

JORNADA SOBRE CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ROSA ESBERT *IN MEMORIAM*



- 16:00 - 16:10 *"Inauguración de las Jornadas"*.
Lope Calleja. Decano de la Facultad de Geología.
- 16:30 - 16:30 *"La aportación de Rosa Esbert al desarrollo científico de la Conservación del Patrimonio Cultural en España"*.
Concha Cirujano. Restauradora. Sección de Conservación Preventiva. Área de Investigación y Formación. Instituto del Patrimonio Cultural de España.
- 16:30 - 16:50 *"Materiales pétreos. Propuesta de normalización de criterios y metodología"*.
Ana Laborda. Restauradora. Área de Intervenciones. Instituto del Patrimonio Cultural de España.
- 17:00 - 17:20 *"De la caracterización al tratamiento"*.
Ignacio Alonso. Arquitecto. Director del Museo Arqueológico de Asturias. Consejería de Educación Cultura y Deporte del Principado de Asturias.
- 17:30 - 17:50 *"Análisis de los criterios de Restauración en la Cámara Santa en el siglo XX"*.
Lorenzo Arias. Historiador. Profesor Titular. Upto. de Historia del Arte y Musicología. Universidad de Oviedo.
- 18:00 - 18:50 - *"Estudios complementarios petrológicos en la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo"*.
Jorge Hevia, Luis Suarez Sara, Luis Valdeón, Félix Mateo y Araceli Rojas. Arquitectos, restaurador y petrolólogos del equipo multidisciplinar encargado de los estudios previos de la Cámara Santa.
- 19:00 - 19:20 *"Revisión de la bibliografía en torno a la conservación de un litigio: alabastro, alabaster, albâtre"*.
Cristina Escudero. Restauradora. Servicio de Planificación y Estudios. Dirección General de Patrimonio Cultural. Consejería de Cultura y Turismo de la Junta de Castilla y León.
- 19:30 - 19:50 *"La eternidad desde la Vía Láctea. Estudios para la adaptación de una obra de alabastro a un entorno cálido"*.
Diana Pardo. Restauradora. Servicio de Restauración de la Diputación Foral de Álava.
- 20:30 *Vino español*
Por cortesía de ESFER CONSTRUCCIONES Y PROYECTOS S.L.

*Jueves 16 de mayo de 2013
Aula A de la Facultad de Geología*

Entidades colaboradoras:



UNIVERSIDAD DE OVIEDO



FACULTAD Y DEPARTAMENTO
DE GEOLOGÍA



Jornada sobre conservación de patrimonio

Rosa M^a Esbert *In Memoriam*

16 de mayo de 2013



Caracterización y conservación de los materiales pétreos: Bibliografía del Grupo de Investigación de la Universidad de Oviedo.

Fco. Javier Alonso, Jorge Ordaz y Luis Valdeón.

Resumen: Se presenta un inventario de publicaciones y documentos realizados por el “Grupo de Alteración” de la Universidad de Oviedo, dirigido por la profesora Rosa María Esbert, desde sus inicios a finales de los años 70. Los temas estudiados giran en torno a la caracterización, deterioro y conservación de los materiales pétreos utilizados en edificación, en especial en monumentos y patrimonio arquitectónico. Se recogen cronológicamente distintos tipos de documentos: libros y capítulos de libros, artículos de publicaciones periódicas, comunicaciones presentadas en congresos y documentos inéditos (memorias de investigación resultado de proyectos y contratos). Se indica cuales son actualmente de libre disposición en la red (normalmente las publicaciones periódicas), si bien todos ellos pueden consultarse en el Área de Petrología y Geoquímica (Departamento de Geología, Universidad de Oviedo).

Palabras clave: piedra, alteración, deterioro, durabilidad, conservación, restauración, monumentos, patrimonio.

Characterization and conservation of stone materials: Bibliography of Research Group of Oviedo University.

Abstract: An inventory of publications and documents made by the “Group of Alteration” from University of Oviedo, led by professor Rosa María Esbert, from its beginnings in the late '70s is shown. Topics studied include characterization, deterioration and conservation of stone materials used in building, especially in monuments and architectural heritage. Different types of documents are collected chronologically: books and book chapters, articles in periodicals, papers presented in congresses and unpublished documents (research reports from projects and contracts). Documents that are freely available at present on the net (usually periodicals) are showed, although all of them are available on the Area of Petrology and Geochemistry (Department of Geology, University of Oviedo).

Key words: stone, alteration, deterioration, durability, conservation, restoration, monuments, heritage.

Introducción

Rosa María Esbert llegó a la Universidad de Oviedo en el año 1972 y muy pronto empezó a trabajar en temas relacionados con la degradación y conservación de los materiales pétreos de edificación. A principios de los años 80 forma un equipo integrado fundamentalmente por petrólogos, profesores y estudiantes que realizan sus trabajos de licenciatura y de doctorado, y eventualmente por especia-

listas en otras materias. Este equipo, denominado “Grupo de Caracterización petrofísica, durabilidad y conservación de materiales pétreos” o de forma abreviada “Grupo de Alteración” de Oviedo, está considerado uno de los pioneros en estos temas y se ha mantenido activo durante más de 30 años realizando proyectos de investigación nacionales, regionales y también internacionales, así como formando investigadores posteriormente consolidados y otros cuya memoria se va perdiendo.

En este sentido y bajo la dirección de la profesora Esbert, el grupo estuvo formado desde sus inicios por los profesores Jorge Ordaz y Fco. Javier Alonso, con la participación más esporádica de otros profesores: Modesto Montoto, Luis M. Suárez del Río, Lope Calleja, Vicente Gómez y Ángel Rodríguez. Entre los principales investigadores se cuentan por orden cronológico: Dra. Rosa Marcos, Dr. Luis Valdeón. Dra. Carlota Grossi, Dra. Beatriz Menéndez, Dra. Beatriz Pérez, Dña. Mercedes Vázquez, Dra. Ángeles Pérez, D. José Alonso, Dr. Francisco Díaz-Pache, Dña. Araceli Rojo, Dr. Félix Mateos, Dra. Patricia Vázquez, Dra. Timea Kovács. Dña. Lucía Carrizo y Dña. Marta Fernández.

Entre los monumentos del patrimonio arquitectónico estudiados caben destacar (se señalan entre paréntesis los materiales pétreos más significativos) las catedrales de Oviedo (caliza de Piedramuelle y dolomía de Laspra), León (dolomía de Boñar y caliza del País), Murcia (calizas de Monte Guil y Mayayo), Almería (dolomías), Sevilla (calizas de Gilena, Espera, Utrera, Gandul, Puerto de Sta. María...), Seu Vella de Lleida (arenisca de Lérida y caliza de Vinaixa), Segovia (dolomías de Bernuy y Zamarramala), Palma de Mallorca (caliza de Santanyí, Marés blanco y Marés de Porreras), Burgos (calizas de Hontoria, Briviesca), Girona (caliza numulítica); los claustros de Santillana del Mar (arenisca) en Cantabria, San Juan de la Peña (arenisca) en Huesca, Santo Domingo de Silos (dolomía) y San Salvador de Oña (areniscas, calizas, dolomía) en Burgos; las iglesias de San Juan de los Caballeros (dolomías) en Segovia, San Pedro Mártir (granito) en Toledo, Sta. María de Castro Urdiales y Sta. María de Laredo (areniscas) en Cantabria, Sagrada Familia (granitos, areniscas, calizas, hormigón) en Barcelona; las fachadas de la Biblioteca Nacional (mármol) y del Museo del Prado (granito) en Madrid, la Pedrera (calizas de Garraf y Vilafranca), el teatro del Liceo (calizas, serpentinitas, gneis), el Eixample y el Palau de la Música (arenisca de Montjuïc, ladrillos) en Barcelona, Presidencia del Gobierno Insular Canario (granito), Teatro Reina Victoria (arenisca de Igueldo) en San Sebastián, Palacio de Sobrellano de Comillas (arenisca) en Cantabria; monumentos prerrománicos asturianos Sta. María del Naranco, San Miguel de Lillo, San Julián de los Prados y Sta. Cristina de Lena, así como el palacio de los Duques del Parque (caliza de Piedramuelle y areniscas), el antiguo Hospicio Provincial y la iglesia de San Isidoro (caliza de La Granda) en Oviedo, palacio de Revillagigedo (arenisca de Villaviciosa) en Gijón, palacio Ferrera e iglesia de los Padres Franciscanos (arenisca de la Grandiella y dolomía de Bustiello) en Avilés; edificaciones del patrimonio catalán (areniscas de Folgueroles y El Figueró, calizas de Sant Vicenç y Manresa, dolomía de Tortosa), monumentos castellano-leoneses (areniscas de Villamayor y Quintanar, calizas del Páramo y Sepúlveda, adobes), otros monumentos (arenisca de Vitoria y Uncastillo; calizas de Santa Pudía, Cenía, Ámbar, Miel; mármoles de Macael, Tranco, Triana; serpentinitas Verde Guatemala y Verde indiano; granitos de Axeitos, Rosa Porriño, Rosavel, Grissal...)

En resumen, se ha estudiado una parte significativa del patrimonio arquitectónico español construido en piedra,

con la esperanza de que estos documentos se incorporen al acervo científico y cultural, y supongan una aportación en el ámbito de la conservación de los materiales pétreos.

Relación de trabajos

1978

**ESBERT R.M., GRANDA J., ORDAZ J., y SUÁREZ DEL RÍO L.M. (1978). "Nota previa sobre la interpretación textural de la porosidad de algunas rocas graníticas de Galicia". *Trabajos de Geología*, 10: 173-181, Universidad de Oviedo.

ORDAZ J., ESBERT R.M. y SUAREZ DE RIO L.M. (1978). "A proposed petrographical index to define mineral and rock deterioration in granite rocks." En: *Alteration et protection des monuments en pierre*, UNESCO, RILEM, ICCROM, 16 p. Int. Symp. Deterioration and protection of stone monuments, Paris-1978.

1981

ESBERT R.M., ORDAZ J., ALONSO F.J. y ALBA J.M. (1981). "Petrographic and physical study of the building stones from León Cathedral (Spain)". En: *The conservation of stone. II. Preprints of the contributions to the international symposium, Bologna, 27-30 October 1981*, ICCROM, 285-298.

1982

**ESBERT R.M., MARCOS R.M. y ALONSO F.J. (1982). "La deterioración de las piedras de la catedral de Oviedo. 1ª Parte: Petrografía y porosidad características intrínsecas determinantes de la deterioración de sus rocas carbonatadas". *Materiales de Construcción (CSIC)*, 185: 61-71

**ESBERT R.M., MARCOS R.M. (1982). "La deterioración de las piedras de la catedral de Oviedo. 2ª Parte: Formas y fenómenos de alteración". *Materiales de Construcción (CSIC)*, 186: 79-88.

MARCOS R. (1982). *Valoración del estado de alteración de los materiales pétreos de la catedral de Oviedo*. Tesis de licenciatura, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

1983

**ORDAZ J. (1983). "Características físicas y alterabilidad de la piedra de Villamayor (Salamanca)". *Materiales de Construcción (CSIC)*, 190-191: 85-95.

**ORDAZ J., ALONSO F.J. (1983). "Características del sistema poroso de la arenisca de Villamayor (Salamanca)". *Trabajos de Geología* 13: 83-92., Universidad de Oviedo.

VALDEÓN L. (1983). *Estudio petrofísico y alterológico de las areniscas del palacio de Revillagigedo de Gijón*. Tesis de licenciatura, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

1984

**ESBERT R.M., VALDEÓN L. (1984). "Estudio petrofísico de las areniscas del Palacio de Revillagigedo de Gijón (Asturias)". *Materiales de Construcción* (CSIC), 34 (194): 61-72.

ESBERT R.M., ORDAZ J., ALONSO F.J. y VALDEÓN L. (1984). "Influencia de las características petrográficas en la durabilidad de areniscas utilizadas en monumentos". En: *Congreso Español de Geología, Segovia-1984*, Colegio Oficial de Geólogos, comunicaciones, T-II, 921-931. I.

MONTOTO M. et al. (1984). *Evaluación del estado de alteración y alterabilidad de los materiales rocosos de las catedrales de León y Sevilla. Primer informe. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ORDAZ J., ESBERT R.M., MONTOTO M., DE CASO F. y ALONSO F.J. (1984). "Estado de alteración y alterabilidad futura de la piedra de Villamayor de los monumentos salmantinos: interpretación petrográfica". En: *Estudio sobre las alteraciones y tratamiento de la piedra de Villamayor*. Caja de Ahorros y M.P. de Salamanca, 315-419.

1985

**ALONSO F.J., SUAREZ DEL RÍO L.M. (1985). "Velocidad de propagación de ondas en rocas carbonatadas". *Trabajos de Geología*, 15: 315-324. Universidad de Oviendo.

**ESBERT R.M., ORDAZ J. (1985). "Alterabilidad de la piedra monumental de Laspra". *Trabajos de Geología*, 15: 325-331. Universidad de Oviendo.

**ESBERT R.M., ORDAZ J. y VALDEÓN L. (1985). "Relaciones entre porosidad, contenido en arcillas y durabilidad de arenisca". *Materiales de Construcción* (CSIC), 35 (200): 15-22.

MONTOTO M. et al. (1985). *Evaluación del estado de alteración y alterabilidad de los materiales rocosos de las catedrales de León y Sevilla. Segundo y tercer informe. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**VALDEÓN L., ESBERT R.M. y MARCOS R.M. (1985). "La alveolización y otras formas de alteración desarrolladas sobre las areniscas del palacio de Revillagigedo de Gijón (Asturias)". *Materiales de Construcción* (CSIC), 35 (200): 41-48.

1986

**ALONSO F.J. (1986). *Caracterización petrofísica y alterabilidad de calizas y dolomías*. Tesis doctoral, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1986). *Propuesta de restauración. Torre norte. Catedral de León. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1986). *Estudio alterológico de los materiales pétreos del claustro de la colegiata de Santillana del Mar (Cantabria). Especial referencia al estado de degradación de sus capiteles*.

Informe de proyecto, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M., ORDAZ J., ALONSO F.J., GROSSI C. y DE LLANOS C. (1986). "Aplicación del S.E.M. en el control del tratamiento de materiales pétreos con consolidantes". En: *XIV Reunión Bienal de la SEME, Congreso Nacional de Microscopía Electrónica, Ávila-1986*. Colegio Universitario de Medicina 108-113.

GROSSI C.M. (1986). *Ensayos de tratamiento en materiales rocosos de la catedral de Oviedo*. Tesis de licenciatura, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

MONTOTO M. et al. (1986). *Evaluación del estado de alteración y alterabilidad de los materiales rocosos de las catedrales de León y Sevilla. Cuarto informe. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

VÁZQUEZ M. (1986). *Estudio alterológico de las piedras utilizadas en algunos monumentos de Avilés*. Tesis de licenciatura, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

1987

**ALONSO F.J., ESBERT R.M. y ORDAZ J. (1987). "Comportamiento hídrico de calizas y dolomías". *Boletín Geológico y Minero (IGME)*, 98-4: 555-576.

ALONSO F.J., ESBERT R.M., ORDAZ J. y VALDEÓN L. (1987). "Ensayos de alterabilidad: revisión crítica del ensayo de cristalización de sales". En: *I Semana de la Calidad en la Edificación, Oviedo*, Colegio Oficial de Aparejadores, comunicaciones, 607-616.

**ALONSO F.J., ORDAZ J. y ESBERT R.M. (1987). "Caracterización del sistema poroso de calizas y dolomías". *Boletín Geológico y Minero (IGME)*, 98-2: 226-237.

**ALONSO F.J., ORDAZ J., VALDEÓN L. y ESBERT R.M. (1987). "Revisión crítica del ensayo de cristalización de sales". *Materiales de Construcción* (CSIC), 37 (206): 53-60.

