

LA LIMPIEZA CON LÁSER DE LA PIEDRA DEL CLAUSTRO DE LA CATEDRAL DE OVIEDO

Texto y Fotos: L. Valdeón, A. Rojo,
F. Mateos, F. J. Alonso, J. Ordaz y
R. M. Esbert.



[2]

La piedra del Claustro de la Catedral de Oviedo, antes de la intervención que en estos momentos se está llevando a cabo, estaba muy ennegrecida en las dos unidades que lo integran: el Claustro Bajo, de estilo gótico (siglos XIV-XV) y el Claustro Alto, barroco tardío (siglo XVIII) (De Caso *et al.*, 1999). Desde el punto de vista histórico-artístico este Claustro constituye un recinto singular y único dentro del gótico asturiano.

El ennegrecimiento más extremo lo presentaban los elementos arquitectónicos y decorativos del Claustro Bajo, entre los que destacan, como singulares, los capiteles de los ventanales y de los pilares, las ménsulas, los sepulcros y las epigrafías sobre el muro interior. El Claustro Alto, aunque se limpió a finales de los años 80, volvía a mostrar patinas negras de suciedad que en algunas zonas eran especialmente intensas.

Junto con esta patina de suciedad de color negro y espesor variable, se apreciaban otras formas de alteración, tales como: costras negras y ampollas, desplazaciones, pérdidas de material y descohesión, eflorescencias, etc. (Esbert y Marcos, 1983). En todas ellas se detectaba material neoformado, principalmente yeso, resultado de la interacción entre las piedras calcáreas, utilizadas para su construcción, el agua y los contaminantes presentes en el ambiente. En las zonas que presentaban una patina artificial, si el deterioro era avanzado, los componentes de dicha patina intervenían también en la formación de yeso.

Las condiciones ambientales a las que ha estado expuesta la piedra del Claustro a lo largo del tiempo han sido muy desfavorables (elevada humedad relativa, contacto con lluvia ácida en forma de aerosoles y presencia de partículas sólidas, relacionadas fundamentalmente con la combustión de carbón, gasolina y gasóleo), (Díaz-Pache *et al.* 1999). Este hecho, junto a las características arquitectónicas y de espacio semi-cerrado del Claustro, ha generado un microclima



[3]



[4]

[1] Ventanales ojivales del Claustro Bajo. La tracería, y los maineles con sus capiteles labrados, están ennegrecidos. En el resto de elementos periféricos se observan diferentes grados de lavado (murete y contrafuertes).

[2] Aspecto general de la esquina sudeste del Claustro, con sus partes baja y alta ennegrecidas.

[3] Capiteles ennegrecidos, resaltados por zonas donde se observa la piedra de color blanco.

[4] Ennegrecimiento de los elementos de un sepulcro del Claustro Bajo. También existen pérdidas de material.



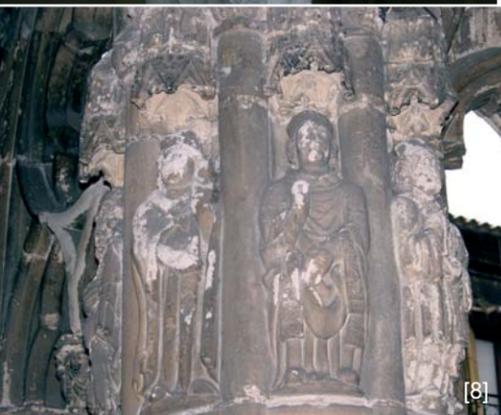
[5]



[6]



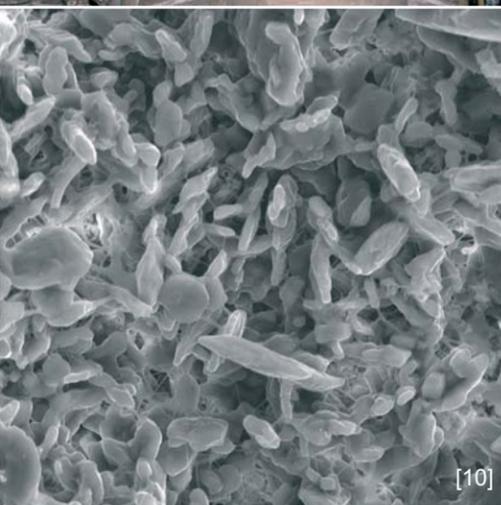
[7]



