

Ciencia, Tecnología y Sociedad

para una **Conservación Sostenible del Patrimonio Pétreo**

**RESTAURADORES SIN FRONTERAS
INSTITUTO DE GEOLOGÍA ECONÓMICA
Primera Edición, Madrid 2007**

EL CLAUSTRO DE LA CATEDRAL DE OVIEDO: CONSERVACION DE LA PIEDRA

F.J. Alonso¹, R.M. Esbert¹, J. Ordaz¹, L. Valdeón², A. Rojo², F. Mateos².

¹ Departamento de Geología (Petrología). Universidad de Oviedo.

² GEA, asesoría geológica. Oviedo

ABSTRACT

The preliminary studies and subsequent phases of intervention carried out in order to afford the conservation of the Oviedo cathedral cloister are exposed. These studies comprised the degree of deterioration and petrophysical characterization of the two types of building stones used in the cloister –Piedramuelle limestone and Laspra dolomite– as well as the analysis of alteration products, soot, black crusts and artificial or historical patinas. Environmental factors –climatic and atmospheric pollution characteristics– were also taken into account. Laboratory and in situ tests were carried out in order to select the most suitable methods for cleaning the stones. Microblasting was recommended in those areas where the substratum showed a good degree of cohesion, while laser irradiation was suggested for those areas where stone showed a lesser degree of cohesion. Other intervention steps –reintegration, sealing of fissures, etc– were also undertaken. Also, different test were undertaken to choose the most suitable protective products appropriate for these stones. Finally, the paper summarizes the most relevant aspect involved in the maintenance of the cloister.

INTRODUCCIÓN

En la intervención del claustro de la Catedral de Oviedo han tenido gran importancia los trabajos relacionados con la conservación de la piedra. Previamente se habían resuelto los problemas de humedad –tanto de filtración como de capilaridad–, y no presentaba daños estructurales. En relación con dichos trabajos sobre la piedra se indican los estudios previos llevados a cabo y el seguimiento realizado durante la intervención. Otros aspectos pueden verse en Esbert et al. (2004).

Los *estudios previos* tienen como objetivo establecer el diagnóstico de lesiones y suministrar criterios de conservación. Entre ellos se incluyen las inspecciones en el monumento y los análisis y ensayos de laboratorio, con el fin caracterizar los materiales y su estado de alteración. También se realizaron pruebas de limpieza y ensayos para evaluar los tratamientos de conservación. Todos esos estudios están orientados a establecer sugerencias que sean útiles durante la intervención y en el mantenimiento del edificio.

Las principales etapas efectuadas en la *intervención* fueron: limpieza, reintegración y protección. También se efectuaron otras labores más localizadas, como el sellado de microfisuras, la reparación de morteros de juntas y la eliminación de organismos vegetales. El seguimiento realizado comportaba llevar el control de calidad durante la ejecución de las obras, valorando y ajustando las variables existentes en los distintos procesos de intervención. Finalmente se consideran las sugerencias de mantenimiento, especialmente las dirigidas a la conservación de la piedra del claustro.

ESTUDIOS PREVIOS

Dentro de los estudios previos se establecen varios apartados. En primer lugar es preciso conocer el claustro y documentar sus aspectos arquitectónicos y constructivos, tanto desde el punto de vista histórico como artístico. En las inspecciones preliminares se establecen los distintos materiales pétreos utilizados en su construcción, para después caracterizarlos en el laboratorio. Paralelamente se examina su estado de deterioro y se analizan los productos de alteración, con el fin de determinar la patología que presenta. Otro apartado a considerar es el ambiente en el que está inmerso el claustro, incluyendo aspectos relacionados con el clima y la contaminación, en particular aquellos que han podido influir en su deterioro.

Todos estos estudios previos permiten explicar la patología observada: las causas generadoras, los procesos desarrollados hasta su estado actual de deterioro y pronosticar su posible

evolución. Además de establecer el diagnóstico de lesiones, dichos estudios deben orientar la intervención que requiere el edificio y el subsiguiente mantenimiento.

El claustro

Atendiendo a su *historia*, el claustro corresponde a dos épocas bien diferenciadas de construcción, el claustro bajo de los siglos XIV y XV, y el claustro alto del siglo XVIII. En el claustro bajo, gótico, y profusamente labrado, se pueden distinguir tres etapas constructivas: la cara norte y parte de la oeste levantada entre 1300 y 1345 en estilo gótico clásico, el resto de la cara oeste y la sur de 1348 a 1365 en gótico manierista y, finalmente, la cara este de 1412 a 1441 en gótico flamígero. El claustro alto, construido entre 1733 y 1740, es de estilo barroco y mucho más sobrio en cuanto a decoración (De Caso et al. 1999).