ESBERT R.M. et al. (1987). *Estudio del deterioro de las piedras de las fachadas del Museo del Prado en vistas a su conservación. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1987). *Estado del deterioro de las piedras del frontón de la Biblioteca Nacional en vistas a su restauración. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1987). *Caracterización petrofísica, petroquímica, mecánica y alterología de los materiales pétreos utilizados en el patrimonio monumental de Cataluña. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1987). *Estudio del deterioro de las piedras de la Casa Milá (La Pedrera) en vistas a su limpieza y conservación. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ESBERT R.M., GROSSI C. y MARCOS R.M. (1987). «Estudios experimentales sobre la consolidación y protección de los materiales calcáreos de la catedral de Oviedo. 1ª parte. (Laboratory studies on the consolidation and protection of calcareous materials in the Cathedral of Oviedo. Part I)». *Materiales de construcción* (CSIC), 37 (206): 17-25.

**ESBERT R.M., GROSSI C. Y MARCOS R.M. (1987). «Estudios experimentales sobre la consolidación y protección de los materiales calcáreos de la catedral de Oviedo. 2ª parte. (Laboratory studies on the consolidation and protection of calcareous materials in the Cathedral of Oviedo. Part II)». *Materiales de Construcción* (CSIC), 37 (208): 13-21.

ESBERT R.M., GROSSI C. Y MARCOS R.M. (1987). «Aplicación de consolidantes y protectores en materiales pétreos de edificación». En: *1 Semana de la Calidad en la Edificación, Oviedo*, Colegio Oficial de Aparejadores, comunicaciones, 467-41.

GUTIÉRREZ M., ESBERT R.M. et al. (1987). *Estudio geológico y alterológico de los materiales pétreos de San Juan de la Peña: Especial referencia a sus capiteles románicos. Informe de proyecto*, Cátedra de Geología, Universidad de Zaragoza, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

MONTOTO M. et al. (1987). *Evaluación del estado de alteración y alterabilidad de los materiales rocosos de las catedrales de León y Sevilla. Quinto y sexto informe. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

MONTOTO M. et al. (1987). *Evaluación del estado de alteración y alterabilidad de los materiales rocosos de las catedrales de León y Sevilla. Informe final. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

1988

ESBERT R.M. et al. (1988). *Caracterización petrofísica, petroquímica, mecánica y alterología de los materiales pétreos utilizados en la catedral de Murcia: Puerta de los Apóstoles y Capilla de los Junterones. Primera fase (materiales, alteración). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1988). *Caracterización petrofísica, petroquímica, mecánica y alterología de los materiales pétreos utilizados en la catedral de Murcia: Puerta de los Apóstoles y Capilla de los Junterones. Informe final (tratamientos, durabilidad). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1988). *Estudio de la piedra utilizada en las construcciones monumentales de Álava en vistas a su conservación-restauración. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M., GROSSI C.M., SUÁREZ DEL RÍO L.M., CALLEJA L., ORDAZ J. y MONTOTO M. (1988). «Acoustic emission generates in treated stones during loading». En: Ciabach J. (Co.), *Vlth Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Torun*, Nicholas Copernicus University, Torun, ICRROM, 403-410.

**ESBERT R.M., ORDAZ J., ALONSO F.J., MONTOTO M., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G., MARCOS R.M. y VALDEÓN L. (1988). «Caracterización petrofísica y alterabilidad de las piedras de la catedral de Sevilla. (Petrophysical characterization and weatherability of stones of the Sevilla Cathedral)». *Materiales de Construcción* (CSIC), 38 (210): 5-23.

ESBERT R.M., ORDAZ J., MARCOS R.M. y VALDEÓN L. (1988). «Propiedades físicas a considerar en el deterioro de las rocas como materiales de construcción». *Revista d'investigacions geològiques* Universidad de Barcelona, 44-45: 303-311.

**ESBERT R.M., VÁZQUEZ M. y ALONSO F.J. (1988). «Petrografía, formas y procesos de alteración desarrollados en las piedras de algunos monumentos de Avilés (Asturias)». *Boletín Geológico y Minero (IGME)*, 99-3: 432-443.

**MENÉNDEZ B., ORDAZ J. y ALONSO F.J. (1988). «Observación del sistema poroso de rocas carbonatadas al microscopio electrónico de barrido». *Estudios Geológicos* (CSIC), 44: 189-197.

**ORDAZ J., ESBERT R.M. (1988). «Glosario de términos relacionados con el deterioro de las piedras de construcción». *Materiales de Construcción* (CSIC), 30 (209): 39-45.

**ORDAZ J., ESBERT R.M. y ALONSO F.J. (1988). «Factores que condicionan la alteración de las areniscas de la colegiata de Santillana del Mar (Cantabria)». *Geogaceta (SGE)*, 5: 56-57.

1989

ALONSO F.J., VALDEÓN L., MARCOS R.M. y ESBERT R.M. (1989). «Propiedades físicas y durabilidad de rocas calcáreas utilizadas en la construcción». En: *Simposio sobre Rocas Industriales y Ornamentales*, Mieres.

ESBERT R.M. et al. (1989). *Conservación de la fachada del hotel de la Reconquista (Oviedo): Diagnóstico de lesiones y sugerencias de tratamiento. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1989). *Caracterización petrofísica y alterológica del material pétreo de los capiteles. Proyecto de conservación de los capiteles del monasterio de Santo Domingo de Silos. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1989). *Conservación de los materiales graníticos del claustro real de San Pedro Mártir de Toledo. I Diagnóstico de lesiones y consideraciones generales referidas a su conservación. II Pruebas de tratamiento con consolidantes e hidrofugantes: resultados obtenidos. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ESBERT R.M., MARCOS R.M., ORDAZ J., MONTOTO M., SUÁREZ DEL RÍO L.M., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G., CALLEJA L., ALONSO F.J. y RODRÍGUEZ REY A. (1989). «Petrografía, propiedades físicas y durabilidad de algunas rocas utilizadas en el patrimonio monumental de Catalunya (España)». *Materiales de Construcción* (CSIC), 39 (214): 37-47.

ESBERT R.M., ORDAZ J., ALONSO F.J. y GROSSI C. (1989). "La contaminación ambiental y la formación de sales solubles en piedras monumentales". En: *IV Reunión Nacional, Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, Gijón.

VALDEÓN L. (1989). *Comportamiento hídrico de dolomías, calizas y areniscas de las catedrales de León, Sevilla y Salamanca. Aplicabilidad a la conservación de rocas monumentales*. Tesis doctoral, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

1990

ESBERT R.M. et al. (1990). *Estudio de los materiales de cantería del ex-convento de Sta. Clara (Oviedo): Estado de deterioro y sugerencias para su conservación. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1990). *Estudio de piedras y revocos de San Miguel de Lillo (Oviedo). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ESBERT R.M., GROSSI C.M., VALDEÓN L., ORDAZ J., ALONSO F.J. y MARCOS R.M. (1990). "Estudios de laboratorio sobre la conservación de la piedra de la catedral de Murcia. (Laboratory studies for stone conservation at the Cathedral of Murcia)". *Materiales de Construcción* (CSIC), 40 (217): 5-15.

ESBERT R.M., GROSSI C.M., VALDEÓN L., ORDAZ J., ALONSO F.J. y MARCOS R.M. (1990). "Studies for stone conservation at the cathedral of Murcia (Spain)". En: Zezza F. (Ed.), *1st Int. Symp. The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Cons. Nac. delle Recherche, Grafo Ed., Brescia, ICCROM, 437-441.

ESBERT R.M., MONTOTO M., SUÁREZ DEL RÍO L.M., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G. y GROSSI C.M. (1990). "Mechanical stresses generated by crystallization of salts inside treated and non-treated monumental stones; monitoring and interpretation by acoustical emission/microseismic activity". En: Vandiver P.B., Druzink J. and Wheeler G.S. (Eds.), *Materials Issues in Art and Archaeology II*, MRS Proc. 185: 285-296.

HAMMECKER C. (1990). *Etude de l'interaction de produits de consolidation Rhone-Poulenc sur des roches carbonates mises en œuvre en Espagne. 1º y 2º Rapport. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

MONTOTO M., CALLEJA L., PÉREZ B. y ESBERT R.M. (1990). "Evaluation in situ of the state of deterioration of monumental stones by non-destructive ultrasonic techniques". En: Vandiver P.B., Druzink J. and Wheeler G.S. (Eds.), *Materials Issues in Art and Archaeology II*, MRS Proc. 185: 273-284.

**ORDAZ J., ESBERT R.M., ALONSO F.J., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G. y RODRÍGUEZ REY A. (1990). "Petrophysical characterization and deterioration of the stones of "La Pedrera" (Barcelona, Spain)". En: Zezza F. (Ed.), *1st Int. Symp. The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Cons. Nac. delle Recherche, Grafo Ed., Brescia, ICCROM, 271-274.

ORDAZ J., ALONSO F.J. y ESBERT R.M. (1990). "Caracterización física de algunos adobes de Castilla-León (España). Physical characterization of adobes in Castilla-Leon (Spain)". En: *6th Int. Conference on the Conservation of Earthen Architecture, Adobe 90*, Getty Conservation Institute Publ., Los Angeles (USA), 438-442.

VÁZQUEZ M., ESBERT R.M. y ALONSO F.J. (1990). "Estudio de contaminantes ambientales en superficies de rocas monumentales mediante SEM y EDAX". En: *XVI Reunión Bienal de la SEME, Microscopía Electrónica 92*, Universidad de Cádiz, 295-296.

1991

ESBERT R.M. et al. (1991). *Estudio del deterioro de los materiales pétreos de San Juan de los Caballeros (Museo Zuloaga, Segovia). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ESBERT R.M., GROSSI C., ORDAZ J. y ALONSO F.J. (1991). "La conservación de la piedra de la Casa Milá ("La Pedrera" de Gaudí, Barcelona): Pruebas preliminares". *Boletín Geológico y Minero (IGME)*, 102-3: 446-454.

**ESBERT R.M., MARCOS R., ORDAZ J., MONTOTO M., ALONSO F.J., SUÁREZ DEL RÍO L.M., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G., CALLEJA L. y RODRÍGUEZ REY A. (1991). "Petrografía, propiedades físicas y durabilidad de algunas rocas utilizadas en el patrimonio monumental de Cataluña, España (2ª parte)". *Materiales de Construcción* (CSIC), 41 (222): 49-59.

*ESBERT R.M., MONTOTO M. y ORDAZ J. (1991). "La piedra como material de construcción: durabilidad, deterioro y conservación (Rock as a construction material: durability, deterioration and conservation)". *Materiales de Construcción* (CSIC), 41 (221): 61-73.

ESBERT R.M., VALDEÓN L.M., ORDAZ J., ALONSO F.J. y GROSSI C.M. (1991). "Ultrasonic velocity and humidity in monumental stones". En: Baer N.S., Sabbioni C. and Sors A.I. (Eds.), *Science, Technology and European Cultural Heritage*, Butterworth-Heinemann Publ., ICCROM, Bolonia 597-600.

HAMMECKER C. (1991). *Etude de l'interaction de produits de consolidation Rhone-Poulenc sur des roches carbonates mises en œuvre en Espagne. 3º y 4º Rapport. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

MONTOTO M., CALLEJA L., PÉREZ GARCÍA B., SUÁREZ DEL RÍO L.M., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G., ESBERT R.M. y GROSSI C.M. (1991). "Non-destructive ultrasonic procedure to evaluate in situ the relative deterioration of monumental stones: preliminary results". En: Baer N.S., Sabbioni C. and Sors A.I. (Eds.), *Science, Technology and European Cultural Heritage*, Butterworth-Heinemann Publ., ICCROM, Bolonia 545-548.

1992

ALONSO F.J., ORDAZ J., PÉREZ A. y ESBERT R.M. (1992). "Laboratory study of a treated dolostone subjected to thermal cycles". En: Delgado J., Henriques F. and Jeremias F.T. (Eds.), *7th. Int. Cong.*

Deterioration and Conservation of Stone, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, V-2, 745-751.

DÍAZ-PACHE F. (1992). *Técnicas instrumentales aplicadas al conocimiento de la penetración de consolidantes en rocas carbonatadas y sus efectos en el sistema poroso*. Tesis de licenciatura, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1992). *Diagnóstico de lesiones y análisis de los productos de alteración de la piedra de construcción de la catedral de Palma de Mallorca*. Informe de proyecto, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1992). *Deterioro y sugerencias de conservación de la piedra calcárea de las bóvedas de "Ses Voltes" (Palma de Mallorca)*. Informe de proyecto, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1992). *Caracterización petrofísica de algunas de las piedras de construcción empleadas en la catedral de Segovia*. Informe de proyecto, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1992). *Identificación de la piedra utilizada en la catedral de Almería (monumento y cantera)*. Informe de proyecto, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1992). *Estudio de los espacios vacíos de cinco muestras de rocas de La Camocha (Gijón)*. Informe de proyecto, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT, R.M., DÍAZ-PACHE, F., GROSSI, C.M., ALONSO, F.J. y ORDAZ, J. (1992). "Incidencia de la contaminación en el deterioro y conservación de rocas monumentales españolas". En: *Patrimonio Histórico Artístico y Contaminación. (Encuentro Europeo sobre el Patrimonio Histórico Artístico y Contaminación)*, Consorcio para la Organización de Madrid Capital Europea de la Cultura 163-167.

**ESBERT R.M., GARCÍA RAMOS J.C., NISTAL A.M., ORDAZ J., VALENZUELA M., ALONSO F.J. y SUÁREZ DE CENTI C. (1992). "El proceso digital de imágenes aplicado a la conservación de la piedra monumental. Un ejemplo: Sta. María del Naranco (Oviedo)". *Revista de Arqueología*, 139: 7-11.

**ESBERT R.M., GROSSI C.M., ORDAZ J., ALONSO F.J., RUIZ L. y MARCOS R.M. (1992). "La conservación de la piedra de la fachada del antiguo Hospicio Provincial de Oviedo". En: *Cong. Int. Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación*, Comisión Canaria para la Conmemoración V Centenario, Las Palmas, T-1, 118-122. I.

**ESBERT R.M., ORDAZ J., ALONSO F.J. y SUÁREZ DEL RÍO L.M. (1992). "Estudio diagnóstico del deterioro de las piedras de la fachada del antiguo Hospicio Provincial de Oviedo." En: *Cong. Int. Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación*, Comisión Canaria para la Conmemoración V Centenario, Las Palmas, T-1, 123-126.

GROSSI C.M. (1992). *Cristalización de sales en rocas monumentales*

porosas y su auscultación mediante emisión acústica. Tesis doctoral, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

MARCOS R.M. (1992). *Tratamientos de conservación aplicados a rocas carbonatadas*. Catedral de León. Tesis doctoral, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

MODESTO M. et al. (1992). *Auscultación de la estabilidad de la catedral de Palma de Mallorca mediante técnicas de emisión acústica/actividad microsísmica. Fases I, II y III. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

MONTOTO M., ESBERT R.M., SUÁREZ DEL RÍO L.M., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G., CALLEJA L. y GROSSI C.M. (1992). "Acoustic emission/microseismic activity monitoring of salt crystallization for stone conservation" *Journal of Acoustic Emission*, 10 (1-2): s35-s41.

VALDEÓN L., ESBERT R.M. y GROSSI C.M. (1992). "Hydric properties of some spanish building stones: a petrophysical interpretation". En: Druzik J.R., Freestone I.V., Vandiver P.B. and Wheeler G.S. (Eds.), *Materials Issues in Art and Archaeology*, MRS Proc. 267: 911-916.

VALDEÓN L., GROSSI C.M., MARCOS R.M. y ESBERT R.M. (1992). "Influence of conservation treatments on hydric properties of stones". En: Delgado J., Henriques F. and Jeremias F.T. (Eds.), *7th. Int. Cong. Deterioration and Conservation of Stone*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, V-2, 1073-1081.

1993

**ALONSO F.J., CHINCHÓN J.S., ORDAZ J., HERNANDEZ E., ALASTUEY A. y ESBERT R.M. (1993). "Las piedras de construcción de la Seu Vella de Lérida: Tipos, petrografía y propiedades físicas". *Boletín Geológico y Minero (IGME)*, 104-4: 431-438.

