

La piedra caliza de la catedral de Murcia

Alfredo Vera Botí



1. Capilla Junterones: cornisa sobre su sacristía. Estado anterior a la restauración

Los problemas de conservación de la piedra son comunes a una gran mayoría de obras de restauración, de ahí la importancia de conocer y contrastar intervenciones realizadas en distintos monumentos. Este artículo sobre la restauración llevada a cabo por el arquitecto Alfredo Vera Botí en la Catedral de Murcia viene a completar con una visión más pormenorizada el artículo sobre el Plan Director de la misma que se publicó en el Número 1 de LOGGIA.

The limestone of Murcia Cathedral. As the problems of conservation of stone are common to the vast majority of restoration works, it is important to study and compare the interventions carried out on different monuments. This article on the restoration carried out by the architect Alfredo Vera Botí on Murcia Cathedral completes the article on the Direction Plan published in the first issue of LOGGIA with a more detailed description, and specification on the organization of the works.

I. Características físico-químicas

La piedra empleada en la Catedral de Murcia tiene varias procedencias, pero la que parece utilizada en mayor volumen es una caliza bioclástica de textura detrítica con bajo contenido en cementante¹, con dos variantes básicas, llamadas piedra franca y piedra pajiza, de canteras distintas y comportamientos variables, y, ambas, con tendencia a disgregarse.

La piedra pajiza, de color amarillo intenso, fue la menos utilizada, posiblemente por su escasísima cohesión, y parece normalmente empleada en sillares sin ningún tipo de labra. La piedra franca en buena parte procede de las canteras del Mamayo, y aunque de mejor apariencia organoléptica -lo que explica su mayor frecuencia de utilización, especialmente en sillares con fina talla, ya que su grano fino, de tamaño medio de 150 μm y uniforme, y su reducida dureza, favorecía las labores a los escultores-, presenta un grave inconveniente químico: la presencia en su composición de sulfatos de magnesio y arcillas fibrosas expansivas, en una compleja mezcla de materiales diversos (foraminíferos, óxidos de hierro, algo de cuarzo, etc.)

En su composición, además de la calcita, aparecen, entre otros, con valores muy dispersos, el sulfato cálcico bihidratado (yeso), el sulfato magnésico heptahidratado (epsomita), y, algunas veces, al perder agua con sólo seis moléculas asociadas (exahidrita), y varios nitratos y cloruros.

La densidad aparente de estas calizas es de 1.813 Kp/m³ con una porosidad abierta del orden del 32'5%, lo que favorece la alta capacidad de imbibición. Ésta es del orden de un 12% y el contenido de humedad de saturación resulta ser del 18%, con una absorción libre muy rápida ya que en unos 15 minutos queda plenamente saturado su sistema poroso abierto. Mientras que para la desorción total requiere cerca de cinco días, según una curva que es prácticamente lineal en el tiempo.

La succión capilar también es muy rápida y prácticamente lineal en la relación de

gms/cm² a raíz cuadrada del tiempo.

Todo esto puede resumirse en que es un material en el que el intercambio de humedad es muy rápido, y por tanto, que todos los procesos físico-químicos derivados de la presencia del agua en los intersticios del material se ven sometidos de ciclos continuos, más o menos rápidos, que dependen, no sólo de las aguas pluviales de penetración o de ascensión capilar, sino también a los sucesivos procesos de condensación y evaporación del agua presente en la atmósfera en forma de humedad relativa², ya que ésta es muy alta en Murcia, con valores que en alguna hora del día, sea cual sea el tiempo estacional, suelen exceder del 80%, lo que favorece que con cierta frecuencia se alcance el punto de rocío, especialmente por las noches.

II. Clases de deterioro

Las sales solubles, cuando la evaporación es más lenta que el flujo de salida superficial, se depositan fuera de la cara externa del material, buscando las vías más rápidas de evacuación como son discontinuidades encontradas en las pátinas de protección (tal como sucedía en la bóveda de la recapilla de Gil Rodríguez de Junterón, por ejemplo), apareciendo en forma de eflorescencias algodonosas blancas, que al repetirse crean subeflorescencias, e incluso, criptoeflorescencias que terminan por hacer estallar el material hacia la cara externa desprendiendo esquirlas más o menos extensas, y en las que abunda el carbonato cálcico removilizado y la epsomita.