Desde el punto de vista *artístico*, se han establecido en el claustro bajo tres unidades: zonas lisas, carentes de labra, que corresponden a los paramentos y muretes; zonas de labra ornamental, donde la decoración es repetitiva, entre las que destacan por su extensión los ventanales; y zonas de labra singular, de tipo escultórico, como son los capiteles y ménsulas (Figura 1).

Ambos aspectos –históricos y artísticos– presentan interés en relación con los cambios que han podido sufrir los materiales durante el tiempo de construcción del edificio, cambios que pueden influir en su evolución frente al deterioro. Por otra parte, el valor artístico es un factor fundamental a la hora de elegir las técnicas y procedimientos de restauración.



Figura 1. Ángulo sudeste del claustro de la catedral de Oviedo, antes de la intervención.

Los materiales pétreos

El claustro presenta dos tipos rocosos que guardan relación con dichas unidades constructivas. El claustro bajo está levantado mayoritariamente con piedra de Laspra, en particular todas las zonas labradas son de ese tipo de piedra. El claustro alto y los muros exteriores del claustro bajo son de piedra de Piedramuelle. En ambos casos se trata de piedras de naturaleza carbonatada, extraídas en los alrededores de la ciudad de Oviedo (Esbert y Marcos, 1983).

La *piedra de Laspra* (Terciario inferior) es una dolomía blanca, masiva, de aspecto muy fino (micrítica), homogénea e isotrópica, con abundantes poros de distintos tamaños (Figura 2a). Dicha roca está constituida mayoritariamente por dolomita (95 %), también presenta algo de cuarzo tamaño limo y arcillas. Su textura es microcristalina, es decir, está formada por cristales de dolomita tamaño micrita (4 micras), excepcionalmente presenta relictos de fósiles (fragmentos de valvas), (Figura 3a). Posee elevada porosidad (30 %), con poros de gran tamaño junto a otros más pequeños, pequeño radio de acceso de poro (0,2 micras) y superficie específica elevada (3,5 m²/g).

La *piedra de Piedramuelle* (Cretácico Superior) es una caliza amarillenta, granuda, más o menos bandeada y ligeramente anisotropa (Figura 2b). Está constituida mayoritariamente por calcita (80%), también presenta cuarzo, y en menor proporción feldespatos, fragmentos de roca, micas, arcillas y óxidos de hierro. Su textura es clástica, granuda, predominando entre los granos los peloides y los restos fósiles, el cemento es de calcita espática y a veces forma orlas alrededor de los granos (Figura 3b). Los granos son de tamaño grueso a medio (0,5 mm), con ligeras variaciones en bandas según la estratificación; con frecuencia se presentan ligeramente alargados y orientados. La roca también muestra elevada porosidad (20 %), con grandes poros de tipo intergranular y a veces móldico, radio de acceso de poro mayor (1,5 micra) y superficie específica menor (0,4 m²/g).

El comportamiento frente al agua es una característica fundamental en el deterioro de los materiales. En este sentido ambas rocas presentan elevada absorción de agua, saturándose más la piedra de Laspra. El agua retenida tras la evaporación, así como el coeficiente de capilaridad y el de permeabilidad al vapor también es mayor en Laspra (Tabla 1).

Todas esas características –petrográficas y físicas– explican su uso en el monumento y su evolución frente al deterioro. Así, la piedra de Laspra, dada su composición (dolomía) y su tamaño de grano (microcristalino), es más apta para la labra; no obstante, su abundante porosidad y su pequeño tamaño de acceso de poro, hace que retenga más la humedad y sea más proclive al ensuciamiento y a otras formas de deterioro, explicando su tendencia a disgregarse en forma de polvo. La piedra de Piedramuelle, al ser una caliza granuda, presenta una superficie más rugosa y menos favorable para la labra; por otra parte, su porosidad es menor y los poros están bien comunicados –elevado acceso de poro–, lo que favorece la evaporación y guarda relación con su mejor comportamiento frente al deterioro.

El acabado de la superficie pétreo es una parte esencial de estos estudios previos. En este caso destaca la presencia de una *pátina artificial o histórica* que aparece de forma generalizada en el claustro bajo, sobre la piedra de Laspra. Dicha pátina era muy difícil de detectar inicialmente, dado que se encontraba cubierta por una capa de suciedad o se había perdido en las zonas disgregadas, pero resultó fácil de observar durante las pruebas de limpieza. La pátina es de pequeño espesor (50 a 100 micras), de color claro con tonos amarillos a rojizos (5YR 8/4) y de aspecto liso y uniforme; está compuesta mayoritariamente por yeso, con trazas de pigmentos ocre, probablemente arcillas con óxidos de hierro; su textura es muy fina, estando constituida por cristales prismáticos inferiores a 50 micras (Figura 4a). Dicha pátina probablemente fue dada en el pasado para amortiguar las diferencias de color con el claustro alto, y quizás también con fines protectores o como soporte de las policromías.