**ESBERT R.M. (1993). "Utilización de protectores superficiales para la conservación de la piedra: situación actual en España. (The use of surface protectants: the current situation in Spain)". *Materiales de Construcción (CSIC)*, 43 (229): 5-15.

ESBERT R.M. (1993). "The use of surface protectants: The current situation in Spain, Portugal and South America". *Science and Technology for Cultural Heritage (Journal of the Comitato nazionale per la scienza e la tecnologia dei beni culturali)*, 2: 183-189.

ESBERT R.M., ALONSO F.J. y ORDAZ J. (1993). "Utilización de consolidantes e hidrofugantes de la piedra monumental", *V Congreso de Geoquímica de España*, Soria.

ESBERT R.M. et al. (1993). *Determinación de las propiedades físicas de la piedra utilizada en la catedral de Almería y estado de deterioro de la misma en las portadas de la de lo Pendones y Principal*. Informe de proyecto, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1993). *Incidencia del ambiente en el deterioro de la piedra de la catedral de Burgos: Cimborrio y fachada de la Coronaría*. Informe de proyecto, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

dad de Oviedo.

**ESBERT R.M., DÍAZ-PACHE F. (1993). "Influencia de las características petrofísicas en la penetración de consolidantes en rocas monumentales porosas. (Influence of petrographical characteristics in the penetration of consolidants in porous building stones)". *Materiales de Construcción* (CSIC), 43 (230): 25-36.

HAMMECKER C. (1993). *Importance des transferts d'eau dans le dégradation des pierres en oeuvre*. Tesis doctoral, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**MARCOS R., ESBERT R.M., ALONSO F.J. y DÍAZ-PACHE F. (1993). "Características que condicionan el comportamiento de la caliza de Hontoria (Burgos) como piedra de edificación". *Boletín Geológico y Minero (IGME)*, 104-5: 587-597.

PÉREZ A. (1993). *Granitos de Axeitos: petrografía, fisuración y propiedades físicas*. Tesis de licenciatura, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

1994

ALONSO J. (1994). *Propiedades que controlan la hidrorrepelencia de rocas carbonatadas tratadas con productos silicoorgánicos*. Tesis de licenciatura. Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.

**ALONSO F.J., ARECES J.L., TORAÑO J., RODRÍGUEZ R., GROSSI C. y ESBERT R.M. (1994). "Descripción y cuantificación de los espacios vacíos de algunas rocas detríticas carboníferas de la mina "La Camocha" (Gijón)". *Boletín Geológico y Minero (IGME)*, 105-3: 306-317.

ALONSO F.J., ESBERT R.M., ALONSO J. y ORDAZ J. (1994). "Saline spray action on a treated dolomitic stone". En: Fassina V., Ott H. and Zezza F. (Eds), *3º Int. Symp. The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Soprintendenza ai Beni Artistici e Storici, Venecia, ICRROM, 867-870.

**ALONSO F.J., ESBERT R.M. y ORDAZ J. (1994). "Estado de alteración de la piedra de los capiteles del monasterio de Santo Domingo de Silos". *Ingeniería Civil (CEDEX)*, 96: 15-24.

**ALONSO F.J., DÍAZ-PACHE F. y ESBERT R.M. (1994). "Interacción piedra-ambiente, 1ª parte: Formas de alteración desarrolladas sobre la piedra de la catedral de Burgos". *Informes de la Construcción* (CSIC), 46 (433): 5-18.

DÍAZ-PACHE F. (1994). *Formas de alteración y partículas sólidas de contaminación en la piedra de la catedral de Burgos. Seminario de investigación*, Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.

DÍAZ-PACHE, F., ESBERT, R.M. (1994). "Técnicas instrumentales aplicadas al control de la penetración de tratamientos de consolidación en piedra". *Ingeniería Civil (CEDEX)*, 96: 117-124.

ESBERT R.M. et al. (1994). *Estudio sobre: Protección frente a la hu-*

medad de la piedra de revestimiento del edificio de la Presidencia del Gobierno de Canarias. Informe de proyecto, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1994). *Depósito de partículas sólidas de contaminación en rocas monumentales, ubicadas en ambientes urbanos. Incidencia en su conservación. Programa de Investigación*. Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M., GROSSI C., ORDAZ J. y ALONSO F.J. (1994). "Características petrofísicas, deterioro y ensayos de conservación de la piedra de la catedral de Murcia". En: *La catedral de Murcia y su plan* (Dirección General de Cultura de Murcia).

ESBERT R.M., PÉREZ-ORTIZ A., ORDAZ J. y ALONSO F.J. (1994). "Intrinsic factors influencing the decay of the granite as a building stone". En: Oliveira R., Rodrigues L.F., Coelho A.G. and Cunha A.P. (Eds.), A.A. Balkema, *7th Int. Cong. International Association of Engineering Geology*, Lisboa, 3659-3665.

**GROSSI C.M., ESBERT R.M. (1994). "Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. Revisión bibliográfica". *Materiales de construcción* (CSIC), 44 (235): 15-20.

GROSSI C.M., ESBERT R.M., LEWRY A.J. y BUTLIN R.N. (1994). "Weathering of building carbonate rocks under SO₂ polluted atmospheres". En: Oliveira R., Rodrigues L.F., Coelho A.G. and Cunha A.P. (Eds.), A.A. Balkema, *7th Int. Cong. International Association of Engineering Geology*, Lisboa, 3573-3582.

GROSSI C.M., LEWRY A.J., BUTLIN R.N. y ESBERT R.M. (1994). "Laboratory studies on interaction between SO₂ polluted atmospheres and dolomitic building stone". En: Fassina V., Ott H. and Zezza F. (Eds), *3º Int. Symp. The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Soprintendenza ai Beni Artistici e Storici, Venecia, ICRROM, 227-232.

MARCOS R.M., ALONSO F.J. (1994). "Identificación petrográfica de teselas de mosaicos romanos zamoranos (España), con vistas a su conservación". *V Conf. Int. Committee for the Conservation of Mosaics*, ICCM, Faro e Conimbriga, 203-212.

PÉREZ ORTIZ A., ORDAZ J., ESBERT R.M. y ALONSO F.J. (1994). "Microfissuring evolution of the granite from the Axeitos dolmen along the salt crystallization test". En: Fassina V., Ott H. and Zezza F. (Eds), *3º Int. Symp. The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Soprintendenza ai Beni Artistici e Storici, Venecia, ICRROM, 115-119.

1995

ALONSO et al. (1995). *Estudio petrográfico de un mármol blanco de Italia. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ALONSO et al. (1995). *Estudio petrográfico de la piedra "Crema Cenia". Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ALONSO F.J., DÍAZ-PACHE F., ESBERT R.M. y QUINTANA A. (1995). "Aplicación del SEM-EDX al estudio de costras y partículas sólidas de contaminación en piedras monumentales". En: *Microscopia Electrónica, XVII Reunión Bienal Sociedad Española de Microscopía Electrónica*, Universidad de Oviedo, 308-309.

**ESBERT R.M., ALONSO J. (1995). "Hidrofugación de rocas carbonatadas porosas: Propiedades que controlan su eficacia (Waterproofing of porous carbonate rocks: Efficiency-controlling its properties)". *Materiales de Construcción* (CSIC), 45 (237): 15-30.

ESBERT R.M., ALONSO J., ALONSO F.J. y ORDAZ J. (1995). "Suggested properties for evaluating the behaviour of a waterproofed limestone under aggressive environmental conditions". En: *Methods of Evaluating Products for the Conservation of Porous Building Materials in Monuments*, Int. Colloquium, ICCROM, Roma, 331-339.

ESBERT R.M. et al. (1995). *Caracterización de la piedra de Tindaya para su estudio como loseta de revestimiento. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1995). *Limpieza y conservación de la piedra de la fachada del Ayuntamiento de Ponferrada. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1995). *Análisis y propuesta de tratamientos en la piedra de Hontoria: Fachada de Santa María (Catedral de Burgos). I Estudio alterológico de la piedra en vistas a su conservación. Planteamiento de las etapas de intervención. II Tratamiento de piedra in situ y en laboratorio. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

GROSSI C.M., MURRAY M. y BUTLIN R.N. (1995). "Response of porous building stone to acid deposition". *Water, Air and Soil Pollution*, 85: 2718-2731.

MONTOTO M., ESBERT R.M., SUÁREZ DEL RÍO L.M., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G., CALLEJA L. y GROSSI C.M. (1995). "Acoustic emission in stone conservation". *Acoustic emission / Microseismic activity in geological structures and material*, V. Trans. Tech. Public. (USA), 665-684.

1996

ALONSO et al. (1996). *Alteración de la piedra en edificios de Aite (San Sebastián). Caracterización petrográfica y análisis de sales solubles. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ALONSO F.J., ORDAZ J. y ESBERT R.M. (1996). "Deterioro selectivo de la piedra de construcción de la catedral de Palma de Mallorca". *Geogaceta* (SGE), 20-5: 1228-1231.

**DÍAZ-PACHE F., ALONSO F.J. y ESBERT R.M. (1996). "La microscopía electrónica de barrido aplicada al estudio de partículas sólidas de contaminación depositadas sobre la piedra monumental". *Ingeniería Civil* (CEDEX), 101: 29-36.

ESBERT R.M., ALONSO F.J., DÍAZ-PACHE F., ORDAZ J. y PÉREZ-ORTIZ A. (1996). "Superficial protection of granite face to saline spray". En: *EC workshop Degradation and Conservation of granitic rocks in monuments*. European Commission, Protection and Conservation of European Cultural Heritage, research report 5, Santiago de Compostela, 337-342.

ESBERT R.M., DÍAZ-PACHE F., ALONSO F.J., ORDAZ J. y GROSSI C.M. (1996). "Solid particles of atmospheric pollution found on the Hontoria limestone of Burgos cathedral". En: *Proceedings, 8th. Int. Cong. Deterioration and Conservation of Stone*, V-1, Berín, 393-399.

ESBERT R.M. et al. (1996). *Palacio del Duque del Parque (Oviedo). Estudios previos a la limpieza de la fachada. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1996). *Estudio alterológico de la piedra de la fachada de San Isidoro (Oviedo). Planteamiento de las etapas de intervención. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

GROSSI C.M., ESBERT R.M. y SUÁREZ DEL RÍO L.M. (1996). "The application of the acoustic emission technique to stone decay by sodium sulphate in laboratory tests". En: *Origen, mechanisms and effects of salts on degradation of monuments in marine and continental environments*. European Commission Research Workshop.

ORDAZ J., PÉREZ-ORTIZ A., ESBERT R.M., MARTÍNEZ-NISTAL A. y ALONSO F.J. (1996). "Study of the granite crack network by means of digital image processing". En: *EC workshop Degradation and Conservation of granitic rocks in monuments*. European Commission, Protection and Conservation of European Cultural Heritage, research report 5, Santiago de Compostela, 249-254.

PÉREZ A. (1996). *Características intrínsecas y parámetros fractográficos que condicionan la alteración del granito*. Tesis doctoral, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

PÉREZ-ORTIZ A., ORDAZ J., ESBERT R.M., ALONSO F.J. y DÍAZ-PACHE F. (1996). "Physical behaviour and degradation trends in anisotropic granite". En: *Proceedings, 8th. Int. Cong. Deterioration and Conservation of Stone*, V-1, Berín, 205-209.

1997

ESBERT R.M. et al. (1997). *Características petrofísicas las dos piedras seleccionadas para el revestimiento de las fachadas del Gran Teatre del Liceu. Crema Ámbar, Verde Guatemala. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1997). *Estudio de la durabilidad de las piedras preseleccionadas para el revestimiento de las fachadas del Gran Teatre del Liceu. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M., ORDAZ J., ALONSO F.J., MONTOTO M., GONZÁLEZ LIMÓN T. y ÁLVAREZ DE BUERGO M. (1997). *Manual de diagnóstico y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*. Colegio de Apare-

jadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, Barcelona.

ESBERT R.M. y VALDEÓN L. (1997). *Estudio sobre las piedras del Cosolat del Mar (Palma de Mallorca). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. y VALDEÓN L. (1997). *Estudio de deterioro y sugerencias para la conservación de la piedra de las fachadas del Cosolat del Mar (Palma de Mallorca). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ESBERT R.M., VALDEÓN L., DÍAZ-PACHE F., ORDAZ J. y ALONSO F.J. (1997). "La fachada de la iglesia de San Isidoro de Oviedo. Etapas de intervención y sugerencias para su conservación y limpieza". *Loggia: Arquitectura y Restauración*, 3: 82-89.

**GROSSI C.M., ESBERT R.M. y SUÁREZ DEL RÍO L.M. (1997). "La emisión acústica aplicada al estudio del deterioro de la piedra en ensayos de cristalización con sulfato de sodio. (The application of the acoustic emission technique to Stone decay by sodium sulphate in laboratory test)". *Materiales de Construcción (CSIC)*, 47 (425): 5-15.

*GROSSI C.M., ESBERT R.M., SUÁREZ DEL RÍO L.M., MONTOTO M. y LAURENZI-TABASSO M. (1997). "Acoustic emission monitoring to study sodium sulphate crystallization in monumental porous carbonate stones". *Studies in Conservation*, 42 (2): 115-125.

**VALDEÓN L., MONTOTO M., CALLEJA L., ESBERT R.M., CORRAL N. y LÓPEZ T. (1997). "A method to assess spatial coordinates in art and archaeological objects: application of tomography to a dolmen". *J. of Archaeological Sciences*, 24 (4): 337-346.

1998

ALONSO F.J. (1998). *Las partículas de contaminación atmosférica en la alteración de la piedra. Documento interno*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ALONSO et al. (1998). *Caracterización petrográfica de la piedra de Igueldo. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ALONSO F.J., ORDAZ J., DÍAZ-PACHE F. y ESBERT R.M. (1998). "Características petrográficas que condicionan la durabilidad de la piedra natural". En: *II Congreso Internacional de la Piedra (CD-ROM)*, Madrid.

ESBERT R.M. (1998). "Técnicas de consolidación y protección de la piedra". En: *Tratado de Rehabilitación: Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*. Munilla-Leria, Madrid, 153-160.

ESBERT R.M. et al. (1995). *Análisis y propuesta de tratamientos en la piedra de Hontoria: Fachada de Santa María (Catedral de Burgos). I Comportamiento hídrico de una pátina artificial aplicada a la piedra. II Evolución de la pátina artificial aplicada a la piedra frente a atmósferas contaminadas. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1998). *Seguimiento de las labores de restauración de la iglesia de San Isidoro (Oviedo). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1998). *Deterioro/Conservación de la piedra del monasterio de San Pelayo (Oviedo). 1ª Parte: Deterioro de las piedras: sus causas. Anexo: La iglesia de la Corte. 2ª Parte: Conservación: Métodos y productos. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1998). *Análisis y pautas de actuaciones en los elementos de piedra de las fachadas del Eixample de Barcelona. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1998). *Caracterización de la piedra de Briviesca. Deterioro en el trasaltar de la catedral de Burgos. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1998). *Deterioro y conservación de la piedra del teatro Victoria Eugenia de San Sebastián. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**GROSSI C.M., ESBERT R.M. y DÍAZ-PACHE F. (1998). "Degradación y durabilidad de materiales rocosos de edificación en ambientes urbanos. (Decay and durability of building stones in urban environments)". *Materiales de Construcción (CSIC)*, 48 (252): 5-12.

1999

**ALONSO F.J., ORDAZ J., VALDEÓN L., ROJO A., DÍAZ-PACHE F. y ESBERT R.M. (1999). "Caracterización petrofísica de la caliza de Piedramuelle (Oviedo, Asturias)". *Trabajos de Geología*, 21: 25-31.

DÍAZ-PACHE, F. GROSSI, C.M. y ESBERT, R.M. (1999). "Automated characterization of solid particles in urban environment using SEM and EDX". *Microscopy and Analysis*, 3: 19-21.