Las variaciones volumétricas del material según los contenidos en agua molecular, la presión intersticial de ésta y los procesos de disolución interna, favorecen la pérdida de cohesión entre los granos, que se hace más evidente en aquellas masas de piedra que por estar labrada presentan más superficie para igualdad de volumen encerrado, situación que afecta, como es natural, en primer lugar a las capas más externas.

Cuando esas alteraciones se extienden a zonas más profundas, se produce no la dis-

gregación superficial, sino la fisuración más o menos interna de la masa pétreo con desprendimientos de desconchaduras o incluso de fragmentos mayores, que pueden deberse a la aparición de tensiones internas, unas veces ocasionadas por las expansiones volumétricas de los componentes alterables por la humedad, y otras, producidas por los esfuerzos derivados de las deformaciones mecánicas de la piedra a causa de sus propios pesos o de tensiones externas introducidas por varias vías.

El deterioro debido a la acción de microorganismos no ha sido estudiado, a pesar de los intentos hechos para que se contrataran los oportunos análisis, pero parece tener menor importancia que el de las causas descritas, ya que en los ensayos de microscopía óptica y electrónica, pocas veces han aparecido trazas de su presencia.

III. El proceso de sulfatación de la calcita

La presencia en la atmósfera de anhídrido sulfuroso, procedente de la oxidación de los combustibles fósiles (carbón mineral, derivados del petróleo, etc.), surge de la reacción $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$, gas que pasa a la atmósfera y que es poco activo. Pero bajo la acción de los rayos ultravioleta éste se transforma en anhídrido sulfúrico:

$2\cdot\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\cdot\text{SO}_3$ a la velocidad de 0'1 a 0'2% a la hora, en humedades relativas bajas; siempre que la humedad del aire crece la velocidad crece de forma exponencial, especialmente bajo la presencia de catalizadores tales como el CO, el NH₃, el Fe₂O₃, etc. El anhídrido sulfúrico se combina rápidamente con el agua del aire o la existente en los alvéolos, intersticios y poros de la piedra, dando lugar al ácido sulfúrico, de alta capacidad reactiva:



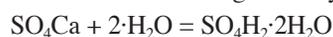
Se han hecho mediciones de concentración de SO₄H₂ en la atmósfera en correlación con el contenido de SO₂ en la misma y se ha comprobado que obedece a leyes lineales, para valores constantes de humedad relativa del aire H_r, y que crece rápidamente a medida que ésta se

acerca al punto de rocío. La ecuación empírica que liga a la concentración C de SO_2 y la concentración A de SO_4H_2 en la misma atmósfera, medidas ambas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, viene dada por

$$A = \frac{C}{22 - 35000(1/H_T - 0'0886)^2}$$

La acción del ácido sulfúrico sobre el carbonato cálcico de la caliza es conocida: $\text{SO}_4\text{H}_2 + \text{CO}_3\text{Ca} = \text{SO}_4\text{Ca} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ que ya genera una primera expansión por tener un volumen mayor que el del carbonato inicial.

Pero el sulfato cálcico puede absorber agua transformándose en yeso:



que influye en el material de varias maneras: produce efectos expansivos que introducen importantes tensiones internas que disgregan la caliza, tanto por caída de consistencia del yeso hidratado en relación al carbonato inicial, como por las tensiones generadas por la expansión; altera las texturas; aumenta la capacidad de retención de agua, por ser un material higroscópico, que cuando capta toda el agua precipita como sal insoluble, aumentando todavía más su volumen; etc.

Más nociva es aún la sal de Epsom, ya citada, de fórmula $\text{SO}_4\text{Mg}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$, a cuya existencia se llega, o bien porque es un compuesto de la misma roca, presente como sulfato de magnesio, o bien generada como una sal de neoformación en un proceso análogo al descrito para el yeso, a partir del carbonato de magnesio presente en las calizas dolomíticas.

Además de los procesos de dilatación cúbica³ que producen las expansiones internas de las salas de neoformación y de sus subsiguientes hidrataciones hay que recordar las reacciones más significativas que se producen en la caliza cuando hay presente un sulfato alcalino, sódico o potásico, o incluso del tipo de los descritos anteriormente:

1º) El carbonato cálcico insoluble es atacado por el anhídrido carbónico y vapor de agua de la atmósfera, transformándolo en