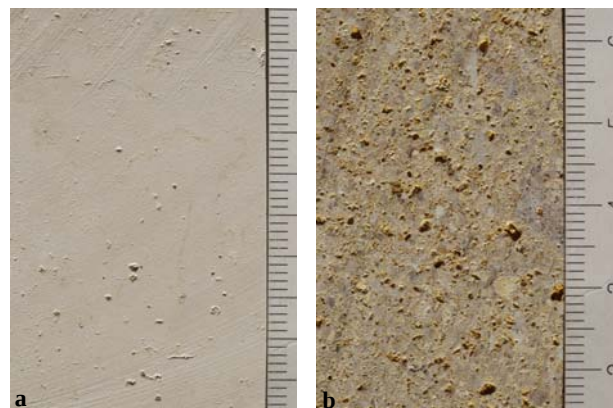


Figura 2. Aspecto macroscópico de las piedras utilizadas en la construcción del claustro. a) Dolomía de Laspra. b) Caliza de Piedramuelle.

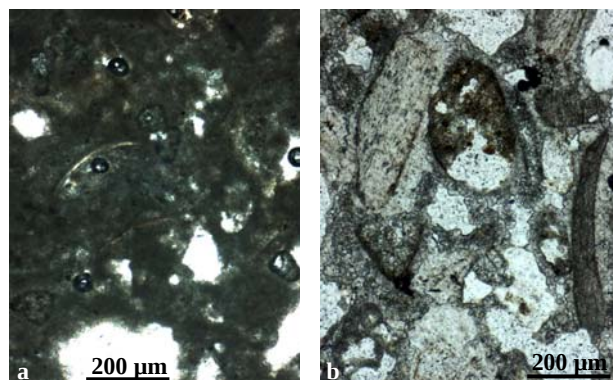


Figura 3. Detalle de la textura de ambos tipos rocosos al microscopio óptico de polarización (x 63, sin analizador). a) Dolomía de Laspra. b) Caliza de Piedramuelle.

Tabla 1. Propiedades hídricas de las rocas utilizadas en la construcción del claustro de la catedral de Oviedo.

		Piedra de Laspra	Piedra de Piedramuelle
Absorción de agua (7 días)	Contenido en agua (%)	14,7	6,2
	Grado de saturación (%)	88	68
Evaporación (7 días)	Contenido en agua (%)	0,38	0,01
	Grado de saturación (%)	2,3	0,1
Coeficiente de capilaridad (kg/m ² ·h ^{1/2})		6	1,8
Coeficiente de permeabilidad al vapor de agua (g/m ² ·24h)		225	90

El deterioro

Dada la ausencia de daños apreciables de tipo estructural (fisuras, deformaciones) o de lesiones generadas por humedades recientes (del subsuelo, de la cubierta), las formas de deterioro más habituales son: la pátina de suciedad –patente por el ennegrecimiento generalizado de la superficie– y con menor extensión la pérdida de material, que se manifiesta por la presencia de zonas blancas disgregadas o por faltas que afectan al volumen.

El *ennegrecimiento* es debido a la capa de suciedad que ha ido depositándose a lo largo del tiempo sobre la piedra patinada. Dicha capa normalmente era fina y estaba bien adherida al sustrato, presentando la consistencia de una pátina; en algunas zonas más expuestas a la lluvia podía faltar y en otras más resguardadas pasaba a ser una auténtica costra (Figura 4b). En

general este ennegrecimiento era mayor en el claustro bajo, sobre la piedra de Laspra, en la cara que dan al jardín, sobre todo en la esquina sudeste del claustro (figura 5).

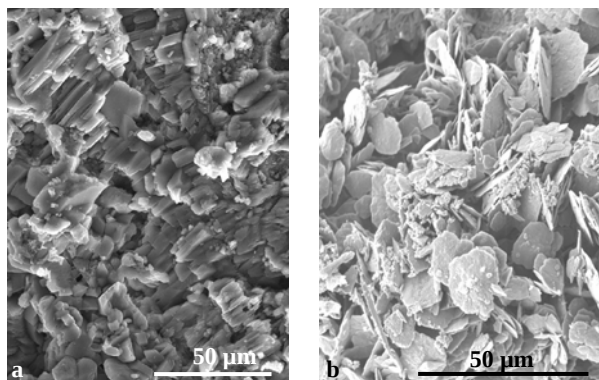


Figura 4. Imágenes de la superficie del material al microscopio electrónico de barrido. a) Pátina histórica de yeso. b) Costra negra, destaca la distinta morfología de los cristales de yeso.