ESBERT R.M. et al. (1999). *Análisis y propuesta de tratamientos en la piedra de Hontoria: Fachada de Santa María (Catedral de Burgos). III Seguimiento de los trabajos de conservación. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1999). *Caracterización petrofísica y sugerencias de intervención en la piedra del palacio de Revillagigedo (Gijón). I Avance. II Informe. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1999). *Diagnóstico de lesiones y sugerencias de intervención en la piedra de la fachada principal de la catedral de Girona. Primera parte: Diagnóstico de lesiones. Segunda parte: Sugerencias de intervención. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1999). *Estudio del deterioro y sugerencias de intervención en la iglesia de Santa María de Castro Urdiales. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (1999). *Estudio del deterioro y sugerencias de intervención en la iglesia de Santa María de Laredo. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M., ORDAZ J. y ALONSO F.J. (1999). *Anàlisi i pautes d'actuacions en els elements de pedra de les façanes de l'Eixample de Barcelona*. ProEixample (Col·lecció Estudis Tècnics). Barcelona.

*GROSSI C.M., MURRAY M. (1999). "Characteristic of carbonate building stone that influence the dry deposition of acid gases". *Construction and Building Material*, 13: 101-108.

**MONTOTO M., ESBERT R.M. (1999). "Petrofísica de la roca matriz". *Trabajos de Geología*, 21: 239-252.

ROJO A. (1999). *Propiedades hídricas de granitos ornamentales con distintos acabados superficiales*. Tesis de licenciatura, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

2000

ALONSO F.J. (2003). "El agua en las rocas. Porosidad, permeabilidad y propiedades asociadas". En: *I Curso sobre hidrogeología y medio ambiente*. Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.

ALONSO et al. (2000). *Estudio petrográfico de rocas de Navarra. I Mendillorri. II Muralla y Mendillorri. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ALONSO F.J., ROJO A. y ESBERT R.M. (2000). "Deterioro de la piedra en la iglesia de Santa María de Castro Urdiales (Cantabria)". En: *Geotemas, V Congreso Geológico de España*, Alicante, V-1 (3), 191-195.

ALONSO F.J., VALDEÓN L. (2000). *Estudio del puente de piedra de Puente Agüero (Cantabria). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2000). *Deterioro y conservación de la piedra del monasterio de San Salvador de Oña (Burgos). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2000). *Deterioro petrofísicos y alterológicos previos a la intervención en el palacio Mayoralgo de Cáceres. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2000). *Pruebas de laboratorio para evaluar la durabilidad de un granito y un mortero a utilizar en paramentos exteriores del templo expiatorio de la Sagrada Familia (Barcelona). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M., ALONSO F.J., DÍAZ-PACHE F. y ORDAZ J. (2000). "Técnicas microscópicas aplicadas al estudio de recubrimientos artificiales de la piedra de los monumentos". En: *5th Int. Symp. The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Universidad de Sevilla, 234-235.

GROSSI C.M., ESBERT R.M., ALONSO F.J., VALDEÓN L., ORDAZ J. y DÍAZ-PACHE F. (2000). "Colour changes and reactivity to SO₂ of some cladding stones at the "Gran Teatre del Liceu" (Barcelona, Spain)". En: Fassina V. *9th Int. Cong. Deterioration and Conservation of Stone*, (Ed.), Elsevier, Venecia V-1, 323-328.

ROJO A. (2000). *Estudio de los cambios inducidos en la superficie de la piedra por limpieza con energía láser. Trabajo de investigación*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ROJO A., ALONSO F.J. y ESBERT R.M. (2000). "Influencia de las características mineralógicas y texturales en el comportamiento hídrico de rocas graníticas". En: *Geotemas, V Congreso Geológico de España*, Alicante V-1 (1), 281-286.

SUÁREZ DEL RÍO L.M., CALLEJA L., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G., RODRÍGUEZ REY A. Y ALONSO F.J. y DÍEZ SARRIÁ I., (2000). *Caracterización tecnológica de rocas ornamentales de Asturias*. CD-ROM, Universidad de Oviedo, Principado de Asturias.

VALDEÓN L., ESBERT R.M. (2000). "Seguimiento de los trabajos de conservación de la piedra. La fachada de la iglesia de San Isidoro de Oviedo". *Loggia*, 10: 88-93.

2001

ALONSO F.J. (2001). "Ensayos físicos de caracterización y comportamiento de materiales". En: *Curso sobre Caracterización y restauración de materiales pétreos en arquitectura, escultura y arqueología*. Fundación Uncastillo. Departamento de Geología. Universidad de Zaragoza, T-1, 189-201.

**ALONSO F.J., ESBERT R.M. y ROJO A. (2001). "Deterioro de la piedra en la iglesia de Santa María de Castro Urdiales (Cantabria)". *RocMáquina*, (Elsevier) 66, 12-16.

ALONSO F.J. et al. (2001). *Estudio del mármol del mausoleo del obispo Rodrigo Mercado de Zuazola, capilla de la Piedad, Oñate (Guipuzcoa). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

DÍAZ-PACHE F. (2001). *Estudio de las partículas de contaminación depositadas sobre muestras expuestas en ambiente urbano. Su interacción con la piedra de edificación. (Catedrales de Burgos y Oviedo)*. Tesis doctoral, Departamento de Geología, Universidad de 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. et al. (2001). *Pruebas de laboratorio para evaluar la durabilidad de diversos materiales pétreos a utilizar en paramentos exteriores del templo expiatorio de la Sagrada Familia (Barcelona). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2001). *Pruebas de laboratorio para evaluar la*

durabilidad del granito Silvestre Sagayo a utilizar en paramentos exteriores del templo expiatorio de la Sagrada Familia (Barcelona). Informe de proyecto, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M., GROSSI C.M., ROJO A., ALONSO F.J., MONTOTO M., ORDAZ J., PÉREZ DE ANDRÉS M.C., ESCUDERO C., SEBASTIÁN E., RODRÍGUEZ-NAVARRO C. y ELERT K. (2001). "The effect of laser radiation used for cleaning purposes on different building stones". En: *LACONA IV, Int. Conf. Lasers in the Conservation of Artworks*, (ICOMOS), París, 255-258.

ESBERT R.M., ORDAZ J., ALONSO F.J., DÍAZ-PACHE F. y MATEOS F. (2001). "Caracterització petrofísica de la pedra de Girona: el seu ús en edificació". *La Punxa* (Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona) 31, 30-44.

**ESBERT R.M., ORDAZ J., ALONSO F.J., MONTOTO M., VALDEÓN L., GROSSI C.M., DÍAZ-PACHE F. y ROJO A. (2001). "Materiales pétreos. Metodología de diagnosis y tratamiento". *Restauración & Rehabilitación* (América Ibérica, Madrid) 50, 42-47.

**ROJO A., ALONSO F.J. y ESBERT R.M. (2001). "Influencia de las características mineralógicas y texturales en el comportamiento hídrico de rocas graníticas". *RocMáquina*, Elsevier, 67, 38-41.

RODRÍGUEZ-NAVARRO C., ELERT K., SEBASTIÁN E., ESBERT R.M., GROSSI C.M., ROJO A., MONTOTO M., ORDAZ J., ALONSO F.J., ESCUDERO C. y PÉREZ DE ANDRÉS M.C. (2001). "Q-switched Nd-YAG laser cleaning of white marble: Induced damage evaluation through combined use of XRD and SEM". En: *LACONA IV Int. Conf. Laser in the Conservation of Artworks*, (ICOMOS), París, 49-52.

2002

**ALONSO F.J. (2002). *Porosimetría de inyección de mercurio: Procedimiento de ensayo. Documento interno*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ALONSO et al. (2002). *Estudio petrográfico de rocas de Navarra. III Monasterio de Sta. María de Irache. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2002). *Pruebas de laboratorio para evaluar la durabilidad de material granítico de cantera (Pena da Croa, Santa María). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2002). *Claustro de la catedral de Oviedo. I Pruebas de limpieza: estudio morfoquímico de la superficie limpiada. II Estado de alteración de los capiteles del claustro bajo y sugerencias de intervención. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ESBERT R.M., GROSSI C.M., ALONSO F.J., ORDAZ J. y ROJO A. (2002). "Características de la piedra que permiten valorar los efectos de la limpieza con láser". En: *Conservación del Patrimonio: Evolución y Nuevas Perspectivas*, GEIIC, I Congreso Grupo Español del IIC, Valencia, 363-367.

ESBERT R.M., ORDAZ J. y ALONSO F.J. (2002). "Caracterización, durabilidad y conservación de materiales pétreos". *II Jornadas Empresariales de Tránsito de Tecnología y Conocimiento*. Universidad de Oviedo.

LOSADA J.M., ESBERT R.M. (2002). "Criterios de intervención en materiales pétreos (I) y (II)". *Roc Máquina*, Elsevier 75: 20-26 y 76: 24-30.

**SUÁREZ DEL RÍO L.M., CALLEJA L., DÍEZ SARRIÁ I., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G., RODRÍGUEZ REY A. y ALONSO F.J. (2002). "Las rocas ornamentales de Asturias". *Roc Máquina*, Elsevier, 75: 30-38.

**SUÁREZ DEL RÍO L.M., CALLEJA L., DÍEZ SARRIÁ I., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G., RODRÍGUEZ REY A. y ALONSO F.J. (2002). "Características tecnológicas de las rocas ornamentales de Asturias". *Trabajos de Geología*, 23: 73-84.

2003

ALONSO et al. (2003). *Estudio petrográfico de rocas de Navarra. IV Monasterio de Sta. María de Irache. V Cuzcurrita (La Rioja). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2003). *Claustro de la catedral de Oviedo. III La piedra del claustro, variedades y características. IV Estado de alteración de los galerías del claustro bajo y sugerencias de intervención. V Pruebas de limpieza con el láser EOS1000 en el claustro bajo. VI Estado de alteración y sugerencias de intervención en el tambor de la capilla de Santa María del Rey Casto. VII Experimentación de tratamientos para aplicar a la piedra. VIII Inscripciones epigráficas: Criterios de intervención. IX. Estatua de Alfonso XI: Análisis de pinturas y piedra. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

*ESBERT R.M., GROSSI C.M., ROJO A., ALONSO F.J., MONTOTO M., ORDAZ J., PÉREZ DE ANDRÉS C.M., ESCUDERO C., BARRERA M., SEBASTIÁN E., RODRÍGUEZ-NAVARRO C. y ELERT K. (2003). "Application limits of Q-switched Nd:YAG laser irradiation for stone cleaning based on colour measurements". *Journal of Cultural Heritage*, 4 (S.1): 50s-55s.

**GROSSI C.M., ESBERT R.M., DÍAZ-PACHE F. y ALONSO F.J. (2003). "Soiling of building stone in urban environments". *Building and Environment*, 38: 147-159.

**LOSADA, J.M., ESBERT, R.M. (2003). "Criterios de intervención en materiales pétreos. (Conclusiones de las Jornadas celebradas en febrero de 2002)". *Bienes Culturales, Revista del Instituto del Patrimonio Histórico Español*, 2, Anexo, 34 p.

RODRÍGUEZ-NAVARRO C., ELERT K., SEBASTIÁN E., ESBERT R.M., GROSSI C.M., ROJO A., ALONSO F.J., MONTOTO M. y ORDAZ J. (2003). "Laser cleaning of stone materials: an overview of current research". *Reviews in conservation* (IIC), 4: 65-82.

**ROJO A., ALONSO F.J. y ESBERT R.M. (2003). "Propiedades hídricas de algunos granitos ornamentales de la península ibérica con distintos acabados superficiales: interpretación petrofísica. (Hid-

ric properties of some iberian ornamental granites with different superficial finishes: a petrophysical interpretation". *Materiales de Construcción* (CSIC), 53: 61-72.

**SUÁREZ DEL RÍO L.M., CALLEJA L., DÍEZ SARRIÁ I., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G., RODRÍGUEZ REY A. y ALONSO F.J. (2003). "La caliza Griotte de Asturias (España) cómo roca ornamental". *Boletín Geológico y Minero (IGME)*, 114: 463-471.

**VALDEÓN L., ROJO A., MATEOS F.J., 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.

2004

**ALONSO F.J., ESBERT R.M., ORDAZ J. y GROSSI C.M. (2004). "Reactividad frente al SO₂ de piedras limpiadas con laser. (Reactivity of laser-cleaned stones to a SO₂ ageing test)". *Materiales de Construcción* (CSIC), 54: 45-55.

**ÁLVAREZ S., ESBERT R.M., DÍAZ-PACHE F., ALONSO F.J., ORDAZ J., SUÁREZ DEL RÍO L.M., RODRÍGUEZ REY A. y RUIZ DE ARGANDOÑA V.G. (2004). "San Julián de los Prados (Oviedo). Agresiones, estado actual y propuestas para la conservación de un monumento singular del prerrománico asturiano". *Restauración&Rehabilitación*. América Ibérica, Madrid, 85: 52-57.

ESBERT R.M., ALONSO F.J., ORDAZ J., VALDEÓN L., ROJO A. y MATEOS F.J. (2004). "La conservación de la piedra del claustro de la catedral de Oviedo". *VII Cong. Int. Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación*, Lanzarote, 477.

ESBERT R.M. et al. (2004). *Claustro de la catedral de Oviedo. X Etapas de intervención: Seguimiento y control de obra. Mantenimiento. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2004). *Pruebas de laboratorio para evaluar la durabilidad de tres rocas ornamentales. Arenisca de los Pinares, Crema Teruel y Travertino Teruel. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M., ORDAZ J., ALONSO F.J., VALDEÓN L., ROJO A. y MATEOS F.J. (2004). "Cleaning of the capitals of Oviedo cathedral cloister". En: *Proceeding 10th Int. Cong. Deterioration and Conservation of Stone*, ICOMOS, Stockholm, V-2, 939-946.

ESBERT R.M., ROJO A., ALONSO F.J., MATEOS F.J., ORDAZ J. y VALDEÓN L. (2004). "La conservación de la piedra del claustro". En: VV.AA. *La restauración de la torre y el claustro de la catedral de Oviedo*, Ediciones Nobel, Oviedo, 284-302.

GROSSI C.M. (2004). "La limpieza de la piedra con el láser Nd: YAG". *Investigación y Ciencia*, 339: 280-281.

**MATEOS F.J., VALDEÓN L. y ROJO A. (2004). "Piedras de construcción de la fuente prerrománica de Foncalada: tipos y origen". *Trabajos de Geología*, 24: 107-118.

ORDAZ J., ALONSO F.J., ESBERT R.M., MATEOS F.J., VALDEÓN L. y ROJO A. (2004). "La intervención en la piedra del claustro de la catedral de Oviedo". *Menhir*. Derio, Vizcaya, 16: 72-85.

ROJO A., MATEOS F.J. y VALDEÓN L. (2004). "Patologías que afectan a los materiales pétreos". *RocMáquina*, Elsevier, 91: 46-51.

**ROJO A., MATEOS F.J. y VALDEÓN L. (2004). "Caracterización petrológica de los morteros de la fuente prerrománica de Foncalada, Oviedo". *Trabajos de Geología*, 24: 165-175.

ROJO A., MATEOS F.J., VALDEÓN L. y ESBERT R.M. (2004). "La intervención en la capilla de San Lorenzo de Gijón (Asturias-España): Seguimiento petrológico". *Menhir*. Derio, Vizcaya, 15: 30-39.

VALDEÓN L. (2004). "La conservación de las fábricas de sillería de la torre gótica". En: VV.AA. *La restauración de la torre y el claustro de la catedral de Oviedo*, Ediciones Nobel, Oviedo, 111-142.

2005

**ÁLVAREZ S., ESBERT R.M., ARIAS L., SÁEZ R., ALONSO F.J., ORDAZ J., DÍAZ-PACHE F., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G., CALLEJA L., RODRÍGUEZ REY A. y SUÁREZ DEL RÍO L.M. (2005). "Santa Cristina de Lena, un monumento enigmático del prerrománico asturiano: piedras, deterioro y sugerencias de conservación". *Loggia*, 18: 70-87.