2



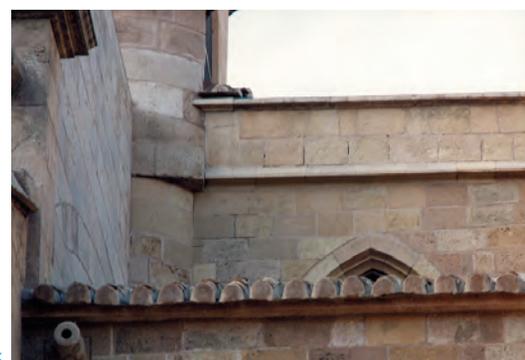
3

2. Exterior de la capilla 2. Estado anterior a la intervención

3. Exterior de la capilla 2. Estado posterior a la intervención



4



5

4. Exterior de la capilla 3. Estado anterior a la intervención

5. Exterior de la capilla 3. Estado posterior a la intervención



6

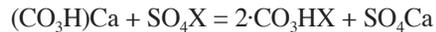


7

bicarbonato soluble:



2º) La presencia del sulfato alcalino produce, por ejemplo, bicarbonato y yeso anhídrido:

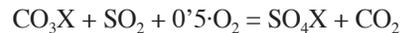


3º) El bicarbonato alcalino se transforma en carbonato con desprendimiento de agua y anhídrido carbónico:



Mientras que el sulfato cálcico conduce, de modo análogo al descrito, a la formación de yeso.

4º) El carbonato alcalino, por acción del SO_2 de la atmósfera contaminada, o por la presencia de sulfobacterias, se convierte nuevamente en sulfato, bajo la acción catalizadora de los óxidos de nitrógeno:



Al llegar a este punto se reinicia el ciclo después de haberse destruido parte de la calcita.

IV. Elección de materiales para la restauración

Visto el proceso de deterioro fue preciso decidir qué materiales había que emplear cuando hubiera que reponer carencias.

La caliza de las canteras originales, además de agotadas, presentaba los problemas que acabamos de señalar de forma acusada como demostraban los análisis efectuados.

El empleo de otra caliza implicaba dos problemas: en primer lugar, que la mala calidad derivada de la alta porosidad del material original conducía a evitar ese régimen poroso e ir a uno más compacto, pero el resultado hubiera sido tan desastroso como lo demostraron unas restauraciones hechas con piedra de Abarán en los años 60, ya que teniendo distinta porosidad, la piedra más compacta absorbía más agua, por tener el poro más fino (de acuerdo con la ley de Jurín), y acababa manchándose con problemas añadidos de eflorescencias; y, en segundo, al quedar roto el equilibrio entre el agua ascendente por capilaridad por el interior del muro

antiguo y la menor evaporación superficial, por la porosidad abierta menor, se aumentaba la altura de equilibrio y aparecían invadidas zonas más altas de las fábricas que antes no estaban alteradas por el problema.

La solución se podía buscar por otro camino: emplear morteros reintegradores, que permitiesen, alcanzar porosidades semejantes a la vez que obtener coeficientes de dilatación térmica muy parecidos, con lo que se evitarían, de paso, los problemas de desgajamiento.

Y además aportan la ventaja fundamental: que las reposiciones necesarias no precisan la eliminación de material original, y permiten el dar cumplimiento a la reconocibilidad al ojo experto de los añadidos que exigen todas las cartas internacionales del *restauro*.

El mercado ofrece varias marcas con una larga experiencia demostrada, que permitieron adoptar este material básico a emplear en las restauraciones, ya que además permite un buen trabajo en operaciones de moldeado directo y de vaciado, así como lograr texturas y matices con diversos procedimientos.

V. Las operaciones de conservación/restauración

Las intervenciones fundamentales aplicadas en el proceso restauratorio han sido las siguientes:

5.1. Eliminación de los abundantísimos empastes y repellidos preexistentes hechos a lo largo de los tiempos con pastas tintadas de yeso, con los que, especialmente en el siglo XIX se cubrieron todas las carencias, deterioros y pérdidas de material habidos no sólo en sillares planos y en piezas talladas, sino también en elementos estructurales fundamentales para la estabilidad de algunos arbotantes, y cuyos efectos negativos ya hemos señalado. Esta situación ocurría de forma desmesurada en la zona circundante el frontón exterior de la capilla de Gil Rodríguez de Junterón, en la que éste y algunas zonas colindantes o eran yeso

6. Aplacados sobre la fachada exterior del cuerpo del siglo XVI. Estado anterior a la intervención.

7. Aplacados sobre la fachada exterior del cuerpo del siglo XVI. Estado posterior a la intervención.

en pelladas o de yeso en neoformación, especialmente en las zonas que habían estado más afectadas por las aguas de penetración.