Otro tipo de daños también frecuentes son los relacionados con la *pérdida de material*. Aunque las zonas con estos daños son menos extensas que las ennegrecidas, constituyen importantes lesiones por su naturaleza –pérdida de materia y forma– y por afectar a las zonas más ricas en labra. La pérdida de material se presenta en forma de disgregación –desprendimiento progresivo de material, en forma de polvo–, y es fácil de detectar por el aspecto blanco y deleznable de la superficie, más blanco cuanto más recientes y activos son los procesos implicados; esto ocurre principalmente en el claustro bajo, sobre la piedra de Laspra (figura 5). Otras veces la pérdida de material está relacionada con el desprendimiento de fragmentos de roca, y puede deberse a procesos naturales de alteración en presencia de discontinuidades y fisuras en el material, aunque normalmente tiene un origen antrópico (golpes, impactos...).

Entre ambas formas mayoritarias de alteración se observa con frecuencia cierto paso gradual; así, las zonas ennegrecidas sometidas a frecuentes cambios hídricos desarrollan costras negras. A veces las pátinas o costras tienden a desprenderse del sustrato dando lugar a ampollas, que cuando rompen muestran la piedra de Laspra blanca, pulverulenta y disgregada. Estos procesos de formación de ampollas son debidos a cambios periódicos en el contenido en humedad de la roca y a la consiguiente cristalización de sales solubles, y se producen sobre todo en el claustro bajo, en las zonas ricas en labra.



Figura 5. Tracerías de los ventanales y capiteles antes de la intervención. Puede observarse el grado de ennegrecimiento y algunas zonas disgregadas, especialmente una columna.

Otras lesiones minoritarias, más localizadas, observadas en el claustro bajo son: descamación, alveolización –en sillares de arenisca–, acusada corrosión –en los sillares situados bajo los antiguos mingitorios–, y una notable pátina de verdín en la parte baja del murete exterior. En el claustro alto se observa de forma excepcional algún sillar desplazado, fisuras en relación con la

inserción de elementos metálicos en la piedra, y el desplome de la clave en un balcón. También cabe destacar la falta de mortero en muchas juntas entre sillares.

El tipo y grado de deterioro que presenta la piedra va a condicionar el método de limpieza; así, en concreto, importa el espesor y el grado de adherencia de los productos de alteración (pátinas de suciedad, costras...) al sustrato pétreo, y el grado de coherencia que conserva dicho soporte pétreo en las zonas con tendencia a la disgregación.

El ambiente

El clima de Oviedo es templado y húmedo, con abundantes días de precipitación y de niebla a lo largo del año, y relativamente pocos días de helada (Tabla 2). Previamente a este estudio se habían realizado intervenciones en el subsuelo y en las cubiertas, con el fin de evitar esas fuentes de humedades. No obstante, debe tenerse en cuenta que el claustro es un recinto semicerrado, donde se genera un microclima que favorece la condensación y la retención de humedad por parte de la piedra, especialmente en un ambiente húmedo como es el de Oviedo.

Tabla 2. Datos climáticos de la ciudad de Oviedo (INM).

	1931-60	1961-90
Temperatura media anual (°C)	12,5	12,7
Temp. media anual de temp. máximas (°C)	16,5	16,8
Temp. media anual de temp. mínimas (°C)	8,4	8,4
Humedad relativa media (%)	77	78
Precipitación anual media (mm)	964	971
Nº medio anual de días de precipitación	143,3	184
Nº medio anual de días de nieve	3	5,6
Nº medio anual de días de niebla	51,5	103,2
Nº medio anual de días de helada	15,1	9,4

En cuanto a la *contaminación atmosférica*, sólo hay datos de las últimas décadas y no se aprecian niveles elevados, aunque probablemente en épocas pasadas ha sido mayor. Así, hasta hace relativamente poco tiempo predominaban las calefacciones de carbón –a veces de baja calidad por su contenido en azufre–, y también el tráfico rodado era más contaminante y circulaba por el entorno de la catedral.

Los valores medios mensuales de los principales contaminantes, obtenidos en el claustro durante el año 1997, fueron 30 µg/m³ para el contenido en SO₂ y de 64 µg/m³ para las partículas sólidas. Análisis de dichas partículas muestran que son mayoritarias las de naturaleza carbonosa y las orgánicas, seguidas de las compuestas por silicatos y carbonatos, y destacan por su abundancia en términos relativos los óxidos de hierro; entre las partículas más finas abundaban las ricas en hierro y otras ricas en azufre, relacionadas probablemente con la condensación del SO₂ gaseoso (Esbert et al. 2001; Díaz-Pache, 2002). Las partículas carbonosas y las ricas en óxidos de hierro participan en la formación de la pátina negra, y junto a las partículas ricas en azufre y el SO₂ gaseoso generan las costras de yeso.

