) Enlucido de cal de espesor más homogéneo (100-200 mm).
- 4) Revestimiento blanco muy rico en cal de espesor entre 0,5-1,5 cm.
- 5) Mortero grisáceo muy rico en yeso. Mayor espesor a las anteriores.

La capa I se constituye de un material muy fino en el que se hallan embutidas pequeñas partículas pigmen-



Fig.13 Estucado tras la imagen del Padre Eterno en el ático

Fig.14 Revestimiento en el recuadro trasero del Crucificado



tantes. Aisladamente se observan partículas de mayor tamaño atribuibles a yeso y otras rojizas a óxidos de Fe. La capa 2 es muy rica en cal aunque contiene algo de yeso, su granulometría es muy fina, con escasa cantidad de árido constituido de cuarzo. La capa 3 se compone exclusivamente de cal muy fina, sin ningún tipo de árido.

La capa 4 se compone mayoritariamente de cal pero contiene algo de yeso y anhidrita. Su granulometría es más grosera, aunque el árido es escaso y se compone exclusivamente de cuarzo. La porosidad y las pérdidas de masa por disolución son muy elevadas en este nivel.

La capa 5 se compone mayoritariamente de yeso. Lo más significativo de este nivel es el elevado porcentaje de nódulos de anhidrita existentes mezclados con el yeso. El árido aparece en mayor porcentaje que en cualquiera de los anteriores niveles, y está constituido de cuarzo y otros tipos de áridos no observados en ninguna otra zona del retablo, como feldespatos, micas, óxidos de Fe, y lo que resulta más curioso granates cálcicos de muy pequeño tamaño. La porosidad y pérdida de masa en este nivel es más elevada que en los anteriores.

En el revestimiento del recuadro trasero del Crucificado se han establecido cuatro niveles bien diferenciados composicional y texturalmente(fig. 16); desde el exterior al interior estos son:

- 1) Capa de color negro (pictórica) de muy fino espesor: 5-30 mm
- 2) Enlucido bastardo (muy rico en cal) de color oscuro: 0,25-0,5 mm
- 3) Mortero bastardo (muy rico en yeso) de color gris oscuro: 2-3 mm
- 4) Mortero blanco de cal: espesor desconocido

Hay que aclarar que los cuatro niveles sólo aparecen en la parte superior del recuadro, ya que en la parte inferior existe un aplacado de piedra dolomía sobre el que aparecen solamente los dos primeros niveles.

La capa I se caracteriza por ser totalmente opaca, mucho más oscura que la capa pictórica identificada en el ático. Se ha observado que a causa de la fina textura y menor permeabilidad de esta capa respecto a las infrayacentes se han producido precipitaciones de material en la interfase capa pictórica-enlucido interno, que han generado tensiones que han desprendido la capa pictórica. También se han observado precipitaciones de cloruro sódico en el interior y exterior.

La capa 2 tiene una composición y textura similar a la descrita en los morteros de unión oscuros, se trata de un enlucido de cal con partículas pigmentantes que lo oscurecen. Además el árido es el mismo que en el caso anterior, o sea fragmentos de rocas carbonatadas. La capa 3 sería equiparable a la zona interna en estos morteros oscuros.

La capa 4 se compone exclusivamente de cal micrítica con algunos nódulos de carbonatación diferenciados. El árido es muy escaso compuesto de granos de cuarzo.

Estudio de las capas pictóricas

Se han estudiado mediante SEM-EDX muestras de las capas pictóricas. Los microanálisis realizados sobre las muestras del frontón del Crucificado no muestran resultados concluyentes; por su coloración oscura es probable que correspondan a algún compuesto orgánico o de naturaleza carbonácea, los cuales no se identifican con esta técnica.

Los microanálisis realizados sobre la capa pictórica del recuadro del Padre Eterno muestran todos composiciones muy similares a base de S, Ba, Zn, Ca. PH Boletín 29

También aparece CI en algunos espectros pero en cantidades ínfimas.