5.2. Supresión del material mórbido, es decir, de aquellas partes alteradas e irreversibles por haberse producido una degradación química y de descohesión granular. Tras algunos ensayos se pudo comprobar que el agua nebulizada era suficiente para arrastrar todo el material degradado irrecuperable, en su mayor parte pulverulento o convertido en yeso hidratado.

5.3. Limpieza de llagas hechas con argamasa de cal degradada o perdida por disolución de las aguas pluviales. Se optó por utilizar argamasa análoga de cal apagada con arena lavada, ya que se mantenía el equilibrio de evaporación e intercambio de humedad, también por la junta, evitando que en los bordes de los sillares aparecieran zonas estancas que terminan generando cercos por concentración de humedad en los trasdoses.

5.4. Procesos de consolidación, efectuados con ésteres copoliméricos del ácido etilsilíclico, o derivados de los polisilicatos de etilo, que permiten la transpiración gracias a la craquelación natural de sus redes de poliadicción, elegidos entre los ensayados, con resultado positivo, en Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, bajo la dirección de Rosa María Esbert.

Según el grado de alteración, se aplicaron bien por imbibición, bien por impregnación directa.

5.5. La limpieza se efectúa tras la retirada de las fábricas de todos los elementos metálicos (hierros, cartelas, aisladores, etc.) clavados en la piedra o en sus juntas. Como la suciedad acumulada estaba presente, sobre todo en las oquedades y grandes poros abiertos en la cara de los sillares, y fundamentalmente se trata de depósitos finos de polvo y cenizas, bastó con la aplicación del agua nebulizada para su eliminación.

Otros depósitos importantes eran los acumulos de excretas de las aves, especial-

mente la palomina, que se viene retirando con simples espátulas de madera⁴; hay que recordar que tiene este abono el grave inconveniente que mancha y altera las superficies calizas, debido a la presencia de aminoácidos contenidos en los excrementos citados.

5.6. En algunos emplazamientos delicados, donde además se habían producido eflorescencias salinas solubles, como ocurría en la capilla citada de G. R. de Junterón (tras comprobar que, al menos, superficialmente las fábricas habían alcanzado un cierto grado de desecación natural), se efectuó una primera retirada mecánica de las eflorescencias y depósitos superficiales, así como de la última capa de pátina aplicada en el siglo XIX con rudas brochas de esparto; seguida de una doble extracción de sales mediante emplastos de sepiolita amasada en agua desionizada, a los que a veces, hubo que añadir una pequeña proporción de bicarbonato amónico para reblandecer los depósitos más persistentes. El control de las extracciones se efectuó con un conductímetro de baterías, aplicando los electrodos a disoluciones uniformes de emplasto seco en agua desionizada⁵.

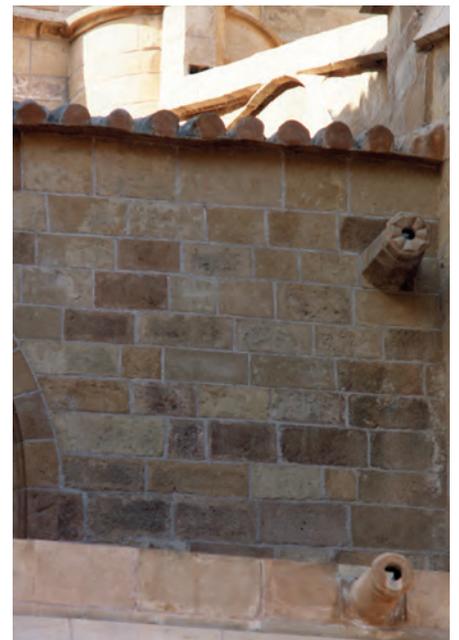
5.7. Efectuada la limpieza se procedió a efectuar las reposiciones de elementos que resultaban imprescindibles, como gárgolas para la evacuación de las aguas de lluvia (tras reparar estructuras y conducciones por arbotantes, etc.); recuperar molduras documentadas que habían sido alteradas o tapadas en intervenciones anteriores, como, por ejemplo, las basas y algunos capiteles externos y tres cabezas de la capilla de G. R. de Junterón, o la imposta gótica original en pico de gavilán, que en épocas pretéritas había sido sustituida por una simple platabanda plana acompañada de varios filetes.

5.8. Seguidamente se procedió a la consolidación de los elementos más degradados y a la aplicación de tratamientos hidrófugos no generalizados, en las zonas expuestas a las aguas pluviales.

