

## La conservación de la piedra del Claustro de la Catedral de Oviedo

Araceli Rojo\*\*, Rosa M<sup>a</sup> Esbert\*, Luis Valdeón\*\*, F. Javier Alonso\*, Félix Mateos\*\* y Jorge Ordaz\*



Detalle de capiteles en el claustro de la Catedral de Oviedo

**La intervención descrita en este artículo constituye un modelo metodológico para actuaciones similares de conservación de la piedra en edificios históricos por su rigor científico en el análisis y la evaluación, ponderación y confrontación de las opciones ofrecidas por el mercado en modo de controlar, dirigir y matizar la tecnología disponible, eligiendo las opciones más idóneas en cada caso, hacia una restauración consciente que controle la técnica, frente a la opción habitual que ve entregar la restauración a las riendas ciegas de la técnica.**

*The Conservation of Stone in the Cloister of Oviedo Cathedral.* The works described in this article constitute a methodological model for similar works for the conservation of stone in historic buildings because of its scientific rigour and the evaluation, appraisal and confrontation of the options to be found on the market for controlling, directing and adapting the technology available, choosing the most suitable possibilities in each case to achieve a deliberate restoration process that restrains and orients the technical steps rather than the usual system of blindly proceeding to restore.

\*Rosa M<sup>a</sup> Esbert, F. Javier Alonso y Jorge Ordaz pertenecen al Área de Petrología y Geoquímica de la Universidad de Oviedo

\*\*Araceli Rojo, Luis Valdeón y Félix Mateos pertenecen a GEA, Asesoría Geológica de Oviedo

¿Es posible hoy en día realizar labores de conservación en la piedra de un edificio histórico sin conocer los aspectos implicados en su deterioro y los relacionados con los métodos de conservación, sobre los que continuamente se dispone de nuevas técnicas y productos? Parece evidente que el conocimiento de estos aspectos, materializados en cada uno de los edificios donde se va a intervenir, condiciona la idoneidad, eficacia y durabilidad de los métodos de intervención. Sin embargo, ¿cómo es posible que todavía este hecho no se asuma de un modo generalizado? ¿Será porque, en la práctica, se está lejos de aceptar un trabajo multidisciplinar, donde el arquitecto responsable de la obra tiene que coordinar, relacionar y armonizar las partes? ¿Será porque los diferentes técnicos y científicos involucrados no consiguen sintetizar y concretar sus estudios para que sean comprendidos, asimilados y puestos en práctica por quienes llevan a cabo la intervención?

Para testimoniar que se empieza a dar respuesta a las cuestiones antes planteadas, se ha elaborado este trabajo, referido a la intervención en el claustro de la catedral de Oviedo, donde se sintetiza la aportación de los estudios petrográficos y alterológicos a dicha intervención. También se incluye el seguimiento que de la misma se realizó, todo ello dentro del ámbito multidisciplinar en el que se llevó a cabo la obra. Aparte de los conocimientos que se puedan extraer de los contenidos específicos de este artículo, los autores consideran que puede servir de referencia metodológica para otros trabajos similares.

## EL CLAUSTRO

El claustro de la catedral de Oviedo es de planta rectangular (fig. 1) y está integrado por dos unidades: el claustro

bajo, de estilo gótico (siglos XIV a XV); y el claustro alto, barroco tardío (siglo XVIII) (fig. 2). En el claustro bajo se puede diferenciar las galerías, bóvedas, ventanales y el jardín. Las galerías presentan en su muro interno sepulcros, esculturas, pilastras y ménsulas ornamentadas (fig. 3). En el muro exterior se asientan los ventanales góticos con sus columnas y tracerías, así como los pilares, con gran riqueza escultórica en su parte interna. Las bóvedas tienen ornamentación en sus nervaduras y florones en las claves, frecuentemente policromados. Los ventanales y toda la decoración asociada corresponden a distintas fases del gótico; los cinco primeros (fig.1) a una primera etapa llamada gótico clásico, los cinco siguientes al gótico manierista y los cuatro últimos al gótico flamígero (de Caso et al. 1999).

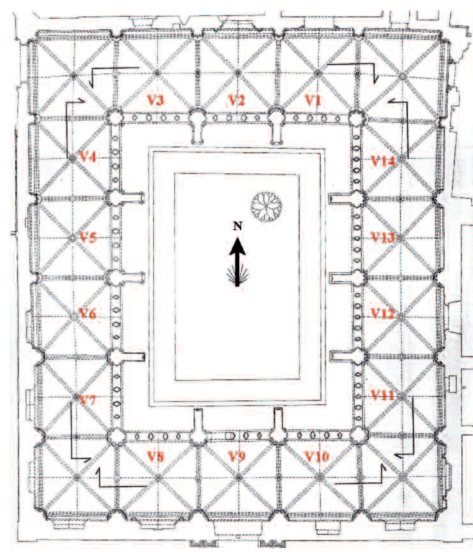
Todo el conjunto mostraba antes de esta intervención, realizada a lo largo de 2003, grados de deterioro muy diferentes según se tratase del claustro alto o bajo. El primero estaba mucho menos deteriorado que el segundo, lo que se atribuye a varias razones:

- La naturaleza de la piedra de construcción: La dolomía de Laspra con la que se ha construido el claustro bajo es más susceptible al deterioro que la caliza de Piedramuelle, utilizada en el claustro alto.

- Los distintos periodos de construcción: El claustro bajo es mucho más antiguo y es lógico que esté más deteriorado.