Esta composición es atribuible al pigmento "litopón" (ZnS + BaSO₄), mezcla de sulfuro de cinc y sulfato de bario. Este compuesto es de origen artificial y según referencias bibliográficas sólo se ha utilizado en pintura mural a partir del último cuarto del siglo XIX. El litopón es de color blanco por lo que la coloración oscura de la capa se deberá a que está mezclado con otro compuesto no identificable mediante EDX.

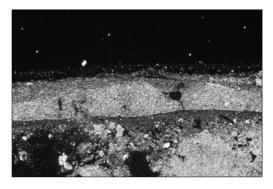
Conclusiones globales

Con el estudio realizado se ha podido establecer que las alteraciones de los **materiales pétreos** del retablo han sido causadas fundamentalmente por la acción de factores externos a los mismos, ya que todos ellos se pueden considerar como materiales bastante durables. Entre los factores extrínsecos los que pueden haber tenido mayor incidencia son:

- Humedad y Temperatura. Este ha sido el causante principal de las alteraciones existentes en las superficies pétreas y oxidación de las garras metálicas. Además deben existir condiciones microclimáticas distintas entre zonas distintas del retablo que han favorecido los distintos grados de alteración observados sobre un mismo tipo de material.
- Incrementos de las tasas de CO₂ y SO₂ por afluencia de público. Estos gases en condiciones de humedad y temperatura favorables se disuelven formando ácidos que reaccionan con los materiales calcáreos desagregándolos y formando costras.
- Presencia de cloruros disueltos en la humedad ambiental, aunque en el estudio sólo se ha podido establecer de forma clara su existencia, y por tanto su incidencia, en las garras metálicas y algunos morteros.
- Utilización de materiales inadecuados, como algunos morteros y garras metálicas muy alterables.
- Inestabilidades estructurales en algunos elementos del retablo que han llegado a fracturarse, desplazarse e incluso desplomarse.

De todos los materiales pétreos, los de mayor profusión en el retablo son la caliza negra y los mármoles blancos, quedando los demás tipos restringidos a ornamentaciones muy concretas. Son también la caliza negra y el mármol blanco los que se han encontrado con mayores problemas de conservación, estando especialmente vigentes los procesos de alteración en las zonas altas del retablo y zonas resguardadas, como los aplacados de caliza negra de los alzados laterales, las cornisas superiores, el interior de las hornacinas, etc.

Por otro lado los Anclajes Metálicos, al tratarse de una forja de Fe en su totalidad, son fácilmente alterables



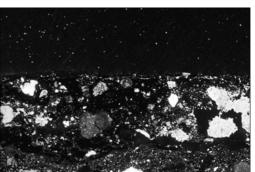


Fig.15 Estratigrafía al microscopio óptico del revestimiento del ático

Fig. 16 Estratigrafía del revestimiento del recuadro trasero del Crucificado

con la única presencia de humedad, formando compuestos minerales de alta expansividad, que generan tensiones sobre los materiales adyacentes acabando por fracturarlos. A esto hay que unir el hecho de encontrarse en un ambiente marino, con presencia de cloruros en la humedad ambiental, que hace que la corrosión de las garras se acelere y sea cíclica, llegando a corroer el metal por completo y afectando negativamente a la piedra.

Respecto a los **Morteros y Revestimientos** se han diferenciado varios tipos de materiales.

De los morteros de unión se han establecido claramente dos tipos por su coloración (claros y oscuros), pero además, por marcadas diferencias composicionales entre ellos que hacen pensar en la posibilidad que pertenezcan a intervenciones distintas en el retablo.

De los Revestimientos y Estucos también se han establecido dos tipos, los que aparecen en el recuadro del Padre Eterno en el ático y los que aparecen en el recuadro trasero del Crucificado. En ambos casos aparecen varios estratos, pero no se puede establecer una correlación entre los de una zona y otra ya que los niveles son distintos en orden y composición.