Diagnóstico del deterioro

En la alteración de la piedra intervienen factores litológicos y ambientales. Entre los primeros se ha visto como la piedra de Laspra es más susceptible al deterioro: se ensucia y se disgrega con más facilidad. Los factores ambientales que más la afectan son humedad –debida al clima y microclima del claustro– y los contaminantes atmosféricos, fundamentalmente las partículas y el SO₂ gaseoso, productos derivados de los procesos de combustión (en calefacciones, motores...).

Las primeras propuestas de actuación deben dirigirse a reducir la humedad y la contaminación, y en ese sentido ya se habían realizado intervenciones en el entorno de la catedral. Con el fin de disminuir la contaminación se había reducido el tráfico en todo su entorno, y también este hecho era favorecido por el cambio de combustible en calefacciones y motores de explosión. Entre las obras ya realizadas para evitar las humedades –dentro

de las primeras fases del plan director de la catedral— se hallaban el drenaje del subsuelo y reparación de cubiertas.

En consecuencia se daban las condiciones necesarias para afrontar la intervención en la piedra con ciertas garantías. En este caso la intervención tuvo lugar de forma inmediata y, puestos los andamios, se continuaron los estudios de diagnóstico junto a los trabajos de seguimiento y control de la intervención. De esta forma se hacen más específicas las sugerencias de intervención, en particular se caracterizó con más detalle el tipo y grado de deterioro de la piedra, a la vez que se establecía el método de limpieza más adecuado y sus condiciones de aplicación.

INTERVENCIÓN

La intervención llevada a cabo en el claustro de la catedral de Oviedo en el año 2003 comprende distintas etapas que pueden ser incluidas en tres partes: limpieza, reintegración y protección. Además se efectuaron otras labores menores, más localizadas, como el sellado de microfisuras y escamas, el retacado de juntas y la eliminación de organismos vegetales. En la cara sur se cambió la posición de la puerta de entrada al jardín, lo que supuso la sustitución de sillares y la labra de un mainel (Ordaz et al. 2004).

Las características de cada una de estas etapas se fueron definiendo al inicio y durante la ejecución de las obras, y el seguimiento realizado consistió en valorar y ajustar las variables implicadas, propias de los diferentes procesos y técnicas de intervención, mediante distintas pruebas y análisis.

Limpieza

Dadas las características del deterioro la limpieza ha sido la parte más importante de las labores de intervención realizadas. El procedimiento de limpieza viene condicionado por diferentes factores: el valor del edificio y del elemento a limpiar, las características del sustrato —la piedra y la pátina histórica—, la naturaleza y estado físico de la suciedad, el grado de deterioro —coherencia del sustrato, adherencia de la suciedad al sustrato— y la morfología de la superficie. En todos los casos debe de evitarse que el procedimiento elegido afecte al sustrato histórico o a la piedra cuando éste falte.

De acuerdo con estas premisas se seleccionaron dos métodos de limpieza. El primero consistía en una limpieza mecánica, mediante proyección de microabrasivos en seco, indicado para eliminar la suciedad en los sustratos cohesionados. El otro era una limpieza mediante radiación láser, más adecuada para elementos labrados más o menos deteriorados. En ambos casos se realizaron pruebas preliminares con objeto de determinar las condiciones y el valor de las variables que podían afectar al resultado final (Esbert et al., 2004).

Los equipos empleados en la *limpieza con microabrasivos* fueron BlastMate Microstrip y Pencil Mini Blaster 1, de la casa comercial Materias Primas Abrasivas (MPA), (Figura 6). En cuanto al equipo deben tenerse en cuenta distintas variables: presión de aplicación, distancia de trabajo, velocidad de desplazamiento, consumo y rendimiento; otras son las relacionados con el microabrasivo: composición, granulometría y forma. Las pruebas preliminares se realizaron en zonas donde la piedra ennegrecida mostraba diferentes estados de cohesión, analizándose distintos microabrasivos y procedimientos de aplicación. De acuerdo con los resultados obtenidos, se indican las principales características de los abrasivos seleccionados y otros parámetros relacionados con su aplicación (Tabla 3).

La *limpieza láser* utiliza energía fotónica para eliminar la suciedad y —cuando se utiliza correctamente— la radiación generada permite eliminar las partes ennegrecidas sin afectar al sustrato cuando es de colores claros o blanco. Tras las pruebas realizadas se seleccionó el equipo Smart Clean, fabricado por Electronic Engineering (Figura 7). Se trata de un láser de Nd:YAG de cristal sólido cuyas principales características se recogen en la Tabla 4, y posee además un brazo articulado de fibra óptica que le confiere una gran movilidad.