- Las distintas condiciones ambientales: El claustro bajo ha sufrido de forma más intensa y prolongada los efectos de la humedad y de la contaminación, procedentes del suelo y del ambiente.

- En el claustro alto se realizaron labores de conservación en épocas recientes, en los años 80. En el claustro bajo sólo se actuó en dos ventanales.



1



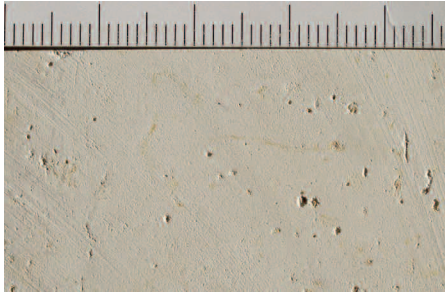
2 y 3



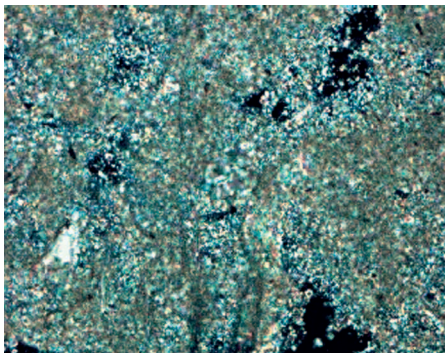
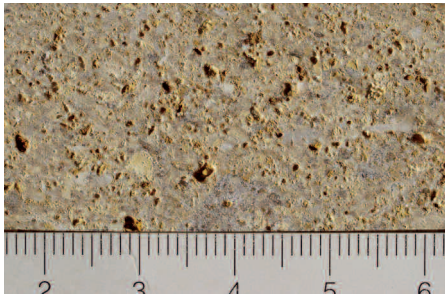
1. Alzado de la planta del claustro de la catedral de Oviedo. Con la letra V seguida de un número se designan los ventanales desde la primera época constructiva (V1 - V5) pasando por la segunda (V6 - V10) hasta la tercera (V11 - V14)

2. Esquina suroeste del claustro de la catedral de Oviedo. El claustro alto estaba menos ennegrecido que el claustro bajo

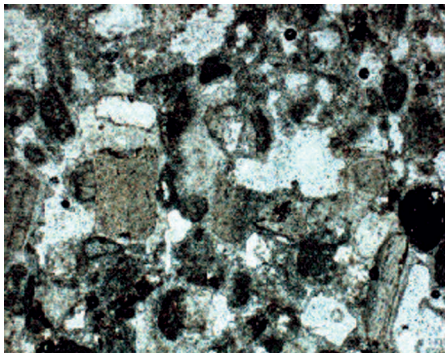
3. Galería oeste vista desde el lateral norte, antes de la intervención



4a y 4b



5a y 5b



4a. Aspecto macroscópico de la dolomía de Laspra  
 4b. Aspecto macroscópico de la caliza de Piedramuelle  
 5a. Aspecto de la textura de la dolomía de Laspra, visto al microscopio óptico de polarización (POL). NCx40. Se diferencian los pequeños cristales que la constituyen  
 5b. Caliza de Piedramuelle observada al microscopio óptico de polarización (POL). (NC x25). Los cristales son de mayor tamaño que los de la dolomía de Laspra

## LA PIEDRA Y LA PÁTINA

Las dos rocas utilizadas en la construcción del claustro, Laspra y Piedramuelle (fig. 4) (Esbert y Marcos, 1983), son de naturaleza carbonatada, pero con aspecto y características muy diferentes. La piedra de Laspra (Terciario Inferior), utilizada en el claustro bajo es una dolomía blanca, masiva, de grano muy fino, inferior a 4 micras, homogénea e isótropa. Está constituida mayoritariamente por dolomita (95 %), su textura es microcristalina y presenta abundantes espacios vacíos (fig. 5). En consecuencia, la roca muestra una elevada porosidad (30%), con poros de tamaño variable, pequeño radio de acceso ( $0,2 \mu\text{m}$ ) y elevada superficie específica ( $3,5 \text{ m}^2/\text{g}$ ), lo que facilita la retención de humedad y el consecuente deterioro.

La caliza de Piedramuelle (Cretácico Superior), utilizada en el claustro alto y en los muros entre ventanales del claustro bajo, es una caliza amarillenta, granuda, más o menos bandeada y anisótropa, por lo que es fácil distinguirla de la anterior. Está constituida mayoritariamente por calcita (80%), presenta también cuarzo y en menor proporción óxidos de hierro, que influyen en el color de la roca; su textura es clástica, granuda, de grano medio ( $0,5 \text{ mm}$ ), siendo los granos carbonatados mayoritariamente peloides y restos fósiles, irregularmente cementados por calcita espática (fig. 5). Esta roca también presenta elevada porosidad (20 %), con poros de tamaño variable, mayor radio de acceso ( $1,5 \text{ micras}$ ) y menor superficie específica ( $0,4 \text{ m}^2/\text{g}$ ) que la piedra de Laspra; en consecuencia, también es menor la captación de humedad y más fácil su evacuación, lo que la hace menos proclive al deterioro.