5.9. Se crearon todos los sillares que tenían



8



9

8. Exterior de la capilla 6. Estado anterior a la intervención

9. Exterior de la capilla 6. Estado posterior a la intervención



10

10. Portada de los apóstoles durante el proceso de restauración

11. Portada de los apóstoles durante el proceso de restauración

12. Portada de los apóstoles. Estado posterior a la intervención

11



12



Notas

1 Esbert Alemany, R. y otros: "Caracterización petrofísica, petroquímica y alterológica de los materiales pétreos utilizados en la Catedral de Murcia", Primer informe, marzo 1988, pág. 7 (inédito).

2 Ibid, informe 3, pág 58.

3 La epsomita tiene un coeficiente de dilatación cúbica $\theta = 225\%$; si suponemos que está presente en una concentración de un $p = 0'033\%$, en una caliza isotrópica de coeficiente medio $E = 80.000 \text{ Kp/cm}^2$, como realmente sucede en algunos sillares de la Catedral de Murcia, tenemos por la condición de isotropía que $\theta_x = \theta_y = \theta_z$, y como por elasticidad sabemos que $\theta = \theta_x + \theta_y + \theta_z$, enseguida obtenemos que $\theta_x = \theta_y = \theta_z = 75\%$. Las tensiones internas de trabajo producidas por estas expansiones son fáciles de calcular, recordando que para cada eje $i = x, y, z$ es:

$$\sigma_i = p \cdot \epsilon_i \cdot E = (33 \cdot 10^{-5}) \cdot (75 \cdot 10^{-2}) \cdot 80.000 = 19 \text{ Kp/cm}^2.$$

Si a estas tensiones internas sumamos los efectos de la humedad disruptiva, originada por las fuerzas electrostáticas de las moléculas polarizadas, que calculada resulta ser del orden de 7 Kp/cm^2 ; si se consideran también las tensiones producidas por la cristalización de sales y endoflorescencias, las tensiones térmicas, que calculadas pueden ser del orden de los 6 Kp/cm^2 , etc. (Cf. Vera Botí y otros: La Catedral de Murcia y su Plan Director, Murcia 1994, pág 347), enseguida se comprende el efecto destructivo sobre unas rocas cuya resistencia a tracción, aunque con tanta dispersión como se quiera, viene a tener un valor medio de $6-10 \text{ Kp/cm}^2$.

4 Recordemos lo dicho más arriba respecto al efecto catalizador de los óxidos de hierro.

5 Sobre este procedimiento se está preparando un artículo extenso de pronta publicación.

carencias importantes, terminando sus superficies con texturas análogas a las de la piedra original.

5.10. Y se concluyen las obras con tratamientos puntuales de patinación cromática hecha con pigmentos de tierras naturales.

VI. Modelados

La restitución de carencias se ha efectuado mediante morteros reintegradores específicos para la restauración monumental, a base de una o dos capas.

Entendemos por modelados todas las operaciones que se basan en la conformación de las soluciones definitivas de piezas especiales, basadas en la inicial plasticidad de los materiales de restauración señalados, ya sean hechas a la terraja, modeladas a la espátula, o ejecutadas mediante vaciado simple o vaciado doble.

El vaciado simple es de aplicación para piezas simples, repetitivas en serie, a partir de un molde, recuperable o no, sacado de una pieza original.

Modelado directo in situ, sin moldes se ha hecho en todos los dentículos y molduras recuperadas en los dos extremos del imafrente.

El vaciado simple se utilizó para reponer las hojas en la crestería de la puerta de los Apóstoles, sacadas de los dos ejemplares que aun se conservaban in situ y atendiendo a las reproducciones fotográficas antiguas aplicadas en sus detalles.

El vaciado doble consiste, en resumen, en reponer in situ con arcilla de alfar las carencias específicas, retirar la pieza de barro y sacar de ella un primer vaciado ajustado al sitio; de este primer molde se funde una pieza en escayola que se lleva a su posición en obra y se ajusta, completa y perfila en su forma definitiva; retirada, tras el refinado, se saca un segundo molde, con el que se funde la pieza definitiva, debidamente armada con acero austenítico, rico en cromo, de excelentes cualidades inoxidables.

Para las fijaciones se han utilizado distintos procedimientos, cuyo final se reduce a unir la pieza, de modo análogo a como lo hace el odontólogo, cuando coloca un puente. 🏠