ALONSO et al. (2005). *Estudio petrográfico de rocas de Navarra. VI Monasterio de Sta. María de la Oliva y Baluarte (auditorio de Pamplona). VII Artarraga. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2005). *Caracterización de la durabilidad de la arenisca Dorada Urbión. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2005). *Evaluación de productos de tratamiento aplicados a la superficie del material de revestimiento del edificio anexo al del Cabildo Insular en Santa Cruz de Tenerife. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2005). *Informe sobre el estado de las fachadas del teatro Victoria Eugenia de San Sebastián. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2005). *Palau de la Música de Barcelona. Caracterización petrofísica de los materiales constructivos utilizados en la fachada. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT, R.M., MONTOTO, M., TIANO, P. y FRATINI, F.L. (2005). "The specific problems of monuments and art works and the contribution offered by characterization". En: *Finished product characteristics and uses: a guide*. OSNET Editions, 18: 89-106.

MATEOS F.J. (2005). *Durabilidad de rocas graníticas sometidas a la acción de los aerosoles salinos: Características petrofísicas y me-*

canismos implicados. Trabajo de investigación, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**MATEOS F., ROJO A., VALDEÓN L., ALONSO F.J., ESBERT R.M. y ORDAZ J. (2005). "Influencia del grado de deterioro de la piedra en la limpieza de los capiteles del claustro de la catedral de Oviedo". En: *Conservación y Restauración, II Cong. Grupo Español del IIC*, GEIIC, Barcelona, 141-145.

2006

**ALONSO F.J. (2006). *La porosidad como componente petrográfico: La porosidad de las rocas carbonatadas. Documento interno*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ALONSO F.J. (2006). *Técnicas de estudio de la porosidad. Documento interno*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ALONSO F.J., DÍAZ-PACHE F., GROSSI C.M. y ESBERT R.M. (2006). "Atmospheric particles in an urban background: damage to building stone". En: *Heritage, Weathering and Conservation*, Int. Conf. Heritage, Weathering and Conservation, Madrid. Taylor & Francis.

**ALONSO F.J., ESBERT R.M., ORDAZ J. y VÁZQUEZ P. (2006). "Análisis del deterioro de los materiales pétreos de edificación". *ReCoPaR* (revista electrónica), 3: 23-32.

ALONSO et al. (2006). *Estudio petrográfico de suelos y morteros de San Miguel de Lillo (Oviedo). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2006). *Litologías, deterioro y sugerencias de conservación de la piedra y morteros de la casa de La Rúa de Oviedo. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2006). *Palau de la Música de Barcelona. I Estado de conservación de los materiales de la fachada histórica. II Productos de conservación experimentados para utilizar en la fachada histórica. III Durabilidad de las posibles pinturas a aplicar en la fachada. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**MARTOS E., ALONSO F.J., JIMÉNEZ-SÁNCHEZ y TORRES ALONSO M. (2006). "El monasterio de Raíces (Castrillón, Asturias): Estudio petrográfico de los materiales de construcción". *Geogaceta (SGE)*, 40: 299-302.

**MATEOS, F.J., ESBERT, R.M., ROJO, A. y VALDEÓN, L. (2006). "Evaluación del grado de penetración de tratamientos consolidantes mediante la determinación de las variaciones en la velocidad de propagación de ondas longitudinales". *ReCoPaR* (revista electrónica), 3: 33-38.

ORDAZ et al. (2006). *Estudio petrográfico y pomométrico de las piedras Iroko y Kafé/Wengué para su uso como roca ornamental. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ROJO A., ESBERT R.M., VALDEÓN L., ALONSO F.J., MATEOS F.J. y ORDAZ J. (2006). "La conservación de la piedra del claustro de la catedral de Oviedo". *Loggia*, 19: 96-107.

2007

**ALONSO F.J., ESBERT R.M., ORDAZ J., VALDEÓN L., ROJO A. y MATEOS F.J. (2007). "El claustro de la catedral de Oviedo: conservación de la piedra". En: *Ciencia, Tecnología y Sociedad para una Conservación Sostenible del Patrimonio Pétreo*. Restauradores sin fronteras y CSIC-UCM, Madrid, 13-21.

**ALONSO F.J., VÁZQUEZ P., ESBERT R.M. y ORDAZ J. (2007). "Influence of measuring conditions on roughness parameters of ornamental rock". En: *Preservation of Natural Stone and Rock Weathering*, Int. Workshop Preservation of Natural Stone and Rock Weathering, Lisboa/Madrid. Taylor & Francis, 13-16.

**ESBERT, R.M. (2007). "Alteración de rocas graníticas utilizadas en edificación. (Alteration of granite stone used in building construction)". *Materiales de Construcción (CSIC)*, 57 (288): 77-89.

**ESBERT R.M. (2007). "Una aproximación a la conservación de la piedra en España en los últimos 25 años". En: *La conservación infalible: de la teoría a la realidad*, GEIIC, conferencia inaugural. III Cong. Grupo Español del IIC, Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2007). *Estudio del deterioro del arco de Carlos III (La Cavada, Cantabria). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2007). *Palau de la Música de Barcelona. IV Permeabilidad al vapor de agua de las posibles pinturas a aplicar en la fachada. V Utilización de veladuras a base de pigmentos minerales a aplicar en la fachada. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2007). *Estudio del deterioro del deterioro de la piedra de las fachadas y capilla del palacio de Sobrellano (Comillas). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**GROSSI C.M., ALONSO F.J., ESBERT R.M. y ROJO A. (2007). "Effect of laser cleaning on granite color". *Color Research and Application*, 32: 152-159.

**GROSSI C.M., BENAVENTE D., ESBERT R.M., ALONSO F.J., BRIMBLECOMBE P. y GARCÍA DEL CURA M.A. (2007). "Studies of colour changes by laser irradiation of reddish building limestone by X-ray photoelectron spectroscopy". En: *LACONA VII*, Int. Conf. Lasers in the Conservation of Artworks, (CSIC). Madrid, 129.

**GROSSI C.M., BRIMBLECOMBE P., ESBERT R.M. y ALONSO F.J. (2007). "Color changes in architectural limestones from pollution and cleaning". *Color Research and Application*, 32: 320-331.

VÁZQUEZ, P. (2007). *Efectos de la cristalización de sulfato sódico en granitos ornamentales. Trabajo de investigación*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**VÁZQUEZ P., LUQUE A., ALONSO F.J., ORDAZ J. y SEBASTIÁN E. (2007). "Diferencias de rugosidad en granitos y mármoles pulidos". *Macla* 7, XXVII. Reunión Sociedad Española de Mineralogía, Jaén, 99.

2008

ALONSO F.J. et al. (2008). *Oviedo Redondo. Estudio petrográfico de rocas. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ALONSO F.J. et al. (2008). *Oviedo Redondo. Estudio petrográfico de morteros. I Santa Ana, Cimadevilla y Rúa. II Catedral, San Juan. III Museo arqueológico. IV Ayuntamiento, Universidad, Jovellanos, Lillo, Colloto. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ALONSO F.J. et al. (2008). *Oviedo Redondo. Estudio petrográfico de rocas y morteros. Glosario, metodología y protocolo de muestreo. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ALONSO F.J., VÁZQUEZ P., ESBERT R.M. y ORDAZ J. (2008) "Durabilidad de granitos ornamentales: valoración de los daños inducidos por el ensayo de cristalización de sales (Ornamental granite durability: evaluation of damage caused by salt crystallization test)". *Materiales de Construcción* (CSIC), 58: 191-201.

**ESBERT R.M., ALONSO F.J. y ORDAZ J. (2008). "La petrofísica en la interpretación del deterioro y la conservación de la piedra de edificación". *Trabajos de Geología*, 28: 87-95.

ESBERT R.M. et al. (2008). *Pruebas de laboratorio para evaluar la durabilidad de dos rocas ornamentales a utilizar en la Sagrada Familia (Barcelona). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M., MATEOS F., ORDAZ J. y ALONSO F.J. (2008). "Estudios previos a la intervención en las fachadas del Palau de la Música Catalana (Barcelona)". *IX Cong. Int. Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación*, Sevilla, 425-430.

ROJO A., MATEOS F.J. y VALDEÓN L. (2008). "Consolidation of granite building stones used in continental climates: San Juan de los Reyes Church in Toledo, Spain". En: Delgado J. and Mumoso J.M. (Eds.), *Stone consolidation in cultural heritage: research and practice*, Int. Symp. Stone consolidation in cultural heritage, Lisboa, 213-222.

VÁZQUEZ P., ESBERT R.M., ALONSO F.J. y ORDAZ J. (2008). "Evaluation of damage salt crystallization in granitic building stones". V-I, *11th. Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Torun, 325-331.

2009

**ALONSO F.J., BUSTAMANTE R., DÍAZ C., MONJO J. y SALTO I. (2009). "Glosario de morteros". *ReCoPaR* (revista electrónica), 6:

33-40.

ALONSO F.J. et al. (2009). *Análisis de materiales cerámicos constructivos de yacimientos romanos. I Hornos La Venta del Gallo, Cayés (Llanera). II Hornos PK 15 Veranes (Gijón). III Villa romana de Priañes, Nora (Oviedo). IV Necrópolis romana de Paredes (Siero). Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ALONSO F.J. et al. (2009). *Mortero romano. Casas del Puente, Salas. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ALONSO F.J. et al. (2009). *Cerámica vidriada. Torre Gascona, Oviedo. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

CARRIZO L. (2009). *Caracterización y alteración de la piedra de la fachada de la iglesia de los Padres Franciscanos de Avilés. Propuesta de conservación*. Tesis de máster, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT R.M. et al. (2009). *El deterioro de la piedra de las fachadas y capilla del palacio de Sobrellano (Comillas). Sugerencias de actuaciones urgentes. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

KOVÁCS T. (2009). *Durability of crystalline monumental Stone in terms of their petrophysical characteristics*. Tesis doctoral, PhD Thesis, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo/ Universidad de Bolonia.

**REQUEJO O., CALLEJA S. y ALONSO F.J. (2009). "Intercambios comerciales en el Arco Atlántico: Producciones cerámicas francesas (siglos XIII-XV) en yacimientos asturianos: Torre Gascona de Oviedo y Palacio Camposagrado de Avilés (Principado de Asturias)". En: *Historia y arqueología en el litoral del Arco Atlántico. I Symp. Int. Gentes del Mar*, Luanco.

**REQUEJO O., JIMÉNEZ M. y ALONSO F.J. (2009). "La iglesia de San Miguel de Lillo, Oviedo. Obras de conservación y actuación arqueológica (2005-2006)". En: *Excavaciones Arqueológicas en Asturias 2003-2006* (Principado de Asturias) 338-346.

2010

**ALONSO F.J. (2010). *La porosidad como propiedad física: Densidad y porosidad. Documento interno*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ALONSO F.J. et al. (2010). *Análisis de materiales cerámicos constructivos de yacimientos romanos. Conclusiones. Informe de proyecto*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ALONSO F.J., REQUEJO O. FERNÁNDEZ-CRESPO M. y CARRIZO L. (2010). "Caracterización petrográfica de morteros del conjunto medieval de la ciudad de Oviedo". *Trabajos de Geología*, 30: 337-349.

ÁLVAREZ E.M. (2010). *Caracterización físico-mecánica y alterabilidad de los materiales pétreos empleados en la construcción de la catedral de Santa María de Astorga (León)*. Tesis de máster, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT et al. (2010). *Estudios previos de los materiales de las fachadas del edificio de la Biblioteca Nacional y el Museo Arqueológico Nacional*. Informe de proyecto, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ESBERT et al. (2010). *Análisis petrológico del deterioro y conservación de las fachadas del Palacio de Sobrellano (Comillas)*. Informe de proyecto, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**GÓMEZ-HERAS M., VÁZQUEZ P., FORT R., CARRIZO L. y ALONSO F.J. (2010). "Effects of high temperatures in building granites: Micro-cracking patterns and ultrasound velocity attenuation". *XIX Cong. of the Carpathian Balkan Geological Association*, Tesalónica.

**LUQUE A., VÁZQUEZ P., ARIZZI A., CULTRONE G., SEBASTIÁN E. y ALONSO F.J. (2010). "Cambios de permeabilidad observados en mármoles tratados térmicamente". *Macla (SEM)* 13, XXX Reunión Sociedad Española de Mineralogía, Madrid 139-140.

SUAREZ DEL RÍO L.M., RUIZ DE ARGANDOÑA V.G., CALLEJA L., RODRÍGUEZ-REY A., GROSSI C.M. y MONTOTO M. (2010). "Acoustic emission monitoring of the cathedral of Palma de Mallorca (Spain)". En: Bostenaru-Dan M., Prikyl R. y Török (Eds), *Material, technologies and practice in historic heritage structures*, Springer, 351-365.

VÁZQUEZ P. (2010). *Granitos ornamentales: Caracterización, durabilidad y sugerencias de uso*. Tesis doctoral, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**VÁZQUEZ P. y ALONSO F.J. (2010). "SO₂ exposure effect in monumental granitic stones". *The 20th General Meeting of the International Mineralogical Association*, Budapest.

*VÁZQUEZ P., ALONSO F.J., ESBERT R.M. y ORDAZ J. (2010). "Ornamental granites: Relationships between P-wave velocity, water capillary absorption and crack network". *Construction and Building Materials*, 24: 2536-2541.

**VÁZQUEZ P., CARRIZO L., FERNÁNDEZ M. y ALONSO F.J. (2010). "Cambios en la superficie de rocas sedimentarias tras su exposición a HNO₃". *Macla (SEM)* 13, XXX Reunión Sociedad Española de Mineralogía, Madrid, 219-220.

2011

ACUÑA M. (2011). *Cambios en la superficie de granitos ornamentales sometidos a diferentes temperaturas*. Tesis de máster, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

ALONSO L. (2011). *Anisotropía en el comportamiento hídrico de las rocas sedimentarias*. Tesis de máster, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ALONSO F.J. (2011). *El agua en los materiales rocosos*. Documento interno, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**CARRIZO L., ALONSO F.J. y ESBERT R.M. (2011). "Piedras de edificación: canteras, petrografía y deterioro. Fachada de la iglesia de los Padres Franciscanos de Avilés (Asturias)". *Boletín Geológico y Minero (IGME)*, 122-1: 37-48.

FERNÁNDEZ M. (2011). *Comportamiento hídrico de areniscas ornamentales*. Tesis de máster, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

MATEOS F.J. (2011). *Petrofísica de la roca matriz del acuífero costero de Campos (Mallorca): Funcionalidad hidráulica de su porosidad*. Tesis doctoral, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**MOLINA E., CULTRONE G., SEBASTIÁN E., ALONSO F.J., CARRIZO L., GISBERT J. y BUJ O. (2011). "The pore system of sedimentary rocks as key factor in the durability of building materials". *Engineering Geology*, 118: 110-121.

ROJO A., ESBERT R.M., VALDEÓN L., ALONSO F.J., MATEOS F. y ORDAZ J. (2011). "Limpieza láser en el mármol: Pruebas de limpieza láser en el mármol de la biblioteca nacional y museo arqueológico nacional". *Restaurar* (Revista Internacional del Patrimonio Histórico), 10: 34-39.

VÁZQUEZ P. y ALONSO F.J. (2011). "Weathering of dimensional granitic stone used as cladding". In: Matthew J. Colon (Ed), *Weathering: types, processes and effects*. Nova Sci. Publ, 167-188.

**VÁZQUEZ P., SIEGSMUND S. y ALONSO F.J. (2011). "Bowling of dimensional granitic stones". *Environ Earth Sci*, 63 (7-8): 1603-1612.

2012

**ALONSO F.J., ALONSO L. y VÁZQUEZ P. (2012). "Propiedades hídricas y anisotropía en rocas sedimentarias porosas". *Geotemas (SGE)* 13, VIII Congreso Geológico de España. Oviedo, 249.