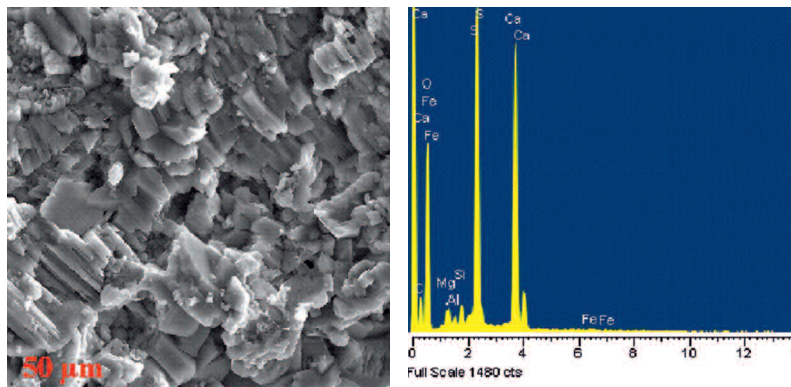
La piedra de Laspra, excepto en las zonas disgregadas, estaba recubierta por una pátina artificial “histórica”, que era difícil de apreciar antes de la intervención debido a la capa de suciedad que la cubría. Dicha pátina de color claro y tono amarillo-rojizo (5YR 8/4), escala Münsell, (Goddard et al., 1979) es de textura muy fina y grosor menor de un milímetro (fig. 6); está compuesta por yeso y pigmentos de óxidos de hierro, a los que se atribuye su color (fig. 7). Dada su posición entre la superficie original de la piedra y la capa de suciedad, se piensa que dicha pátina pudo ser dada en el pasado para amortiguar diferencias de color entre la dolomía blanca de Laspra y la caliza amarilla de Piedramuelle, y quizás también con fines protectores o como base de policromías.

## EL DETERIORO

La forma de deterioro más sobresaliente que presentaba el claustro era su intenso ennegrecimiento, siendo más acusado en el claustro bajo, sobre la piedra de Laspra (fig. 2). Además de la pátina negra generalizada, se observaban costras negras, especialmente en las partes protegidas de los elementos con labra, así como ampollas y picaduras, que dejaban al descubierto la piedra blanca de Laspra, pulverulenta y disgregada (figs. 8 y 9). También se han encontrado organismos vegetales de diversos tipos. La pátina de suciedad estaba constituida fundamentalmente por partículas carbonosas y orgánicas, aunque también abundaban las partículas ricas en óxidos de hierro, (Díaz- Pache et al., 1999). Estas partículas provienen fundamentalmente de la combustión de combustibles fósiles (tráfico, calefacciones, etc.), muy frecuentes hasta épocas muy recientes en ese entorno urbano (fig. 10).



6



7

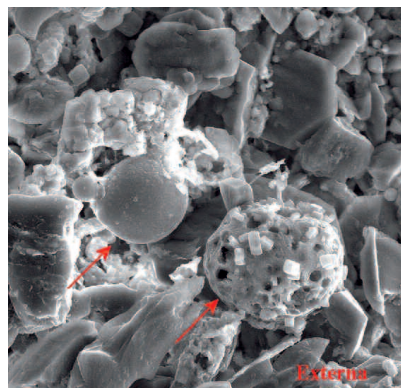


8

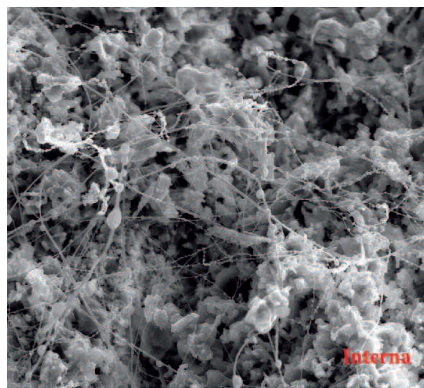


9

10a



10b



6. Aspecto que presenta la pátina histórica en una tracería de un ventanal. En la parte central de la imagen, debajo de la suciedad, se aprecia su color asalmonado

7. Izqda.: Micrografía al microscopio electrónico de barrido (MEB) de la pátina artificial. Dcha.: Espectro correspondiente al microanálisis de la misma

8. Detalle de un capitel extremadamente deteriorado. Además de la pátina de ennegrecimiento se observan costras negras, material pulverulento y pérdidas de material pétreo

9. Detalle de un capitel deteriorado con material disgregado, costras negras y ampollas en el ángulo superior izquierdo  
10a y b. Aspecto morfológico de las partes externa e interna de una costra al MEB. En su parte externa se pueden observar esférulas de contaminación de diferentes tipos y en la interna filamentos orgánicos

A continuación se destacan aquellas peculiaridades que afectan al deterioro de los elementos de las dos principales unidades del claustro.

### Claustro bajo

El intenso ensuciamiento de la piedra, aunque muy persistente en todas las zonas de esta unidad, estaba distribuido de forma irregular. Además de la pátina oscura, eran muy frecuentes las costras negras de espesor variable (con yeso de neoformación), descohesión intergranular de la piedra de Laspra y pérdidas de fragmentos de piedra. A continuación se describen los resultados del estudio alterológico referidos a cada uno de los elementos que lo integran.

### Muros y ventanales

Los muros internos de las galerías estaban recubiertos de una tenue pátina de suciedad, debajo de la cual puede apreciarse la pátina artificial; la piedra, en general, está poco deteriorada.

Los muros externos o muretes, así como los ventanales que se insertan en ellos, muestran un estado de deterioro avanzado y desigual. Por ello se ha estudiado el deterioro de cada uno de los ventanales, de los muretes que los soportan y de los contrafuertes, estableciéndose diferentes grados de deterioro. El criterio seguido para determinar los diferentes grados ha sido el siguiente:

- Grado I – Material cohesionado con pátina de ennegrecimiento.

- Grado II – Material descohesionado con pérdidas parciales (superficie alterada entre el 30-60 %).