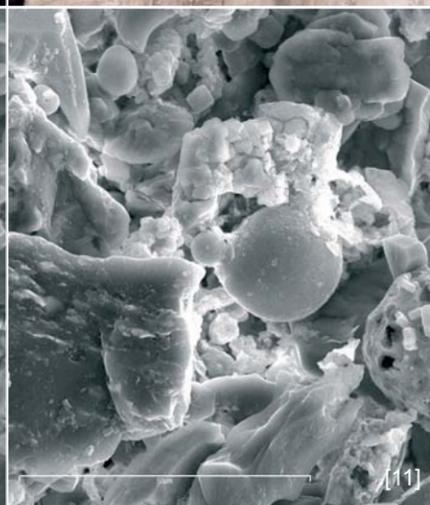
[8]



[9]



[10]



[11]

favorable a la degradación progresiva de la piedra, que se ha acentuado en las últimas décadas debido al aumento de la contaminación atmosférica.

En la actualidad y antes de la intervención, se ha eliminado en lo posible, la humedad estructural así como el tráfico de vehículos por los alrededores de la Catedral.

LA LIMPIEZA DEL CLAUSTRO: CONSIDERACIONES PREVIAS

La limpieza de la piedra se planteó con el conocimiento previo de algunos aspectos, entre los que cabe destacar:

- Valor histórico-artístico de los elementos a limpiar: Paramentos, esculturas, etc.
- Tipos de suciedad: Naturaleza, grosor, uniformidad, coherencia y grado de adherencia al sustrato pétreo.
- Características petrográficas, físicas y químicas de la piedra.
- Presencia de pátinas o recubrimientos superficiales: Naturaleza y características.
- Estado de deterioro de la piedra y de las pátinas: Grado de cohesión.
- Composición del material alterado.
- Características generales del ambiente donde se halla ubicada la piedra y específicas del período en el que se va a realizar la intervención.

Hay que tener en cuenta que la piedra del Claustro Bajo -dolomía de Laspra- (Esbert y Marcos, *ibid*,1983), está recubierta de una pátina artificial de yeso, pigmentada con hierro, de color asalmonado (5YR 8/4-Rock Color Chart,1991) y que a lo largo del tiempo ha actuado como capa de protección de la piedra subyacente.

Antes de la intervención esta pátina apenas era visible en algunas zonas resguardadas en las que el ennegrecimiento era moderado. No obstante, las agresivas condiciones ambientales han actuado sobre esta pátina de protección en muchas zonas del Claustro Bajo, generando yeso de neoformación.

En algunos capiteles, lienzos y epigrafas del muro interior, se han observado restos de policromía, principalmente de color bermellón.

EN LA LIMPIEZA DEL CLAUSTRO: ¿QUÉ DEBE ELIMINARSE, QUÉ DEBE CONSERVARSE Y CON QUÉ MÉTODOS?

La limpieza de la piedra del Claustro se debe eliminar, en primer lugar, la capa de suciedad (pátina oscura) y el yeso de neoformación asociado a ella, así como las partículas sólidas de naturaleza diversa (Grossi *et al.*, 2001), porque su presencia resulta nociva para la piedra. A su vez, este yeso está ligado a una notable pérdida de cohesión del material pétreo, por lo que el sistema de limpieza a emplear no puede descohesionar más la piedra. También deberá respetar los restos de la pátina histórica y de las policromías, en aquellos elementos que las presenten. Estos criterios de actuación adquieren especial relevancia al tener que actuar sobre elementos de singular valor histórico-artístico, por lo que se propuso limpiar ciertas unidades con energía láser.