Tabla 3. Características de los abrasivos utilizados en la limpieza y condiciones de aplicación.

	Webusiv	Glassfine	Piedra pómez
Naturaleza	Silicato de aluminio	Vidrio sodo-cálcico	Molienda de piedra pomez
Tamaño	WS1 (0,5-0,1mm) WS9 (0,09-0,18mm)	GF2 (250-100µm)	250-50µm
Forma	Alargadas y angulosas	Irregulares	Alargadas y angulosas
Diámetro de boquilla	a) 1,5 mm b) 6 mm	a) 1,5 mm b) 6 mm	a) 1,5 mm b) 6 mm
Presión de aplicación	a) < 0,25 kg/cm ² b) < 0,75 kg/cm ²	a) < 0,25 kg/cm ² b) < 0,75 kg/cm ²	a) < 0,25 kg/cm ² b) < 0,75 kg/cm ²



Figura 6. Limpieza con microabrasivos. a) Uno de los equipos utilizados. b) Proceso de limpieza en el claustro alto.

Tabla 4. Características del equipo láser utilizado.

Parámetro	Valor
Longitud de onda	1064 nm
Duración del pulso	60 – 120 µs
Frecuencia del pulso	5, 10 ó 20 Hz
Potencia del equipo	100 – 2000 mJ
Diámetro del haz	1,5 – 7 mm
Densidad de energía (fluencia)	0,3 – 113,2 J/cm ²



Figura 7. Limpieza láser. a) Equipo utilizado. b) Detalle de la limpieza de un capitel.

El parámetro fundamental respecto a su aplicación es el límite de energía que puede utilizarse para eliminar la suciedad sin dañar el sustrato (Cooper, 1998). En las pruebas preliminares realizadas también se consideraron otras variables: los restantes parámetros del equipo, las características del material a eliminar, la naturaleza del sustrato subyacente y el modo de efectuar la limpieza por el restaurador. De acuerdo con los resultados obtenidos, cuando la densidad de energía es superior a 36,7 J/cm² empiezan a presentarse daños —huecos, fusión mineral—, por lo

que se tomó ese valor como límite de fluencia, si bien en la práctica casi nunca sobrepasó los 17 J/cm² (Valdeón et al., 2003)

La limpieza ha afectado a todas las unidades, cambiando el método de acuerdo con el grado de suciedad y la coherencia del sustrato, y respetando en todos los casos la pátina histórica. La limpieza mecánica fue el método más utilizado, afectando al claustro alto, a los paramentos interiores de las galerías, a los muretes, a las tracerías de los ventanales y a los capiteles con bajo grado de deterioro (grados I y II). En concreto, se limpiaron con silicato de aluminio (Webusiv) las unidades antes mencionadas, excepto algunos elementos labrados más delicado (capiteles y ménsulas), que se limpiaron con piedra pómez. La limpieza láser se utilizó en la mayoría de los capiteles con grados de deterioro III y IV, en las epigrafías y en ciertas ménsulas. En algunas zonas labradas las partes más coherentes se limpiaron mecánicamente con piedra pómez y las más descohesionadas con láser; en otras –de más valor artístico– tras una primera limpieza mecánica poco intensa, el acabado final se realizó con láser (Fig. 8).

También se efectuaron otras clases de limpieza, en relación con otros elementos. Así, se eliminó la suciedad en los florones situados en las claves de arcos y bóvedas, mediante disolventes químicos diluidos en agua; y se descubrieron las pinturas que había en los plementos de las bóvedas, mediante procesos manuales de limpieza con bisturí, con la ayuda de aire caliente.



Figura 8. Aspecto de un ventanal del claustro antes (a) y después (b) de la intervención.

Reintegración, reposición y sustitución

Las restantes intervenciones han sido más locales. Tras la limpieza se llevó a cabo la reintegración funcional de algunos elementos perdidos: algunas piezas del claustro alto –en cornisas, balcones–, partes de las tracerías del claustro bajo, dos columnas de un ventanal afectadas por impactos de metralla, algunas cornisillas superiores de los capiteles –para protegerles del agua de escorrentía– y alguna zona superior sobresaliente en los muretes. El mortero de restauración utilizado para ello estaba compuesto por cemento blanco, cal y arena, en la proporción 2:1:10, y entonado con pigmentos ocres naturales (Figura 9). En algunos casos –cuando la falta de material era mayor– el mortero iba armado con varillas de acero roscado. Previamente se realizaron pruebas para su elección, controlando el tiempo de fraguado, el endurecimiento y la retracción que presentaba.