- Grado III – Pérdidas generalizadas de material.

La parte más deteriorada era la que daba al jardín, siendo los tramos sur, este y oeste los que presentan un ennegrecimiento más intenso. Cabe recordar que los ventanales 4 y 5 del tramo oeste fueron intervenidos en los años 80. Respecto a los elementos que componen los ventanales, hay que resaltar que en los capiteles y las tracerías las lesiones eran más extensas y numerosas que en los fustes y basas. Finalmente señalar que el mortero de juntas entre sillares mostraba un avanzado estado de deterioro y en muchos casos había desaparecido o estaba despegado de la superficie pétreo.

### Capiteles

Para cuantificar el estado de deterioro de los capiteles y facilitar las posteriores acciones de conservación, se estableció una clasificación asignando cuatro niveles de deterioro. Cada grado de deterioro está caracterizado por una serie de indicadores observables a simple vista: ennegrecimiento, suciedad, picaduras, ampollas, descamaciones, costras negras, fisuras, etc. Los criterios de clasificación fueron los siguientes:

- Grado 1 – Pátina de ennegrecimiento generalizada; no se aprecian lesiones externas salvo excepciones puntuales.

- Grado 2 – Pátina de ennegrecimiento generalizada con una mayor presencia de picaduras, ampollas o descamaciones que en el caso anterior (superficie deteriorada menor del 25%).

- Grado 3 – Fuerte ennegrecimiento con lesiones (costras, descamaciones, etc.), que dejan al descubierto sustrato pétreo alterado (superficie alterada mayor del 25%).

- Grado 4 – Estado muy avanzado de deterioro, con costras negras muy desarrolladas en situación de adherencia semiestable; o bien, pérdida generalizada de superficie escultórica. Sustrato pétreo alterado y con frecuencia descohesionado. En la figura 11 se muestran algunos ejemplos representativos de los distintos grados de alteración asignados a los capiteles. En el conjunto del claustro el grado 2 es el más común.

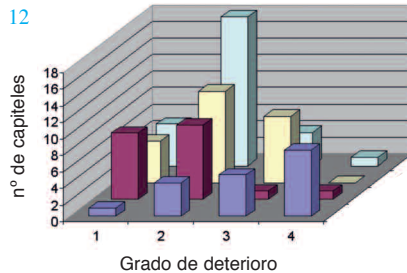
En relación con la orientación puede afirmarse que:

1. Los capiteles del tramo norte son los que muestran un deterioro más avanzado (hay un mayor número con los grados 3 y 4; por el contrario, los de la fachada sur están mejor conservados (fig. 12)).
2. Comparando la parte externa de los capiteles, orientada al jardín, con la interna orientada a las galerías, la primera está más alterada. (fig. 13)

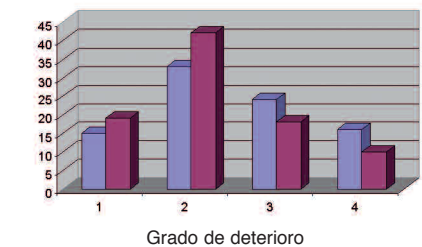
11



12



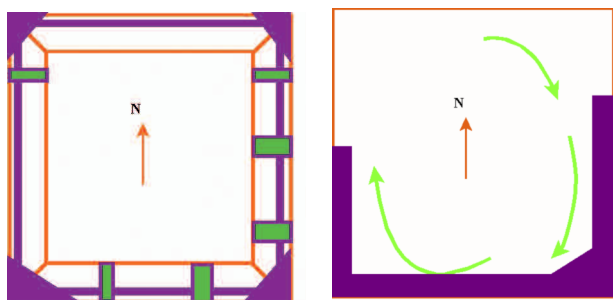
13



11. Ejemplo de capiteles con diferentes grados de deterioro

12. Gráfico ilustrativo de los distintos estados de alteración que presentan los capiteles del claustro, en función de su situación exterior o interior respecto al jardín del mismo

13. Gráfico de los distintos estados de alteración que presentan los capiteles del claustro en función de sus distintas orientaciones



14a y 14b

14 a. Esquema del claustro alto a vista de pájaro. Las zonas más azotadas por el agua de lluvia son el lateral este y el sur.

14 b. Esquema de la circulación de aire en el claustro bajo

### Galerías

En general, la piedra de los muros de las galerías del claustro (dolomía de Laspra) estaba ligeramente ennegrecida por acumulación de polvo y suciedad, y el deterioro de sus elementos era moderado. En la galería este, el ennegrecimiento y la alteración eran más intensos, mientras que en la galería norte se acusaban menos. Los paramentos lisos estaban mejor conservados que las partes labradas (capiteles, ménsulas, inscripciones paleográficas, sepulcros, nervios, decoraciones de las bóvedas, esculturas exentas y decoraciones de las portadas).

Entre los elementos singulares merece especial atención la Virgen con niño, las zonas labradas de los pilares entre ventanales y las inscripciones paleográficas. Estas últimas se encontraban en un estado muy delicado, debido a la pérdida frecuente de la pátina artificial protectora y presentaban, en algunos casos, señales de una limpieza anterior bastante desafortunada, con abrasión y eflorescencias salinas. Las esculturas labradas de los pilares estaban moderadamente ennegrecidas, siendo las del lado sudoeste las más ennegrecidas pero las mejor conservadas.