LIMPIEZA CON LÁSER: PRUEBAS PRELIMINARES

Antes de la limpieza con láser, recomendada especialmente para limpiar la piedra de los capiteles, esculturas, sepulcros, ménsulas, epigrafas, etc., se realizó una serie de pruebas *in-situ* en las que los parámetros a controlar fueron: longitud de onda del haz emitido, tipo de haz, diámetro del haz, energía, frecuencia y fluencia. Se utilizó un láser de Nd:YAG, concretamente el sistema Smart Clean I de Electronic Engineering, con brazo de

PARÁMETROS LÁSER	
Longitud de Onda	1064nm
Duración del pulso	60-120µs
Frecuencia del pulso	5, 10 ó 20 Hz
Potencia del equipo	100mJ-2000mJ
Diámetro del haz (convergente)	Focalizado: 1,5 - 7mm.
Densidad de energía (fluencia)	0,3 - 113,2 J/cm ²



[12]



[13]



[14]



[15]

[5] Aspecto de una columna, capitel y tracería del Claustro Bajo donde se aprecia la pátina de suciedad, costras negras, pequeñas ampollas y descamaciones.

[6] Detalle de costras y ampollas abiertas en un capitel.

[7] Pérdida de material por explosión de ampollas y caída de fragmentos en uno de los capiteles.

[8] Pátina artificial de color asalmonado sobre la que se ha superpuesto la pátina de ennegrecimiento.

[9] La limpieza desveló la presencia de esta pátina de tonos asalmonados.

[10] y [11] Micrografías al microscopio

electrónico de barrido de los cristales de yeso que forman la pátina (10) junto a partículas esféricas de contaminación, depositadas en su superficie (11).

[12] Restos de policromía de color bermellón, desvelados por la limpieza de los capiteles con técnica láser.

[13] Restauradora actuando sobre los capiteles del Claustro, con el terminal láser.

[14] y [15] Pruebas preliminares de limpieza láser. Posteriormente se obtuvieron pequeñas muestras para su observación y análisis.

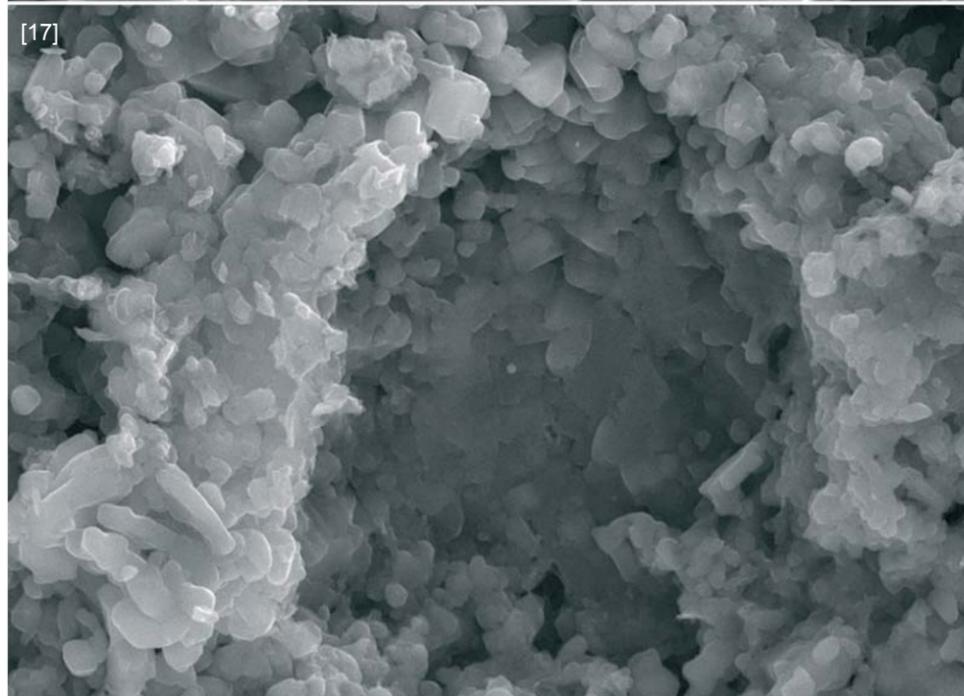
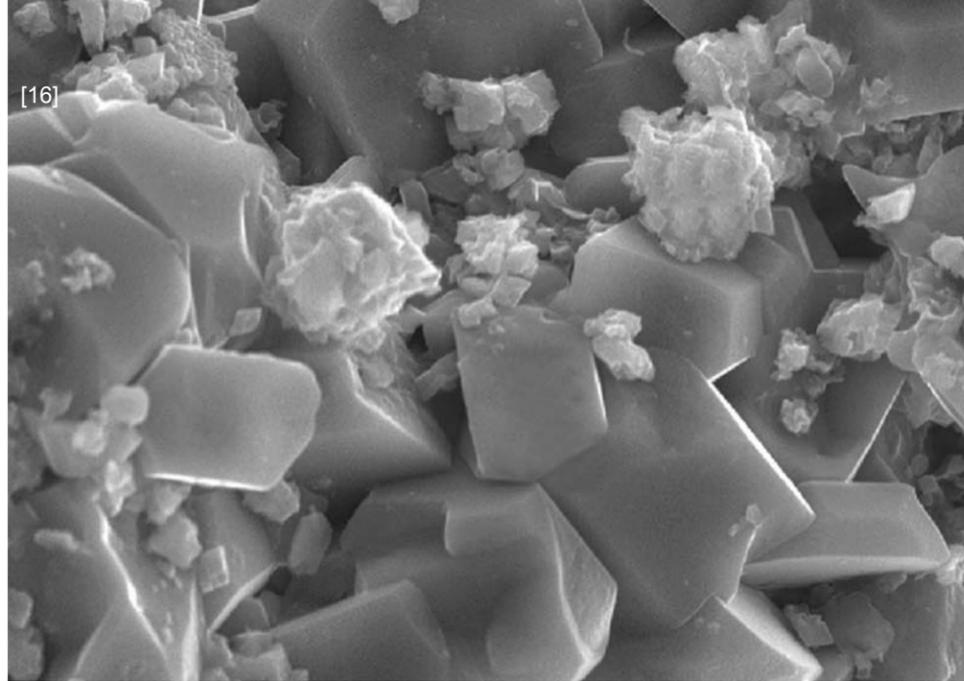
fibra óptica que le confiere una gran movilidad.