Se repuso el mortero de las juntas entre los sillares en la parte superior del claustro bajo, donde con frecuencia se había perdido o estaba inestable. En todos estos casos el mortero repuesto se recreció, de acuerdo con el criterio que se había seguido en épocas anteriores. También se repuso una gárgola perdida en el tramo oeste, que se labró de nuevo en piedra de Laspra.

La sustitución de sillares de piedra se limitó a la intervención efectuada en la puerta de acceso al jardín del claustro. En dicha intervención se eliminó la puerta metálica situada lateralmente en el tramo sur, y se abrió una nueva entrada en la parte media de ese mismo tramo, lo que supuso desplazar sillares en el murete y

labrar un nuevo mainel. Las piezas nuevas fueron labradas en piedra de Vinaixa, roca que presenta unas características –aspecto y propiedades– adecuadas para realizar esa sustitución.

Sellado de microfisuras y escamas

Finalizada la limpieza láser se observó que algunos capiteles presentaban pequeñas fisuras y escamas débilmente adheridas al sustrato, que era preciso fijar antes de que se desprendiesen. Se desestimó en este caso la consolidación intergranular con consolidantes orgánicos, debido a la tipología de las lesiones y a la baja penetración de los productos que normalmente se utilizan con este fin; en concreto, tal como se ha indicado en los estudios previos, la piedra de Laspra presenta poros con accesos de pequeño tamaño, lo que hacen inviable una consolidación eficaz. Por ello, se recomendó realizar un sellado de las fisuras con un mortero de restauración que fuera lo suficientemente fluido para facilitar su penetración, y pegar las escamas de mayor entidad con una resina epoxídica, del tipo Araldit de Ciba-Geigy.

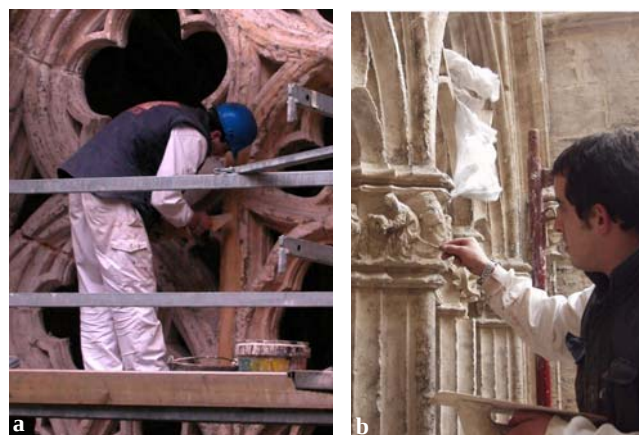


Figura 9. a) Reintegración con mortero en las tracerías de los ventanales. b) Sellado de escamas y microfisuras en un capitel.

Eliminación de organismos vegetales

Durante las labores de intervención pronto comenzó a observarse el crecimiento de una pátina biogénica, sobre todo en la parte baja del claustro que da al jardín. Dicha pátina estaba formada por una capa de verdín (algas verdes), que destacaba por su intenso color sobre las superficies pétreas limpias, más menos blanquecinas. Su mayor desarrollo tenía lugar en las partes bajas de los muretes, en la canaleta perimetral del jardín y en los contrafuertes, siempre en relación con la presencia de agua o de elevada humedad en el ambiente. Antes de pasar a la protección final se realizaron pruebas in situ para la elección de un biocida que eliminase el verdín sin dañar la piedra. El producto utilizado fue Roundup, un biocida de amplio espectro, de la casa Monsanto Agricultura S.L.



Figura 10. Desarrollo de algas verdes en los sillares inferiores de un contrafuerte.

Protección: entonación e hidrofugación.

En esta etapa final, primero se ha aplicado una tenue veladura de entonación para homogeneizar las zonas donde la piedra de Laspra (blanca) quedaba al descubierto, con aquellas otras que conservaban la pátina histórica (ocre). Esta tenue veladura estaba elaborada con agua, pigmentos minerales y “primal” como fijador, y se aplicó de forma generalizada a la piedra de Laspra del claustro bajo, exceptuando los capiteles.

Finalmente se llevo a cabo la hidrofugación de la superficie pétreo, mediante la aplicación de un producto hidrofugante. Para que el tratamiento sea aceptable, el producto aplicado debe proteger la piedra del agua de la lluvia y de la humedad del ambiente, manteniéndola al mismo tiempo permeable frente a la humedad que pueda proceder de su interior.

Previamente, con el fin de seleccionar el tratamiento más idóneo se ensayaron –en el laboratorio y también in situ– varios productos hidrofugantes (Tabla 5), y se determinaron distintas propiedades para su evaluación: ganancia de peso, profundidad de penetración del producto, cambio de color, ángulo de contacto y permeabilidad al vapor de agua. El modo de aplicación es también un parámetro a tener en cuenta en el proceso, en este caso fue por nebulización de la superficie y se dieron tres manos consecutivas.