### Claustro Alto

El grado de deterioro del claustro alto era bastante menor que el observado en el claustro bajo. Entre las lesiones presentes destacaba una pátina de suciedad, más intensa en las zonas protegidas, desplazaciones en algunos sillares desarrollada a

favor de los planos de estratificación y fracturas de material pétreo, preferentemente en elementos horizontales. De forma general puede decirse que la franja superior, situada debajo de la cornisa, estaba más ennegrecida que los paramentos verticales entre ventanas, y que el lateral norte estaba menos ennegrecido que el sur. La pátina de ennegrecimiento presentaba mayor intensidad en las esquinas sudeste y suroeste. En cuando a las lesiones en la estructura, muchas de las ventanas presentaban fisuras en las molduras superiores, con despegue de las claves.

### Influencia del ambiente

Los agentes ambientales no afectan del mismo modo a los dos pisos del claustro. El claustro alto está más sujeto a la acción del agua de lluvia por su posición en altura, siendo la zona más afectada la esquina sudeste, ya que los vientos con lluvia son de dirección noroeste. Por el contrario, las caras norte y oeste presentan una distribución más homogénea de las pátinas de ennegrecimiento, al estar más protegidas de la lluvia (fig. 14a).

En el claustro bajo la influencia de los vientos y el agua de lluvia es mucho menor, se trata de una zona protegida en la que la distribución de la pátina de ennegrecimiento viene marcada por corrientes de aire desarrolladas en el propio claustro. Estas corrientes se generan por la existencia de puertas o accesos de aire en la esquina noroeste y

norte, diariamente abiertas, que originan la circulación del aire en el sentido de las agujas del reloj. De esta forma las partículas de contaminación suspendidas en el aire son dirigidas hacia el sureste, depositándose en la superficie del sustrato pétreo (fig. 14b).

### LA INTERVENCIÓN

La intervención llevada a cabo en el claustro de la catedral de Oviedo ha comprendido las siguientes etapas: limpieza, reintegración, reposición y sustitución, consolidación (sellado de microfisuras y escamas), eliminación de organismos vegetales, entonación y protección (hidrofugación). La intensidad y particularidades de cada una de estas etapas han ido definiéndose a lo largo de la intervención mediante pruebas y análisis. También se han planteado una serie de sugerencias de mantenimiento encaminadas a la futura conservación de la piedra del claustro.

### Limpieza

La limpieza ha sido la primera etapa de intervención que se acometió. Según los criterios generales de intervención (Esbert y Losada, 2003), no debe afectar al sustrato histórico (piedra o pátina); ha estado condicionada por:

- El tipo y estado físico de la suciedad (depósito de polvo, pátina o costra negra).
- El estado de deterioro del soporte pétreo.

- Las características de la piedra y de la pátina histórica.

- La morfología de la superficie.

- El grado de adherencia de la suciedad al sustrato.

- El valor histórico-artístico (documentado en el proyecto arquitectónico).

De acuerdo con estas premisas se seleccionaron dos métodos de limpieza:

- Limpieza mecánica mediante proyección de microabrasivos en seco, para la eliminación de la suciedad cuando el sustrato estaba cohesionado.

- Limpieza mediante radiación láser, en los elementos labrados más deteriorados. Con ambos métodos se realizaron pruebas preliminares con objeto de establecer el valor de las variables involucradas.

### Limpieza con microabrasivos

Consiste en proyectar sobre la superficie a limpiar un chorro de microabrasivo, mediante una máquina de presión regulable. Los equipos empleados, han sido BlastMate Microstrip y Pencil Mini Blaster 1, de la casa comercial Materias Primas Abrasivas (MPA).

Los parámetros a tener en cuenta en este tipo de limpieza se refieren tanto al equipo seleccionado como al tipo de abrasivo utilizado. Respecto a la máquina de proyección es preciso definir: la presión, la distancia de trabajo, la velocidad de desplazamiento (m/min), el consumo (Kg/m<sup>2</sup>) y el rendimiento. En cuanto al microabrasivo debe conocerse su naturaleza (composición, dureza, etc.), forma y granulometría.

Se realizaron pruebas preliminares con distintos microabrasivos, en zonas del claustro donde la piedra ennegrecida mostraba diferentes estados de cohesión, con el fin de seleccionar el más idóneo en cada caso. Los abrasivos utilizados fueron la *piedra pómez*, el vidrio granulado (*glassfine*) y el silicato de aluminio (*webusiv*). En la tabla I se recogen las características de dichos abrasivos y los principales parámetros involucrados en la limpieza mecánica.

De acuerdo con los resultados de las pruebas, esta limpieza mecánica se realizó en el claustro alto, en los lienzos interiores de las galerías, en los muretes externos e internos, en las tracerías de los ventanales y en capiteles con grados de deterioro I y II.

En el claustro alto, muros interiores, muretes y tracerías de ventanales, se limpiaron con silicato de aluminio (*Webusiv*) (fig. 15); en los demás elementos labrados se utilizó *piedra pómez* (fig. 16).

### Limpieza con láser

La limpieza láser utiliza energía fotónica para eliminar la suciedad (Cooper, 1998). De acuerdo con pruebas preliminares realizadas in situ, el equipo seleccionado y finalmente adquirido por la empresa restauradora (Artemón) para la limpieza de los capiteles, ha sido el sistema láser Smart Clean, fabricado por Electronic Engineering. Dicho equipo está constituido por un láser de Nd:YAG, cuyas características se recogen en la tabla II, y posee un brazo de fibra óptica que confiere al sistema una gran movilidad.