**BUSTAMANTE R. y ALONSO F.J. (2012). "Normalización del análisis de la piedra y conservación del patrimonio cultural". *Geotemas (SGE)* 13, VIII Congreso Geológico de España. Oviedo, 252.

COTO I. (2012). *Inventario y caracterización de los materiales pétreos utilizados en el patrimonio monumental del centro de Asturias*. Tesis de máster, Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.

PÉREZ A. (2012). *Caracterización petrofísica de rocas de facies Jurásico-Cretácicas, sus posibilidades para almacenamiento de CO₂*. Tesis de máster, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ORDAZ J., ALONSO F.J., VALDEÓN L. y PRENDES N. (2012). "Rosa María Eibert Alemany. In memoriam. (1942-2011)". *Materiales de Construcción (CSIC)*, 62 (305): 38.

2013

**ALONSO F.J. (2013). *Durabilidad de materiales rocosos. Documento interno*, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

**ALONSO F.J., LOZANO A., DEL COZ J.J. y NAVARRO A. (2013). "Los ENS'S y ED'S aplicados a la patología de humedades de fachadas", *Jornadas Internacionales de Investigación en la Construcción*, Eduardo Torroja, Madrid.

**ALONSO F.J., ORDAZ J. y Esbert R.M. (2013). "Indicadores del deterioro de los materiales pétreos de edificación. Clasificación y análisis de los daños". En: Ana Laborde (Coord.). *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (IPCE), Madrid, 109-207.

**FERNÁNDEZ-IRIGOYEN J., RUIZ-FERNÁNDEZ J. GARCÍA C. y ALONSO F.J. (2013). "Explotación de los recursos líticos durante el Paleolítico antiguo en el oriente de Asturias". En: Baena R., Fernández J.J. y Guerrero I. (Eds.), *El Cuaternario Ibérico: Investigación en el S. XXI*, AEQUA Sevilla, 300-305. VIII Reunión del Cuaternario

Ibérico, Sevilla.

**MOLINA E., CULTRONE G., SEBASTIÁN E. y ALONSO F.J. (2013). "Evaluation of stone durability using a combination of ultrasound, mechanical and accelerates ageing test". *Journal of Geophysics and Engineering*, 10: 035003.

*VÁZQUEZ P., ALONSO F.J., CARRIZO L., MOLINA E., CULTRONE G., BLANCO M. y ZAMORA I. (2013). "Evaluation of the petro-physical properties of sedimentary building stones in order to establish quality criteria". *Construction and Building Materials*, 41: 868-878.

**VÁZQUEZ P., LUQUE A., ALONSO F.J. y GROSSI C. (2013). "Surface changes on crystalline stones due to salt crystallization". *Environmental Earth Sciences*, 69 (4): 1237-1248.

* Documento digital.

**Documento digital de libre acceso en la red.



Fco. Javier Alonso Rodríguez

Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo

jalonso@geol.uniovi.es

Licenciado y doctor en Geología por la Universidad de Oviedo. Profesor Titular de Petrología y Geoquímica en el Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo. Investigador en los siguientes temas: caracterización e interpretación petrofísica de materiales rocosos, alteración y durabilidad de rocas, deterioro y conservación de materiales pétreos usados en edificación, en particular en el patrimonio monumental. Miembro del "Grupo de Alteración" del Departamento Geología de Oviedo desde su formación en los años 80. He colaborado en diferentes proyectos: "Protección de rocas monumentales emplazadas en ambientes urbanos", "Efectos de la limpieza láser sobre la piedra monumental", "Estudio de las rocas utilizadas en los monumentos asturianos", y dirigido: "Durabilidad de rocas ornamentales cristalinas utilizadas en revestimientos exteriores"; "Acabado superficial y durabilidad de rocas porosas empleadas con fines ornamentales", entre otros. He participado en trabajos de intervención en edificaciones monumentales: "Fachada de la iglesia de San Isidoro (Oviedo)", "Teatro Victoria Eugenia (San Sebastián)", "Fachadas del Eixample de Barcelona", "Iglesia de Sta. María de Castro Urdiales", "Claustro de la Catedral de Oviedo", "Palau de la Música Catalana", "Casa de la Rúa (Oviedo)", "Palacio de Sobrellano en Comillas", etc. Evaluador de proyectos de investigación de: ANEPA, Agencia para la Calidad del Sistema Universitario de Castilla y León, Agencia Andaluza de Evaluación de la Calidad y Acreditación Universitaria. Miembro de: "Sociedad Geológica de España", "Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra", "International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC)", "AENOR, vocal en el Subcomite AEN/CTN 41/SC 8: Conservación, restauración y rehabilitación de edificios".



Luis Valdeón

GEA asesoría geológica
correo@geaasesoriageologica.com

Luis Valdeón ha desarrollado toda su carrera profesional en el ámbito de la conservación de patrimonio histórico-arqueológico y evaluación de materiales pétreos, combinando una completa base de formación científico-técnica con una dilatada experiencia profesional a pie de obra. Tras doctorarse en Geología en la Universidad de Oviedo en 1989, realizó estudios postdoctorales en el Imperial College de Londres (1989-2001) donde se especializó en la aplicación de técnicas no destructivas a materiales pétreos. En estos ámbitos posee más de cuarenta publicaciones en congresos y revistas nacionales e internacionales. Ha realizado cientos de trabajos en intervenciones de patrimonio monumental o estudios previos a las mismas, investigando asimismo el comportamiento de materiales constructivos y ornamentales en, por ejemplo, excavaciones arqueológicas, como las del yacimiento de Contrebia Leucade (La Rioja), o sobre bienes declarados patrimonio de la Humanidad, como el prerrománico asturiano (Monumentos de Oviedo y del Reino de Asturias), o Monasterio de Yuso (La Rioja), así como en catedrales, capillas y monumentos civiles de todo el país.

Desde 2001 es socio fundador, de la empresa GEA asesoría geológica especializada en estudios sobre Conservación y Restauración de Patrimonio y la caracterización de todo tipo de materiales. Es miembro activo del Grupo Español del International Institute for Conservation (GE-IIC) en donde ha formado parte de los comités científicos del grupo de trabajo "piedra".



Jorge Ordaz

Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad de Barcelona se doctoró en la Universidad de Oviedo en 1973. Ha realizado su actividad docente y profesional como profesor en esta última universidad hasta su jubilación en 2011. Su campo de trabajo se ha centrado en el estudio sobre caracterización, deterioro, durabilidad y conservación de los materiales rocosos, en especial de las piedras de los edificios y monumentos. En este sentido ha participado en la mayoría de proyectos e informes llevados a cabo por el "Grupo de Alteración" del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, del que ha sido miembro desde su creación. Ha realizado también estudios sobre la historia de la geología en España. Ha dirigido tesinas y tesis doctorales y es autor, solo o en colaboración, de más de un centenar de publicaciones, entre libros y artículos en revistas nacionales e internacionales, así como de numerosas comunicaciones a congresos. Es miembro del Instituto Feijoo de Estudios del Siglo XVIII y del International Committee on the History of Geological Sciences (INHIGEO)

Jornada sobre conservación de patrimonio

Rosa M^a Esbert *In Memoriam*

16 de mayo de 2013



Los estudios complementarios sobre la Cámara Santa de la catedral de Oviedo.

Cosme Cuenca y Jorge Hevia

Resumen: Los estudios complementarios se desarrollan como una completa documentación gráfica, en la que se incluyen los textos alusivos a cada tema, a fin de hacer posible, al final del proceso restauratorio, una exposición divulgativa sobre la intervención realizada. Tras la ejecución de la 1ª Fase de las obras de la Cámara Santa (la correspondiente a la envolvente exterior, a la cripta de Santa Leocadia, a la Antecámara y a las portadas de acceso), y antes de acometer las relativas a la 2ª Fase (las actuaciones pendientes del exterior y las relativas al interior de la Cámara Santa y a la nueva forma de exposición de sus contenidos), es cuando se llevan a cabo estos estudios complementarios, junto con los trabajos pluridisciplinares de los petrólogos Araceli Rojo, Luis Valdeón y Félix Mateos, y los restauradores Luí Suáñez Saro y Pablo Klett Fernández.

Palabras clave: estudios complementarios, cámara santa, catedral oviedo, apostolado, restauración, limpieza y tratamiento

Complementary studies of the Cámara Santa of the Oviedo Cathedral.

Abstract: Complementary studies are developed as a complete graphical documentation in which the related texts for each topic are included, in order to make possible, at the end of restoration process, an informative presentation of the intervention. Following the implementation of the 1st phase of the works of Cámara Santa (corresponding to the building envelope, the crypt of Santa Leocadia, to the Antechamber and the doorways), and before embarking on the 2nd phase (exterior outstanding works, the interior of Cámara Santa and the new form of exposure of its contents), is when we conduct these additional studies along with multidisciplinary work of petrologists Araceli Rojo, Luis Valdeón and Felix Mateos, and restorers Luis Suáñez Saro and Pablo Klett Fernández.

Key words: complementary studies, cámara santa, catedral oviedo, postolote, restoration, cleaning and treatment

Antecedentes

Los estudios complementarios histórico-constructivo-arquitectónicos, sobre la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo, se realizaron por encargo de la Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno del Principado de Asturias, siguiendo las recomendaciones del instituto del Patrimonio Cultural de España y con el fin de completar los ya realizados anteriormente con motivo de la redacción del "Proyecto básico y de ejecución de obras de restauración en la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo", de junio de 2011. Simultáneamente también se coordinaron los trabajos auxiliares en los que participaron los petrólogos Araceli Rojo, Luis Valdeón y Félix Mateos (GEA, Asesoría Geológica), y los restauradores Luí Suáñez Saro y Pablo Klett Fernández, que se concretaron en los siguientes estudios:

- Estudio higrotermométrico de la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo, de Félix J. Mateos.
- Estudio de materiales del Apostolado de la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo, de Araceli Rojo.
- Las alteraciones en la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo, de Luis Valdeón.
- Análisis de los tratamientos y sistemas de limpieza sobre los materiales de la Cámara Santa, de Luí Suáñez Saro.

Los estudios complementarios se desarrollan como una completa documentación gráfica, en la que se incluyen los textos alusivos a cada tema, a fin de hacer posible, al final del proceso restauratorio, una exposición divulgativa so-

bre la intervención realizada. Ya se ha concluido la 1ª Fase de las obras de la Cámara Santa (la correspondiente a la envolvente exterior, a la cripta de Santa Leocadia, a la Antecámara y a las portadas de acceso) y se ha confeccionado un panel divulgativo de las mismas que se ha colocado en la girola de la catedral. Tras la ejecución de estas obras, y antes de acometer las relativas a la 2ª Fase (las actuaciones pendientes del exterior y las relativas al interior de la Cámara Santa y a la nueva forma de exposición de sus contenidos), es cuando se llevan a cabo estos estudios complementarios por el equipo técnico pluridisciplinar aludido.

En muestra de agradecimiento queremos dejar constancia de la generosa aportación de fotografías históricas que nos han facilitado D. Alfonso Suárez Saro, D. Pedro Díaz Gómez, la Hermandad de Defensores de Oviedo y el Museo de Bellas Artes de Asturias.

Para una mejor identificación de los elementos de la Cámara Santa se dividen los seis elementos verticales de sustentación de los arcos fajones, que contienen el apostolado, en:

COLUMNA

- Ábaco o cimacio, situado al nivel de la imposta.
- Capitel geminado.
- Collarino geminado.
- Fustes pareados, conteniendo el apostolado.
- Base geminada.

PEDESTAL.

Y, en función de su posición en planta, los seis elementos de apoyo se agrupan en:

- Costado norte (lado del evangelio): A, B y C.
- Costado sur (lado de la epístola): D, E y F.

Iconográficamente tienen la siguiente correspondencia:

- A: San Simón y San Judas Tadeo
- B: Santiago y San Juan (Hijos de Zebedeo).
- C: San Andrés y San Mateo.
- D: Santiago el Menor y San Felipe.
- E: San Pedro y San Pablo (Príncipes de los Apóstoles).
- F: Santo Tomás y San Bartolomé.

En base a esta identificación de elementos, que se adopta por todo el equipo pluridisciplinar, se desarrollaron los planos-documentos gráficos del estudio complementario que a continuación enumeramos:

PLANOS-DOCUMENTOS.

Nº 1 El Apostolado de la Cámara Santa. Costado norte

(A-B-C) y costado sur (D-E-F).

Disposición, pedestales y eje jerárquico.

Leyenda del pedestal común, eje jerárquico transversal, sistema de identificación y leyenda con los santorales apostólicos.

Nº 2 El Apostolado de la Cámara Santa. Costado norte (A-B-C) y costado sur (D-E-F).

Despiece pétreo de pedestales y columnas.

Despiece de los distintos elementos pétreos, marcas de cantero, y herramientas de cantero utilizadas durante el románico.

Nº 3 El Apostolado de la Cámara Santa. Costado norte (A-B-C) y costado sur (D-E-F).

Repertorio iconográfico de los elementos de las columnas.

Repertorio iconográfico detallado de ábacos, capiteles, collarinos, fustes y basas.

Nº 4 El Apostolado de la Cámara Santa. Costado norte (A-B-C) y costado sur (D-E-F).

Repertorio iconográfico de los capiteles de las columnillas de los pedestales.

Repertorio iconográfico detallado y paralelismos con otros capiteles románicos.

Nº 5 El Apostolado de la Cámara Santa. Costado norte (A-B-C).

Detalle de ábacos, capiteles, cabezas y basas de las columnas.

Detalle a escala 1/5 de los elementos de las columnas del costado norte.

Nº 6 El Apostolado de la Cámara Santa. Costado sur (D-E-F).

Detalle de los ábacos, capiteles, cabezas y basas de las columnas.

Detalle a escala 1/5 de los elementos de las columnas del costado sur.

Nº 7 Cabezas del apostolado. Costado norte (A-B-C).