Con anterioridad al inicio de la fase de limpieza se programó una serie de catas aplicando el láser sobre la piedra ennegrecida, variando las densidades de energía y manteniendo fijos el resto de los parámetros implicados. El objetivo de estas pruebas ha sido, en primera instancia, fijar el límite de las densidades de energía que se pueden utilizar con esta técnica, para eliminar la suciedad sin dañar el sustrato.

El control de los posibles daños inducidos, así como de las posibles variaciones composicionales, se realizó mediante observación y microanálisis de la superficie tratada, utilizando microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectrometría de Rayos X por energía dispersiva (EDX). Se trabajó con diversas densidades de energía que variaron entre 2,5 y 36,7 J/cm². Los valores del resto de variables fueron: longitud de onda 1064 nm, duración del pulso (60 μs) y frecuencia del pulso (10 Hz). Previamente se humectó la piedra para conseguir una mayor uniformidad y eficacia en la limpieza (Rojo, 2000 y Eibert *et al.*, 2001).

Las primeras catas se realizaron con densidades de energía bajas, menores de 6,4 J/cm². En ninguno de los casos se observaron cambios morfológicos o químicos en la pátina de yeso que recubre la piedra de Laspra. El proceso de limpieza, aunque muy lento, resultó efectivo y puso de manifiesto la pátina histórica que recubre la dolomía de Laspra. Posteriormente, y con objeto de optimizar el rendimiento del equipo y agilizar las labores de limpieza, se realizaron nuevas catas empleando energías sucesivamente mayores (9,4, 16,6, 22,6, 32,6 y 36,7 J/cm²) hasta establecer el límite máximo de aplicabilidad. Para densidades de energía iguales o superiores a 36,7 J/cm² se observaron modificaciones superficiales por pérdida de material o fusión mineral. Así pues, el límite superior de fluencia láser permitido para la limpieza de la pátina negra de suciedad, depositada sobre la dolomía de Laspra del Claustro Bajo de la Catedral, utilizando el equipo Smart Clean I, es de 32,6 J/cm².