Tabla I. Características de los abrasivos y parámetros involucrados en la limpieza

Nombre comercial	Naturaleza	Composición química	Tamaño y forma	Diámetro boquilla	Presión
Webusiv	Silicato de aluminio	SiO <sub>2</sub> (49-51%) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (28-30%) FeO (10-12%) CaO (2-4%) CaO (9,8%) K <sub>2</sub> O (2-4%)	- Formas: Alargadas y angulosas  - Granulometría: WS1 (0,5 - 0,10 mm)	- 1,5 mm - 6mm	< 0,25 kg/cm <sup>2</sup> < 0,75 kg/cm <sup>2</sup>
Glassfine	Vidrio sodocálcico	SiO <sub>2</sub> (49-51%) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (28-30%) FeO (10-12%) CaO (2-4%) CaO (9,8%) K <sub>2</sub> O (2-4%)	- Formas: Irregulares  - Granulometría: GF2 (250 - 106 m)	- 1,5 mm - 6mm	< 0,25 kg/cm <sup>2</sup> < 0,75 kg/cm <sup>2</sup>
Piedra pómez	Molienda de piedra pómez	SiO <sub>2</sub> (71%) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (12,8%) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,75%) CaO (1,36%) Na <sub>2</sub> O (3,23%) K <sub>2</sub> O (3,83%) H <sub>2</sub> O (3,83%)	- Formas: Alargadas y angulosas  - Granulometría: 250 - 50 m)	- 1,5 mm - 6mm	< 0,25 kg/cm <sup>2</sup> < 0,75 kg/cm <sup>2</sup>

Tabla II. Características del equipo láser utilizado

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	0,3 - 113,2 J/cm <sup>2</sup>

15. Limpieza mecánica mediante microabrasivos en seco en una pilastra del claustro bajo de la catedral. El microabrasivo empleado ha sido el silicato de aluminio

16. Limpieza mecánica de una ménsula, con microabrasivo en seco. El microabrasivo empleado ha sido la *piedra pómez*

17. Aspecto microscópico que presenta la pátina limpiada a densidades de energía de 113,2 J/cm<sup>2</sup>. Se observa un hueco originado por la radiación láser

18. Limpieza con láser de una de las epigrafías. Con esta limpieza se conservan las trazas de la escritura

19. Detalle de la limpieza láser en un capitel. Resalta, en color claro, la figura limpiada y en color oscuro, la que se empieza a limpiar

20. Aspecto del florón de la clave y de los elementos de una de las bóvedas después de la limpieza



15

Son muchas las variables a tener en cuenta a la hora de optimizar la limpieza láser y controlar el proceso; parámetros del equipo seleccionado, naturaleza del material a eliminar, naturaleza del soporte pétreo y modo de efectuar la limpieza por parte del restaurador (Esbert et al., 2003). Por ello, y para el citado equipo, se han realizado otra serie de pruebas preliminares, con objeto de fijar el límite de energía que se puede utilizar para eliminar la suciedad sin dañar el sustrato (fig. 17).

Las primeras pruebas se realizaron con densidades de energía bajas (menores de  $6,4 \text{ J/cm}^2$ ), y la superficie del sustrato se nebulizó previamente con agua para conseguir una mayor uniformidad en la limpieza. Las superficies limpiadas fueron estudiadas mediante lupa binocular y microscopía electrónica de barrido. Para esta energía no se producían cambios morfoquímicos en la pátina histórica que recubre la piedra de Laspra. Posteriormente y con objeto de intentar optimizar el rendimiento del equipo y así agilizar las labores de limpieza, se realizaron nuevas pruebas de limpieza. En este caso las energías empleadas fueron crecientes desde  $6,4$  a  $113,2 \text{ J/cm}^2$ .

De los estudios realizados puede decirse que a partir de densidades de energía de



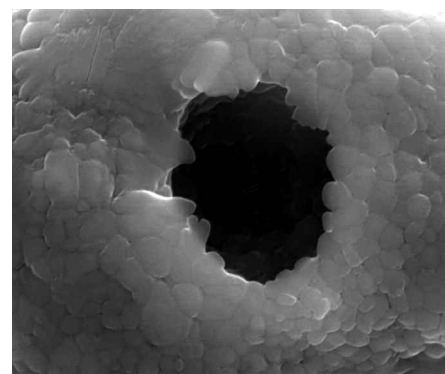
16

$36,7 \text{ J/cm}^2$ , se observan huecos y procesos de fusión mineral (fig. 17). Así pues, el límite superior de fluencia láser permitido se ha fijado en  $32,6 \text{ J/cm}^2$  aunque en la práctica casi nunca sobrepasó los  $17 \text{ J/cm}^2$  (Valdeón et al., 2004).

Los elementos limpiados mediante radiación láser han sido la mayoría de los capiteles, epigrafías y alguna ménsula de los muros interiores (figs. 18 y 19). También se ha eliminado la suciedad en los florones de las claves de arcos y bóvedas y se han puesto al descubierto las pinturas que había en los plementos de las bóvedas (fig. 20). En el primer caso se han empleado disolventes químicos diluidos en agua; en el segundo, la limpieza se ha efectuado de modo manual con bisturí, con la ayuda de aire caliente.

#### Reintegración, reposición y sustitución

Una vez finalizada la limpieza se procedió a la reintegración funcional de algunos elementos perdidos, utilizando un mortero de restauración compuesto de cemento blanco, cal y arena en la proporción 2:1:10, entonado con pigmentos naturales de color ocre. Este mortero se seleccionó después de varias pruebas, controlando su tiempo de fraguado, endurecimiento y retracción.