- | | | |
|-------|---|---|
| | Comparativo años 1941–2012. | Estado actual y marcas de cantero. |
| | Evolución de las cabezas restauradas en 71 años. | Registro fotográfico detallado del estado actual tanto de los frontales como de los laterales. |
| Nº 8 | Cabezas del apostolado. Costado sur (D-E-F).
Comparativo años 1941–2012.
Evolución de las cabezas restauradas en 71 años. Ojos de Santo Tomás: iris con emplaste de azabache, pupilas realizadas con zafiros azules. | Nº 14 Capiteles y ábacos del apostolado. Costado norte (A-B-C).
La materialidad perdida en 1934. Comparativo 1918–1941.
Registro fotográfico comparativo entre los años 1918 y 1941, grafiando sobre el dibujo la materialidad perdida en la voladura de 1934 y que no se repuso. |
| Nº 9 | Cabezas del calvario coetáneo al apostolado.
Repertorio iconográfico de las tres efigies. Comparativo 1918–2012.
Repertorio iconográfico detallado; estados comparativos entre los años 1918 (antes de la voladura de 1934) y 2012. | Nº 15 Capiteles y ábacos del apostolado. Costado sur (D-E-F).
La materialidad perdida en 1934. Comparativo 1918–1941.
Registro fotográfico comparativo entre los años 1918 y 1941, grafiando sobre el dibujo la materialidad perdida en la voladura de 1934 y que no se repuso. |
| Nº 10 | La Cámara Santa de la catedral de Oviedo.
Daños de 1934 y método utilizado en su reconstrucción.
Documentación fotográfica histórica con los daños en general, en el costado norte y el costado sur. Documentación fotográfica histórica con la clasificación y montaje en seco de los restos. Leyenda con los daños en las fábricas y los contenidos. Leyenda con los daños en el calvario. Leyenda con los daños en el apostolado. Leyenda con el método de reconstrucción de los elementos artísticos. | Nº 16 Basas del apostolado. Costado norte (A-B-C).
La materialidad perdida en 1934. Comparativo 1918–1941.
Registro fotográfico comparativo entre los años 1918 y 1941, grafiando sobre el dibujo la materialidad perdida en la voladura de 1934 y que no se repuso. |
| Nº 11 | Columnas del apostolado. Costado norte (A-B-C).
Comparativo años 1918–1941–2012.
Evolución de las columnas del costado norte en 94 años, con referencia a su situación antes de la voladura de 1934. | Nº 17 Basas del apostolado. Costado sur (D-E-F).
La materialidad perdida en 1934. Comparativo 1918–1941.
Registro fotográfico comparativo entre los años 1918 y 1941, grafiando sobre el dibujo la materialidad perdida en la voladura de 1934 y que no se repuso. |
| Nº 12 | Columnas del apostolado. Costado sur (D-E-F).
Comparativo años 1918–1941–2012.
Evolución de las columnas del costado sur en 94 años, con referencia a su situación antes de la voladura de 1934. | Nº 18 El interior de la Cámara Santa. Costado norte.
Estado actual de paramentos.
Inserción en plano a escala 1/25 de ortofotografías de los paramentos entre el apostolado. Foto general del interior hacia el camarín. |
| Nº 13 | Pedestales del apostolado. Costado norte (A-B-C) y costado sur (D-E-F). | Nº 19 El interior de la Cámara Santa. Costado sur. |

- Estado actual de paramentos.
- Inserción en plano a escala 1/25 de ortofotografías de los paramentos entre el apostolado. Foto general del interior hacia la antecámara.
- Nº 20 El interior de la Cámara Santa. Costados este y oeste.
- Estado actual de paramentos.
- Inserción en planos a escala 1/25 de ortofotografías de los paramentos. Foto general de la bóveda.
- Nº 21 El interior de la Cámara Santa.
- Elementos metálicos de hierro, cobre y bronce.
- Situación en planta o alzado de los distintos elementos metálicos de hierro, cobre o bronce, y justificación de su procedencia.
- Nº 22 El Apostolado de la Cámara Santa. Costado norte (A-B-C) y costado sur (D-E-F).
- Mapeo de faltas, adiciones y patologías.
- Mapeo detallado de las reintegraciones de Víctor Hevia Granda en 1939–1942, fracturas por la voladura de 1934, falta de volumen pétreo no reintegrado, morteros industriales añadidos, fragmento de fuste distinto y refuerzos con barras de cobre. Leyenda sobre la eliminación de la pintura al óleo que cubría el apostolado y que fue eliminada por Víctor Hevia en 1919–1920.
- Nº 23 El interior de la Cámara Santa.
- Contenidos artísticos vinculados.
- Cuatro relieves en madera dorada y policromada del s.XVI, de la escuela castellana. Cuatro óleos sobre lienzo oval del s.XIX (1815–1817) de Carlos García Muñiz. Contextualización de los contenidos según dibujo de Jenaro Pérez Villamil de 1846, según grabado de José María Avrial de 1847, y según fotografía de 1886 de Laurent.
- Nº 24 Tesoro de la Cámara Santa.
- Cruces y Caja de las ágatas.
- Fotografías actuales de alta resolución de la Cruz de la Victoria, Cruz de los Ángeles, Caja de las Ágatas y Cristo de Nicodemo, tanto del anverso como del reverso. Textos sintéticos sobre datación, materialidad, peso y dimensiones.
- Nº 25 Tesoro de la Cámara Santa.
- Arquetas de plata.
- Fotografías actuales de alta resolución de la arqueta gótica de San Eulogio de Córdoba y Santa Lucrecia, s.XIV (1305); la arqueta de San Julián y San Serrano, s.XVI; la arqueta barroca de San Vicente abad, de León, s.XVIII (1753); y la arqueta moderna de plata del s.XX (1989). Textos sintéticos sobre datación, materialidad y dimensiones, y foto de la visita del Papa Juan Pablo II en 1989.
- Nº 26 Tesoro de la Cámara Santa.
- Arca Santa.
- Registro fotográfico comparativo entre los años 1918 y 2012. Texto sintético sobre datación, materialidad y dimensiones.
- Nº 27 Reliquias de la Cámara Santa.
- Santo Sudario.
- Fotografías actuales de alta resolución con el anverso y el reverso y foto del marco de plata. Texto con dimensiones del lienzo y el marco de plata que lo contiene.
- Nº 28 El conjunto de la Cámara Santa.
- Posibles elementos divulgativos. Formato pequeño.
- Propuesta de marca libros y postales para renovar las existentes.
- Nº 29 El conjunto de la Cámara Santa.
- Posibles elementos divulgativos. Formato medio.
- Propuesta de un nuevo material gráfico en un tamaño superior al de las postales (DIN A-6). Tamaños doble postal y trípticos en DIN-A4.
- MONTAJES.
- M-1 Cartel del Camino de Santiago.
- Montaje del Salvador y los Apóstoles.
- Comparativo a la misma escala del Colegio Apostólico de la Cámara Santa y el Salvador.
- Texto relativo al romancero medieval francés.
- Alusión al Camino de Santiago español y euro

peo con representación gráfica del "Primer itinerario cultural europeo" declarado en 1987 por el CONSEJO DE EUROPA.

Boceto de cartel para su posible divulgación.

- Modo de salida: Multimodo circular.
- Divergencia: 5 mrad máx.
- Diámetro del foco en salida: 4 mm.
- Duración del impulso: 8ns.

M-2 Planta y sección de la Cámara Santa.

Detalle de paramentos interiores.

Detalle de capiteles y cabezas del apostolado.

Detalle del tesoro y las reliquias.

La limpieza láser se llevó a cabo sobre el apostolado, realizando diferentes catas programando el láser desde energías de 50 mj. a 150 mj. y frecuencias de 5 hz. a 20 hz.

— Para la limpieza de la sillería arquitectónica (constituida por pedestales, recercados de puertas y ventanas y fustes lisos) utilizar el sistema mecánico de proyección con micropartículas de piedra pómez pulverizada, con los siguientes parámetros:

M-3 Columnas del apostolado.

Comparativo 1918 – 1941 – 2012.

- Presión en boquilla de 0,5 a 1,5 bares.
- Distancia a la superficie entre 25 y 40 cm.
- Ángulo respecto a la superficie entre 45 y 60°.
- Pistola M500 con boquilla de 2 mm.

TRÍPTICOS.

T-1 Tríptico del Apostolado de la Cámara Santa.

Costado norte (A-B-C).

— Para la limpieza de los revocos de bóvedas y paramentos utilizar también el sistema mecánico de proyección de micropartículas de piedra pómez pulverizada con los siguientes parámetros:

- Presión en boquilla de 0,5 a 1,5 bares.
- Distancia a la superficie entre 25 y 40 cm.
- Ángulo respecto a la superficie entre 45 y 60°.
- Pistola M500 con boquilla de 5 mm.

T-2 Tríptico del Apostolado de la Cámara Santa.

Costado sur (D-E-F).

— Para la limpieza de las columnas y capiteles altomedievales utilizar un método químico mediante un disolvente universal inocuo tipo White Spirit, aplicado con hisopo de algodón tras el reblandecimiento de la cera superficial con pistola de aire caliente tipo Bosch regulada a 70-80°C.

Propuesta de sistemas de limpieza, integración cromática y protección

Tras los análisis realizados por los petrólogos en relación con las patologías superficiales, humedades, eflorescencias salinas, restos de policromías y pátinas, arenizaciones, disgregaciones, etc., así como con la monitorización de las condiciones ambientales del interior de la Cámara Santa, se han llevado a cabo unos estudios metodológicos sobre las pruebas de limpieza por el restaurador Luís Suárez Saro. Una vez probados los distintos métodos de limpieza, reintegración cromática y protección, (cuyos resultados se reflejan en documento independiente elaborado por los petrólogos y restauradores) se ha llegado a la siguiente conclusión inicial, pendiente aún del resultado de algunos análisis:

— Para la limpieza de la sillería escultórica y decorativa (constituida por ábacos, capiteles, fustes con el apostolado, basas y las cabezas del calvario) utilizar la metodología láser con los siguientes parámetros:

- Longitud de onda: 1064nm.
- Energía máxima de impulso: 150 mJ.
- Frecuencia: 1 – 5 – 10 – 15 – 20 Hz.
- Potencia: 3W.

En cuanto a la integración cromática, sobre piedra, tanto de las escamaciones como de los morteros de restauración que restañaron los daños provocados en octubre de 1934, se probó el buen comportamiento de agua de cal 100 cc., pigmento ocre avana de CTS 3 grs., pigmento giallio ocre de CTS 1 gr., y pigmento nero fumo de CTS 0,5 grs., aplicado exclusivamente sobre las lagunas existentes en la pátina de la piedra y las reintegraciones volumétricas realizadas en la intervención de Víctor Hevia, con pinceles de pelo de marta del nº 0 – 1 – 3. También se pueden utilizar pigmentaciones de acuarela de la casa W&N (Windsor and Newton).

Similar técnica de integración cromática se puede utilizar en los revocos de reposición para que no difieran tanto de los originales que pervivieron a la voladura de la Cámara Santa, empleándose en este caso pigmentos minerales naturales y fotoestables de la casa Keim.

Como capas de protección se probaron:

- Tecnadis PRS EFFECT, hidrofugante basado en nanopartículas de alta repelencia al agua que permite la transpirabilidad del material y no altera el brillo, tono, color y textura

de la superficie tratada. No reacciona con el sustrato y es altamente resistente frente a los rayos UVA.

• **Tecnadis PRS PERFORMANCE**, hidrofugante y antimanchas basado en nanopartículas con excelentes propiedades de hidrofobicidad y oleofobicidad que permite la transpirabilidad del material y no altera el brillo, tono, color y textura de la superficie tratada. No reacciona con el sustrato y es

altamente resistente a los rayos UVA y a la abrasión.

Ambos se aplicaron por separado con pulverizador y brocha en elementos pétreos, revocos y morteros.

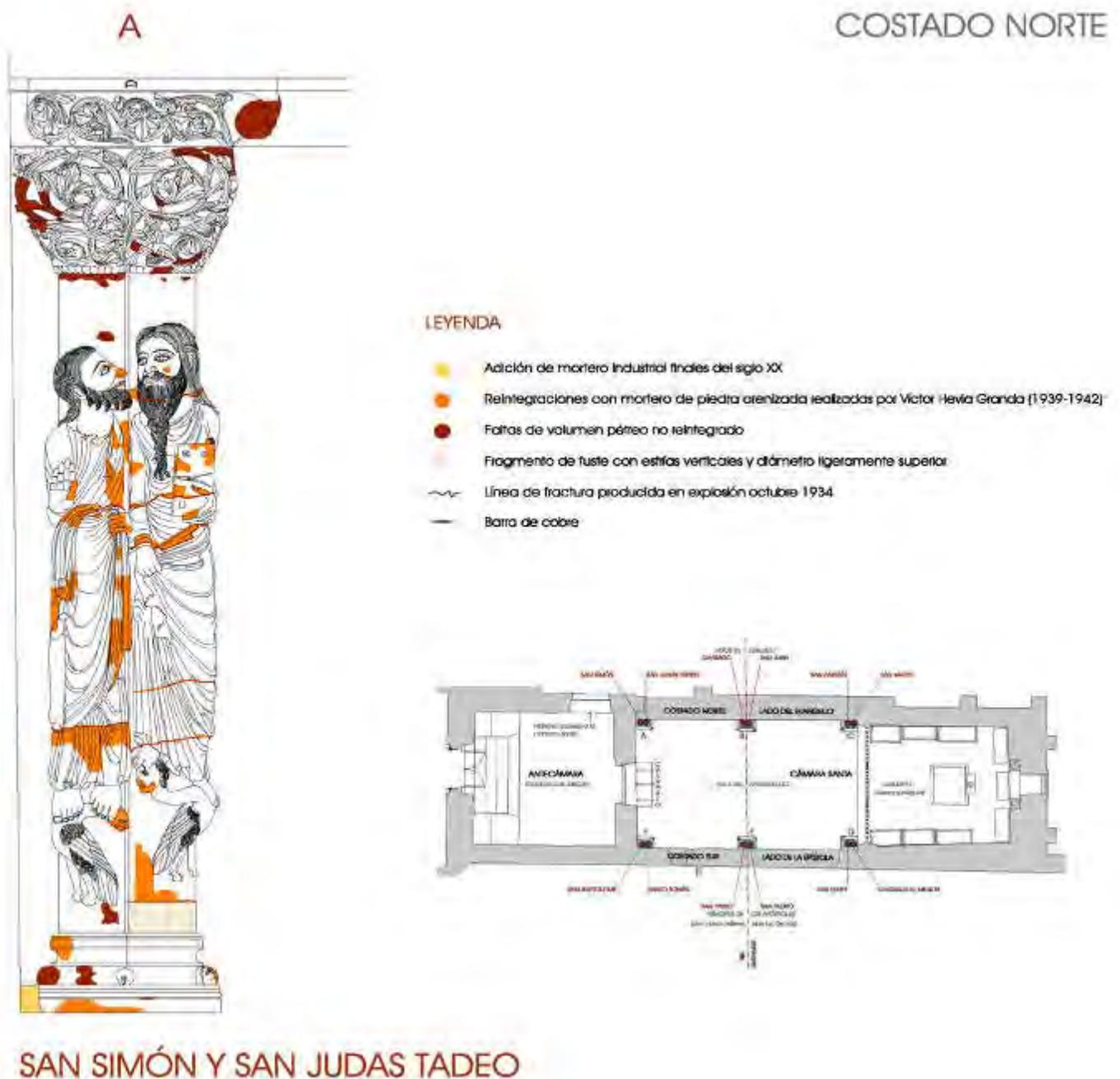


Figura 1: Mapeo de faltas, adiciones y patologías del Apostolado de la Cámara Santa: San Simón y San Judas Tadeo.

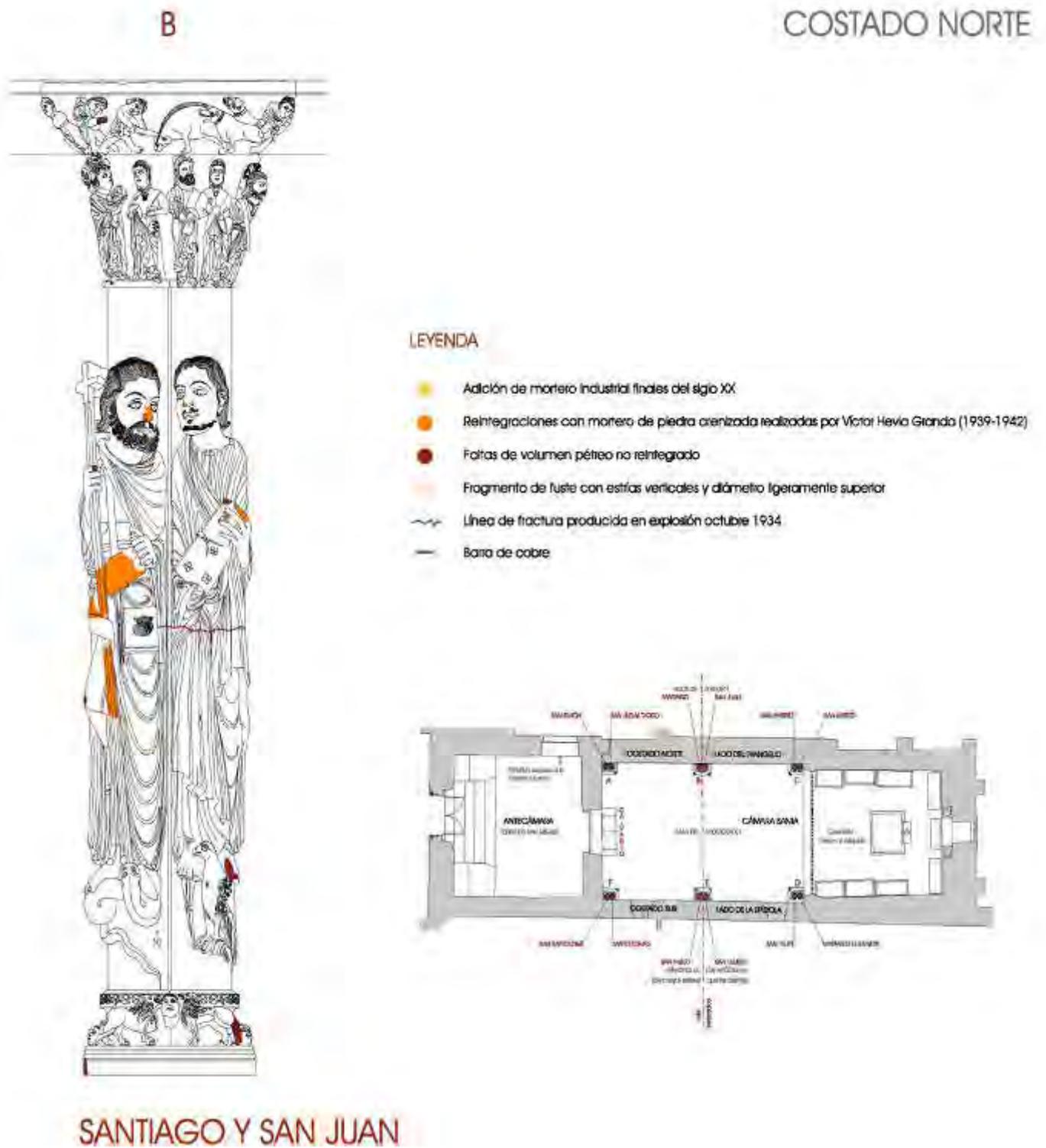


Figura 2: Mapeo de faltas, adiciones y patologías del Apostolado de la Cámara Santa: Santiago y San Juan..