En definitiva se ha comprobado que la limpieza con láser es el procedimiento más idóneo para eliminar la suciedad depositada sobre la piedra



labrada del Claustro Bajo de la Catedral de Oviedo, sin dañar la pátina artificial (pátina histórica) que la recubre. Cuando la piedra está descohesionada el procedimiento es también eficaz y se consigue eliminar la suciedad sin perder material. Estas afirmaciones sólo son válidas si se lleva un control riguroso de las densidades de energía aplicadas, debiéndose fijar, en cada caso, mediante pruebas preliminares, el límite máximo que se puede aplicar sin causar daños irreversibles.

[16] Imagen al microscopio electrónico de barrido (MEB), de la superficie de la pátina limpia, en la que no se observan daños morfológicos aparentes. Densidad de energía aplicada menor de 6,4 J/cm².

[17] Superficie de la pátina limpia en donde el haz aplicado ha ocasionado daños visibles (huecos) Densidad de energía aplicada 36,7 J/cm².

[18] y [19] Aspecto de un capitel antes y después de la limpieza. Se recupera la lectura de la expresión artística y no se pierde material.

AGRADECIMIENTOS:

Los autores desean expresar su agradecimiento a la empresa Técnicas de Arquitectura Monumental S.A. (Artemón), por las facilidades mostradas para la utilización del equipo láser. También a los técnicos y restauradores que están participando en los trabajos de conservación, así como a los arquitectos del Plan Director; sus nombres quedan reflejados en la ficha técnica adjunta. Al Cabildo de la Catedral de Oviedo que, a lo largo de más de veinte años, nos ha dado toda clase de facilidades y apoyo para llevar a cabo nuestros estudios, así como a la Consejería de Cultura del Principado de Asturias que ha financiado los trabajos de conservación. A la Comisión Interministerial en Ciencia y Tecnología (CICYT) por la financiación del proyecto. 1FD-97-0331-CO3-01.

REFERENCIAS:

- 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, 406 p.
- DÍAZ-PACHE, F.; GROSSI, C.M. Y ESBERT, R.M. (1999). *Automated Characterisation of Solid Particles in Urban Environments using SEM and EDX. Microscopy and analysis*, pp. 19-21.
- ESBERT, R.M Y MARCOS, R.M. (1983). *Las piedras de la catedral de Oviedo y su deterioración*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias. 147 p.
- ESBERT, R.M.; GROSSI, C.M.; ROJO, A.; ALONSO, F.J.; MONTOTO, M.; ORDAZ, J.; PÉREZ DE ANDRÉS, M.C.; ESCUDERO, C.; SEBASTIÁN, E.; RODRIGUEZ-NAVARRO, C.; ELERT, K. (2001). *The effect of laser radiation used for cleaning purposes on different building stones*. *Lacona IV: Lasers in the conservation of artworks*, pp 255-258.
- GROSSI, C.M.; ESBERT, R.M.; DIAZ-PACHE, F. Y ALONSO, F.J. (2001). *Soiling of building stones in urban environments*. *Building and Environment*. 38 pp147-159. Elsevier Science Ltd.
- Rock-Color Chart (1991). *The Geological Society of America*.
- ROJO, A. (2000). *Estudio de los cambios inducidos en la superficie de la piedra por limpieza con energía láser*. *Trabajo de Investigación*. Área de Petrología y Geoquímica. Universidad de Oviedo, 91p.

FICHA TÉCNICA

Dirección de obra:

Arquitectos:

Jorge Hevia y Cosme Cuenca.

Arquitecto técnico:

Manuel Fernández Fernández

Seguimiento técnico y control de calidad: **Rosa**

M^a Esbert, Javier Alonso,

Jorge Ordez, Luis Valdeón, Araceli Rojo,

Félix Mateos.

Empresa restauradora. Técnicas de Arquitectura

Monumental S.A. ; Jefes de Obra: **Carlos**

Gorbea y Luisa María Fernández Sánchez.;

Encargado de obra: **Eduardo Soto Díaz;**

Restauradores: **Belén García Montoya, M^a**

Rosario Jiménez Fernández, África Salces

Valle, Raquel Granado Prieto y Pablo Klett

Fernández.