17 y 18



19 y 20







21



22



23

- 21. Aspecto de las cornisillas superiores de algunos capiteles reintegradas con un mortero de restauración
- 22. Reintegración de parte de las tracerías con mortero de restauración
- 23. Reposición del mortero de juntas
- 24a y b. Aspecto del ventanal 9 antes y después de su intervención



24a



24b

La reintegración se llevó a cabo fundamentalmente en las cornisillas superiores de los capiteles (fig. 21), para proteger el capitel de la acción del agua, ya que en aquellas zonas donde se habían perdido el deterioro era más acusado. También se reintegraron con el mismo mortero algunas piezas del claustro alto (cornisas, balcones, etc.) y algunas partes de las tracerías del claustro bajo (fig. 22), la parte superior de algunos muretes, y dos columnas de un ventanal, afectadas por impactos de metralla. Los dos últimos tipos de reintegraciones se armaron con varillas de acero roscado.

La reposición afectó al mortero de juntas entre los sillares de la parte alta del claustro

bajo, donde en muchas zonas estaba perdido y en otras en situación inestable (fig. 23). El mortero de reposición se recreó siguiendo el mismo criterio utilizado en esta parte en épocas anteriores.

Una de las sustituciones afectó a una gárgola del lateral oeste que se había perdido y que fue labrada nuevamente con piedra de Laspra. Otra de las modificaciones en las que se sustituyó piedra estuvo relacionada con el acceso al jardín del claustro. La puerta metálica encastrada entre el pilar 9 y la columna 1ª del ventanal 9 (fig. 24) fue eliminada y sustituida por la parte de murete correspondiente y el mainel. A la vez se abrió una

entrada entre las columnas 3ª y 4ª del ventanal 9. Las piezas nuevas fueron labradas en piedra de Vinaixa, cuyas características petrofísicas se consideraron adecuadas para este fin.

#### **Consolidación: sellado de microfisuras y escamas**

Esta fase se restringe a los capiteles ya que una vez finalizada la limpieza láser muchos de ellos presentaban material disgregado, pequeñas fisuras y escamas débilmente adheridas al sustrato, que era preciso fijar. Se desestimó la consolidación intergranular “sensu stricto”, con consolidantes orgánicos, debido a la

## BIBLIOGRAFÍA

- ESBERT, R.M.; ORDAZ, J.; ALONSO, F.J. MONTOTO, M.; GONZÁLEZ LIMÓN, T y ÁLVAREZ DE BUERGO, M.: *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*. Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, 1997.
- COOPER, M. *Laser cleaning in conservation*, Edited by Martin Cooper PhD BSc. Butterworth Heinemann, 1998.
- DE CASO, F., CUENCA, C., GARCÍA DE CASTRO, C., HEVIA, J. DE LA MADRID, V. y RAMALLO, G.: *La catedral de Oviedo. Tomo I: Historia y restauración*. Ediciones Nobel, Oviedo, 1999.
- DÍAZ-PACHE, F., GROSSI, C.M. y ESBERT, R.M.: "Automated characterisation of solid particles in urban environments using SEM and EDX", en *Microscopy and Analysis*, pp. 19-21.
- ESBERT, R.M. y MARCOS, R.M.: *Las piedras de la catedral de Oviedo y su deterioración*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias, Oviedo, 1983.
- ESBERT, R.M., GROSSI, C.M., ROJO, A., ALONSO, F.J., MONTOTO, M., ORDAZ, J., PÉREZ DE ANDRÉS, M.C., ESCUDERO, C., BARRERO, M., SEBASTIÁN, E., RODRÍGUEZ-NAVARRO, C. y ELERT, K.: "Application limits of Q-Switched Nd:YAG laser irradiation for stone cleaning based on colour measurements", en *Journal of Cultural Heritage* Vol. 4, Edit Elsevier, pp. 50-55.
- ESBERT, R.M. y LOSADA, J.M.: "Intervention criteria in masonry materials", en *Revista del Instituto del Patrimonio Histórico Español*. N° 2, 2003, 34 p.
- ESBERT, R. M., ORDAZ, J., ALONSO., VALDEÓN, L., ROJO., MATEOS, F.: "Cleaning of the Capitals of Oviedo Cathedral Cloister", en *10th Int. Cong. on Deterioration and Conservation of Stone*, Estocolmo, (en prensa).
- GODDARD, E. N., TRASK, P. D., DE FOD, R. K., ROVE, O. N., SINGEWALD, J. I., y OVERBECK, R. M.: "Rock color chart", en *The Geological Society of America*. Boulder, Co. USA, 1979
- VALDEÓN, L., ROJO, A., MATEOS, F., ALONSO, F.J., ORDAZ, J. y ESBERT, R.M.: "La limpieza con láser de la piedra del claustro de la catedral de Oviedo", en *Restauración & Rehabilitación*, n° 81, 2003, pp. 42-47.

tipología de las lesiones y la baja penetración de los productos disponibles en el mercado, en especial en una piedra como la de Laspra, con tamaños de radios de acceso menores de 0,02 mm. Se recomendó el sellado de las fisuras con un mortero de restauración, formulado ex profeso, lo suficientemente fluido para su correcta aplicación (fig. 25) y el pegado de las escamas de mayor entidad con una resina epoxídica, concretamente Araldit de Ciba - Geigy (Esbert et al., 1997).