Tabla 5. Tratamientos hidrofugantes ensayados.

Producto	Preparación
Minersan *	Aplicado directamente
Wacker 290 ** disuelto en white spirit	Proporción 1 /13
Tegosivin HL-100 *** disuelto en white spirit.	Proporción 1/10
Tegosivin HL-100 + HLK3, disuelto en white spirit.	Proporción 1/10 + pequeño contenido en catalizador

* Formulado por Artemon

** Wacker Chemic

*** Goldschmidt

Los hidrofugantes seleccionados tras las pruebas citadas fueron el Minersan y el Tegosivin HL-100 con el catalizador HLK3. El Minersan se aplicó en todos los paramentos verticales, incluidas las partes labradas contenidas en ellos: muros de las

galerías, epigrafas, sepulcros, ménsulas y ventanales. El Tegosivin se utilizó en las partes con mayor profusión de labra: capiteles de los ventanales, capiteles de los pilares y esculturas exentas. En ambos casos se dieron tres manos de nebulización, como en las pruebas previas.

MANTENIMIENTO

Tras la intervención, y como garantía de que los trabajos realizados en el edificio evolucionan correctamente, es preciso llevar a cabo labores de mantenimiento. En el claustro esto es fundamental, dado que se trata de un entorno con elevada humedad y escasa ventilación, donde además pueden presentarse otros problemas, como el ascenso de agua por capilaridad o la aparición de escorrentías poco deseadas.

Un programa de mantenimiento debe contemplar como mínimo los siguientes aspectos:

- Control de las vías de drenaje del agua.
- Control de la humedad en la piedra.
- Estado y evolución de los elementos consolidados y adheridos.
- Control del biodeterioro
- Valoración de la capacidad hidrorrepelente.
- Evolución del aspecto de la superficie: grado de limpieza, aparición de disgregaciones.

Todos estos aspectos deben verificarse de forma periódica en las distintas unidades arquitectónicas y los relativos a la humedad en diferentes épocas del año.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Técnicas de Arquitectura Monumental S.A. (Artemón) que realizaron los trabajos de conservación. A los arquitectos responsables del Plan Director de la Catedral. Al Cabildo de la Catedral de Oviedo y a la Consejería de Cultura del Principado de Asturias. A la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) por la financiación de varios proyectos relacionados con el tema, en especial al proyecto 1FD-97-0331-C03-01 “Estudio y cuantificación de los efectos de la limpieza con láser sobre la piedra monumental”.

REFERENCIAS

- Cooper, M. (1998). *Laser cleaning in conservation*. Edited by Martin Cooper PhD BSc. Butterworth Heinemann.
- De Caso, F., Cuenca, C., García de Castro, C., Hevia, J. De la Madrid, V. y Ramallo, G. (1999). *La catedral de Oviedo. Tomo I: Historia y restauración*. Ediciones Nobel, Oviedo.
- Díaz-Pache, F. (2001). *Partículas de contaminación en ambientes urbanos: Su interacción con la piedra de edificación (Catedrales de Burgos y Oviedo)*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo.
- Esbert, R.M. y Marcos R.M. (1983). *Las piedras del catedral de Oviedo y su deterioración*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias, Oviedo.
- Esbert, R.M.; Díaz-Pache, F.; Grossi, C.M.; Alonso, F.J. y Ordaz, J. (2001). Airborne particulate matter around the Cathedral of Burgos (Castilla y León, Spain). *Atmospheric Environment* 35: 441-452.
- Esbert, R.M.; Ordaz, J.; Alonso, F.J.; Valdeón, L.; Rojo, A. y Mateos, F. (2004). Cleaning of the capitals of Oviedo Cathedral cloister. *10th Int. Con. Deterioration Conservation of Stone, Stockholm*, II: 939-946.
- Esbert, R.M.; Rojo, A.; Alonso, F.J.; Mateos, F.; Ordaz, J. y Valdeón, L. (2004). *La conservación de la piedra del claustro. En: La restauración de la torre y el claustro de la catedral de Oviedo*. Ediciones Nobel, Oviedo.
- Ordaz J.; Alonso, F.J.; Esbert, R.M.; Mateos, F.; Valdeón, L. y Rojo, A. (2004). La intervención en la piedra del claustro de la catedral de Oviedo – España. *Menhir*, 16: 72-85.
- Valdeón, L.; Rojo, A.; Mateos, F.; Alonso, F.J.; Ordaz, J. y Esbert, R.M. (2003). La limpieza con láser de la piedra del claustro de la catedral de Oviedo. *Restauración & Rehabilitación*, 81: 42- 47.