Algunos de los niveles del recuadro trasero del Crucificado coinciden texturalmente y composicionalmente con los morteros oscuros de unión, lo que hace pensar que todos ellos correspondan a una misma intervención intentando homogeneizar el color oscuro (negro) de la caliza que aparece en el retablo.

Por otro lado, es destacable el hecho de que los materiales procedentes del ático, ya sean morteros de unión o revestimientos, poseen cantidades importantes de anhidrita, siendo además la única zona del retablo donde aparece, lo que puede indicar que todos ellos correspondan a una misma actuación sobre esa zona. La presencia de anhidrita puede deberse a que el yeso de partida se ha calcinado a altas temperaturas formando fases anhidras bastante estables y no haya rehidratado en su totalidad tras su puesta en obra, o que la ejecución de su colocación no fuera correcta por falta de agua, quedando zonas en las que la transformación a yeso no se ha completado; en cualquier caso los morteros que contienen anhidrita no han debido experimentar el endurecimiento completo que se espera de ellos.

Aunque no se puede asegurar, puede existir una relación entre la presencia de anhidrita en los materiales del ático y la entidad que han tenido en esta zona los desprendimientos de material, pérdidas de agarre y desagregación de los materiales, causados por la falta de adherencia.

Por otro lado el estudio de las *capas pictóricas* oscuras de la zona del ático y las del recuadro trasero del crucificado muestran composiciones distintas. La capa pictórica del ático se compone a base de litopón, el cual se ha utilizado en pintura mural a partir del último cuarto del siglo XIX, lo que indica que a partir de esa fecha se debió acometer alguna intervención en la zona del ático de la cual no se tenía constancia.

Todos los morteros estudiados presentan porosidades importantes, en algunos casos con notables síntomas de pérdida de material por disolución, sobre todo en el caso de materiales de yeso.

Bibliografía

ADAMS A.E., MACKENZIE W.S. & GUILFORD. C (1994): Atlas of Rock-forming Minerals in thin Section. Longman Scientic & Technical.

ANTÓN SOLÉ, P (1975): La Catedral Vieja de La Santa Cruz de Cádiz. Estudio Histórico Artístico de su Arquitectura. Archivo Español de Arte, XLVIII nº 189. Madrid. Pgs 83-96

ASHURST, J. and ASHURST, N. (1988): *Mortars, Plasters and Renders*. Practical Building Conservation Series. Gower Technical Press Ltd. England

BERDUCOU, M. C. (1990): La Conservation en Arquéologie. Paris. Fd Masson.

CHOQUETTE, P.W. AND PRAY, L. C., (1970) Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., 54, 207-50.

CORNELIUS S. HURLBUT, J. R, CORNELIS K. (1984): Manual de Mineralogía de Dana. Editorial Reverté, S.A

FOLK, R. L. (1974): Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphills, Austin Texas

GROSSI C.M., ESBERT R.M, (1994): "Las sales Solubles en el Deterioro de Rocas Monumentales". *Materiales de Construcción* Vol 44. n°235 MACKENZIE W.S. & GUILFORD. C (1994): Atlas of Rock-forming Minerals in thin Section. Longman Scienfic & Technical.

MONTAGNA GIOVANNI (1993): I Pigmenti. Prontuario per L'arte e il Restauro. Nardini Editore. Firenze

ORDAZ J., ESBERT R. M. (1988): "Glosario de Terminos Relacionados con el Deterioro de Piedras de Construcción". *Materiales de Construcción* Vol. 38 nº209

SCULLY J. C, (1990). The Fundamentals of corrosion. Pergoman Press plc. Headington Hill Hall. Oxford OX30BW.

SEBASTIÁN PARDO, E., RODRÍGUEZ NAVARRO,C: "Formación de Costras Negras en Materiales Pétreos Ornamentales". Revista Ajimez

STAMBOLOV, T. (1985) The Corrosion and Conservation of Metallic Antiquites and Works of Arts. CRLOAS, Amsterdam.

YARDLEY B. W. D., MACKENZIE W. S. & GUILFORD. C (1990): "Atlas of Metamorphic rocks and their Textures". Longman Scienfic & Technical.