## Eliminación de organismos vegetales

Durante el transcurso de las labores de intervención se observó que en algunas partes ya limpiadas empezaba a crecer en su superficie un recubrimiento biológico ("verdín") favorecido por la presencia de agua. Esta pátina biogénica podía observarse en la parte exterior del claustro y más concretamente en las partes bajas de los muretes, en la canaleta perimetral del jardín y en los contrafuertes del claustro bajo. La succión capilar y el inadecuado diseño de los sillares adyacentes a la gárgola implican una elevada humedad que a su vez favorece la implantación de las algas verdes. Por esta razón antes de la protección final se realizaron pruebas in situ para la elección de un producto biocida capaz de eliminar el verdín sin lesionar la piedra. El producto seleccionado fue el Roundup, un biocida de amplio espectro, de la casa Monsanto Agricultura S.L.

## Entonación y protección de la piedra (hidrofugación).

Con el propósito de homogeneizar las zonas en las que la piedra de Laspra quedaba al descubierto con aquellas en las que se conservaba la pátina histórica, se aplicó una tenue veladura de entonación elaborada con agua, pigmentos minerales y "primal" como fijador. Esta veladura se aplicó a todos los elementos construidos con piedra de Laspra, excepto a los capiteles.

La protección fue la operación con que se finalizó la intervención y consistió en aplicar a la superficie de la piedra un producto hidrofugante. En un material poroso la protección por medio de productos químicos ha de tener la propiedad de reducir considerablemente la penetración de agua y de vapor en su interior, sin sellar o colmar los conductos porosos. El producto tiene que ser permeable para permitir la transferencia de vapor del interior al exterior de la piedra.

Para seleccionar el tratamiento más idóneo se ensayaron varios productos en el laboratorio (Tabla III), determinándose algunas propiedades físicas antes y después de su aplicación (Esbert et al., 1997).

Las características determinadas después del tratamiento fueron: ganancia de peso, profundidad de penetración de los productos, los cambios de color y su evolución con el tiempo, medida del ángulo de contacto y permeabilidad al vapor (difusividad).

Tabla III. Hidrofugantes seleccionados

Hidrofugantes	1 MINERSAN (Wacker 280 + Tolueno)	Aplicado tal como se expende
	2 WACKER BS 290 (Wacker BS 290 + White Spirit)	Aplicado en la proporción 1/13
	3 TEGOSIVIN HL-100 (HL-100 + White Spirit)	Aplicado en la proporción 1/10
	4 TEGOSIVIN HL-100 + HLK3 (HL-100 + HLK3 + White Spirit)	Aplicado en la proporción 1/10 con pequeño contenido en catalizador



25. La última etapa de intervención en el claustro de la catedral ha sido la hidrofugación de los capiteles

25

Los resultados de todas las pruebas y ensayos mencionados sirvieron para seleccionar, como más idóneos, dos de los hidrofugantes experimentados: el Minersán (Wacker 290 disuelto en tolueno), formulado por Artemón y el Tegosivin HL-100 + HLK3, disuelto en *white spirit*.

El Minersán se aplicó en todos los paramentos verticales del claustro (lisos y labrados): muros de galerías, epigrafías, sepulcros, relieves, ménsulas y ventanales del claustro (tracerías y columnas). El Tegosivin HL-100+ HLK3 se aplicó en las partes con mayor profusión de labra: capiteles de los ventanales, capiteles de los pilares y esculturas exentas.

El modo de aplicación ha sido por nebulización de la superficie pétreo, dando tres manos consecutivas de producto (fig. 26).

## MANTENIMIENTO

Teniendo en cuenta que el claustro constituye un enclave con escasa ventilación y por tanto con una elevada humedad ambiental y en el que además existen procesos de ascensión capilar, se recomienda realizar labores de mantenimiento que aseguren una correcta evolución de la intervención. Además los productos de tratamiento aplicados tienen una duración temporal limitada por lo que debe controlarse su evolución. Un programa

de mantenimiento debería contemplar, como mínimo:

- Registro periódico y evolución del contenido en humedad de la piedra de cada una de las unidades arquitectónicas y elementos del claustro.
- Estado de los elementos consolidados y adheridos.
- Control periódico de las vías de drenaje del agua en cada una de las unidades arquitectónicas y elementos del claustro.
- Registro de anomalías.
- Control periódico del biodeterioro.
- Verificación periódica de la capacidad hidrorrepelente de la superficie de la piedra tratada y registro de su evolución. 🏛️

## Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la empresa Técnicas de Arquitectura Monumental S.A. (Artemón) y a todos sus técnicos y restauradores, que realizaron los trabajos de conservación, así como a los arquitectos responsables del Plan Director de la Catedral. Al Cabildo de la Catedral de Oviedo por las facilidades prestadas para la realización de nuestros estudios en el monumento así como a la Consejería de Cultura del Principado de Asturias que financió la obra. También a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) por la financiación del Proyecto 1FD-97-0331-C03-01.

## FICHA TÉCNICA

### LA CONSERVACIÓN DE LA PIEDRA DEL CLAUSTRO DE LA CATEDRAL DE OVIEDO

#### Dirección de obra:

Jorge Hevia y Cosme Cuenca, Arquitectos  
Manuel Fernández, Arquitecto técnico

#### Seguimiento técnico y control de calidad:

Rosa M<sup>a</sup> Esbert, Javier Alonso, Jorge Ordaz, Luis Valdeón, Araceli Rojo, Félix Mateos

#### Empresa restauradora:

Técnicas de Arquitectura Monumental S.A.

Carlos Gorbea, Director de obra  
Luisa M<sup>a</sup> Fernández, Jefe de obra  
Eduardo Soto, Encargado de obra  
Belén García, M<sup>a</sup> Rosario Jiménez, África Salces y Raquel Granado, Restauradores