COSTADO NORTE

LEYENDA

- Adición de mortero Industrial finales del siglo XX
- Reintegraciones con mortero de piedra arenizada realizadas por Víctor Hevia Granda (1939-1942)
- Faltas de volumen pétreo no reintegrado
- Fragmento de fuste con estílas verticales y diámetro ligeramente superior
- ~ Línea de fractura producida en explosión octubre 1934
- Barro de cobre



SAN ANDRÉS Y SAN MATEO

Figura 3: Mapeo de faltas, adiciones y patologías del Apostolado de la Cámara Santa: San Andrés y San Mateo.

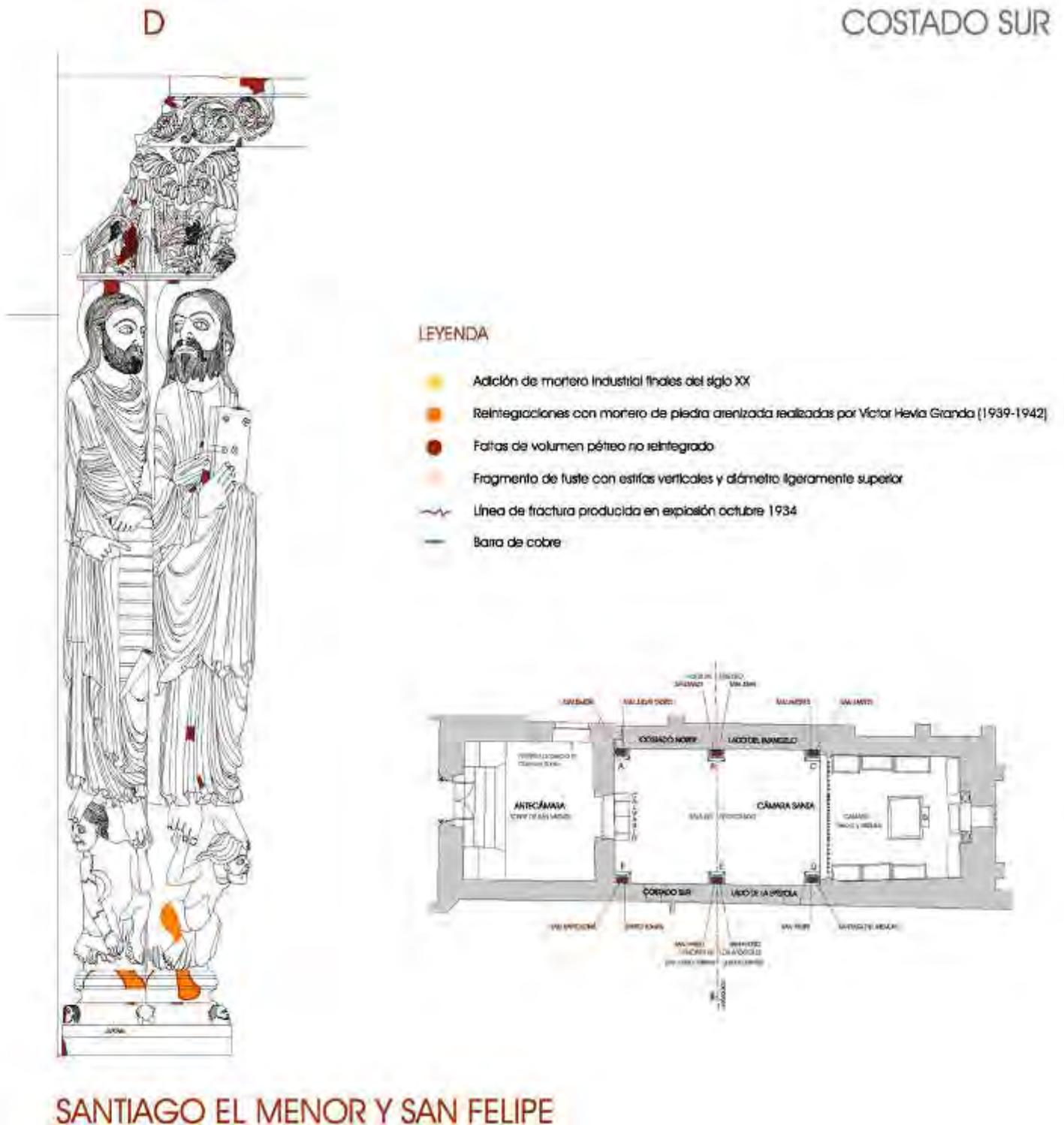


Figura 4: Mapeo de faltas, adiciones y patologías del Apostalado de la Cámara Santa: Santiago El Menor y San Felipe.



COSTADO SUR

LEYENDA

- Adición de mortero industrial finales del siglo XX
- Reintegraciones con mortero de piedra arenada realizadas por Víctor Havia Granda (1939-1942)
- Falta de volumen pétreo no reintegrado
- Fragmento de fuste con estrías verticales y diámetro ligeramente superior
- ~ Línea de fractura producida en explosión octubre 1934
- Barra de cobre



SAN PEDRO Y SAN PABLO

Figura 5: Mapeo de faltas, adiciones y patologías del Apostolado de la Cámara Santa: San Pedro y San Pablo.

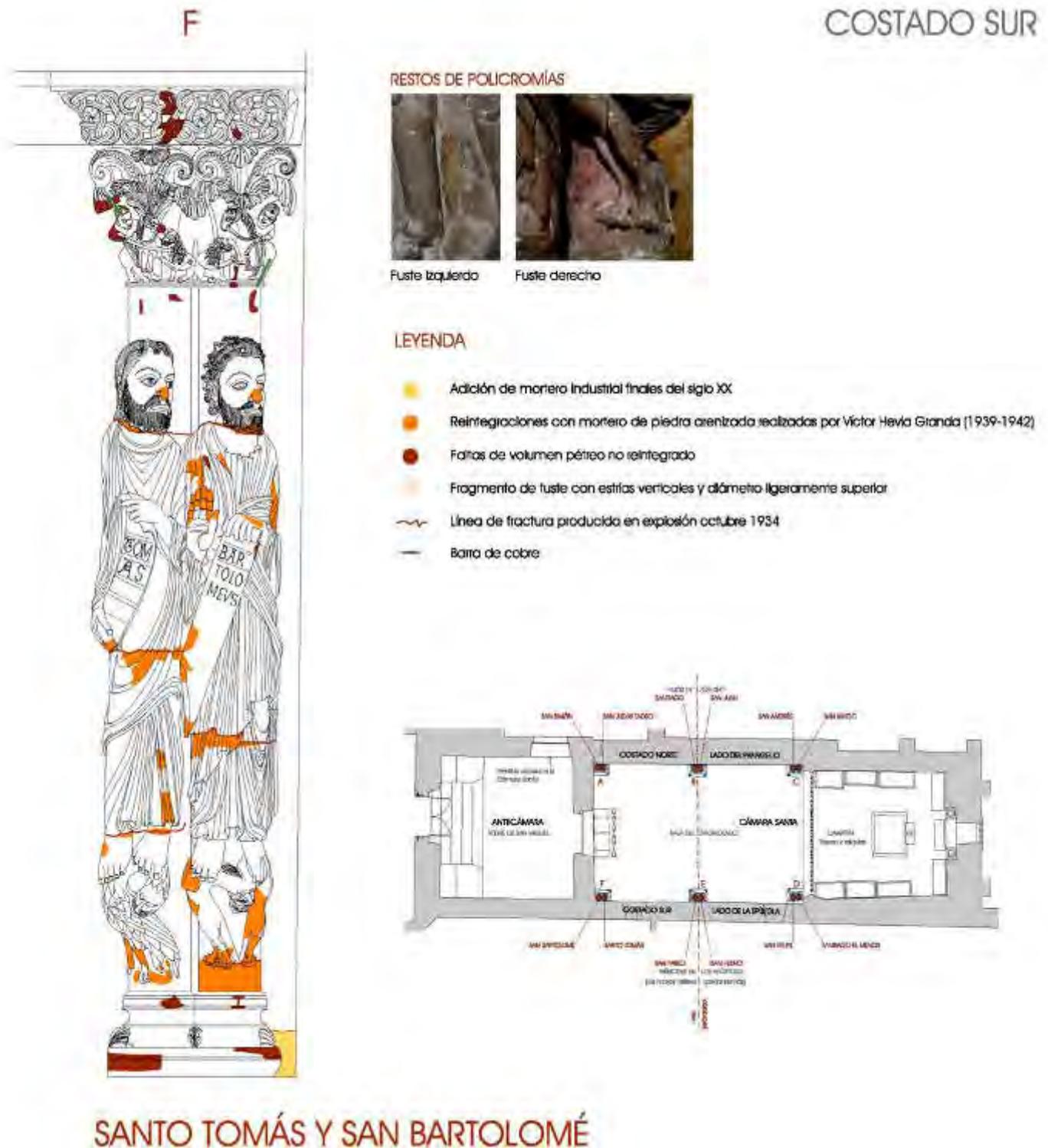


Figura 6: Mapeo de faltas, adiciones y patologías del Apostolado de la Cámara Santa: Santo Tomás y San Bartolomé.

*Todas las imágenes son propiedad de los autores del texto y fueron realizadas por encargo de la Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno del Principado de Asturias.

**Cosme Cuenca**

Arquitectos Cosme Cuenca y Jorge Hevia S.L.P.

C/ Marqués de San Esteban 1, 5º - 33206 Gijón (Asturias). 985 347 357;

estudio@cuencahevia.com; www.cuencahevia.com

**Jorge Hevia**

Arquitectos Cosme Cuenca y Jorge Hevia S.L.P.

C/ Marqués de San Esteban 1, 5º - 33206 Gijón (Asturias) 985 347 357;

estudio@cuencahevia.com; www.cuencahevia.com

1974- 1975 Titulados por la E.T.S. de Arquitectura de Sevilla. A partir de 1976 inician su actividad profesional, conjuntamente, hasta la fecha, en su estudio de Gijón, bajo la sociedad: Arquitectos Cosme Cuenca y Jorge Hevia S.L.P.

En más de 35 años de profesión han realizado trabajos muy diversos y han colaborado con técnicos y especialistas de diferentes disciplinas. La vivienda, tanto de promoción privada como pública, y los equipamientos de índole cultural, docente, administrativa, hotelera o religiosa han sido frecuente objeto de su trabajo.

También han realizado intervenciones de rehabilitación o restauración en muy diversos ejemplos del patrimonio edificado asturiano, sin excluir planes directores como el de la Catedral de Oviedo o planes especiales de protección de conjuntos como el del Real Sitio de Covadonga, de los que son autores. Su principal actividad docente fue la de dirigir los ocho Cursos de Extensión Universitaria de la Universidad de Oviedo dedicados a la Intervención en el Patrimonio Arquitectónico Asturiano (1993 – 2000), habiendo participado, recientemente, en el primer curso de Especialista impartido en Asturias sobre el mismo tema por la Universidad Politécnica de Madrid junto con la Universidad de Oviedo.

Jornada sobre conservación de patrimonio Rosa M^a Esbert *In Memoriam* 16 de mayo de 2013



La alteración en la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo

Luis Valdeón Menéndez

Resumen: El estado de alteración que se encontró en el interior de la Cámara Santa al iniciar esta serie de estudios estaba netamente influenciado por las dramáticas vicisitudes del pasado siglo que se superpusieron a la evolución natural de los materiales en el medio ambiente característico del interior de este pequeño recinto. En efecto, hay que destacar los daños producidos por la deflagración de octubre de 1934 que afectaron, desde la estructura y cubiertas que se vinieron abajo, hasta la integridad de las excepcionales piezas escultóricas románicas y demás ornamentos pétreos, así como a extensos fragmentos de los muros con sus revestimientos históricos. La complicada y minuciosa reconstrucción de todo el conjunto y la restauración de los elementos dañados, materializada por el escultor Víctor Hevia Granda durante los años 1938 a 1942, hizo posible la recuperación del espacio y la salvaguardia de la materia histórica, dejando a su vez, sus propias huellas en las superficies recién restauradas. Este artículo, centrado en los elementos pétreos, discrimina las alteraciones inducidas en aquella época, o sus consecuencias, de otros procesos de alteración ligados a la evolución de los materiales en el medio ambiente de la Cámara Santa a lo largo de los siglos.

Palabras clave: Alteración de materiales, piedra de Laspra, restauración de patrimonio, formas de alteración, Cámara Santa, Catedral de Oviedo.

The alteration in the Holy Chamber of Oviedo Cathedral

Abstract: When the present studies were initiated, the deterioration state of the so called "Cámara Santa" (The Holy Chamber) was heavily affected by the consequences of its recent history, especially by the effects of a deflagration inside the chamber in 1934 which caused the collapse of the whole structure and great damage to the sculptures and other stone pieces inside. The meticulous reconstruction of the chamber and restoration of valuable sculptures were undertaken by Víctor Hevia Granda (1938-1942), who made possible its recovery as a whole, but also leaving signals of that restoration. This article tries to separate deterioration caused by historical events from those due to the natural evolution of the materials in its proper environment.

Key words: Materials deterioration, Laspra stone, heritage restoration, weathering forms, Cámara Santa, Cathedral of Oviedo.

Introducción

Los estudios de la alteración del interior de la Cámara Santa formaron parte de los denominados "Estudios Complementarios de la Cámara Santa" (Cuenca y Hevia, en prensa), algunos de los cuales se presentan en otros artículos de esta misma revista. Son los estudios de los materiales del apostolado (Rojo Álvarez, en prensa), que exponen la completa secuencia de capas que los recubren y los estudios de humedades (Mateos Redondo, en prensa), que resultaron imprescindibles para realizar una interpretación de los procesos de alteración y para señalar las medidas ambientales correctoras que palien los efectos de la humedad.

Estado de conservación de la Cámara Santa

La Cámara Santa de la catedral de San Salvador de Oviedo corresponde a una pequeña capilla con cripta, adosada a una torre anterior, atribuida a la época de Alfonso II. Fue reformada en el siglo XII, añadiendo una bóveda de cañón con sus arcos fajones y fue entonces cuando se colocaron las seis columnas pareadas con los doce apóstoles, joya de la escultura románica hispánica.

Al acceder al interior de la Cámara Santa lo primero que llama la atención es que las superficies de los muros, bóvedas y elementos escultóricos y ornamentales, están recubier-

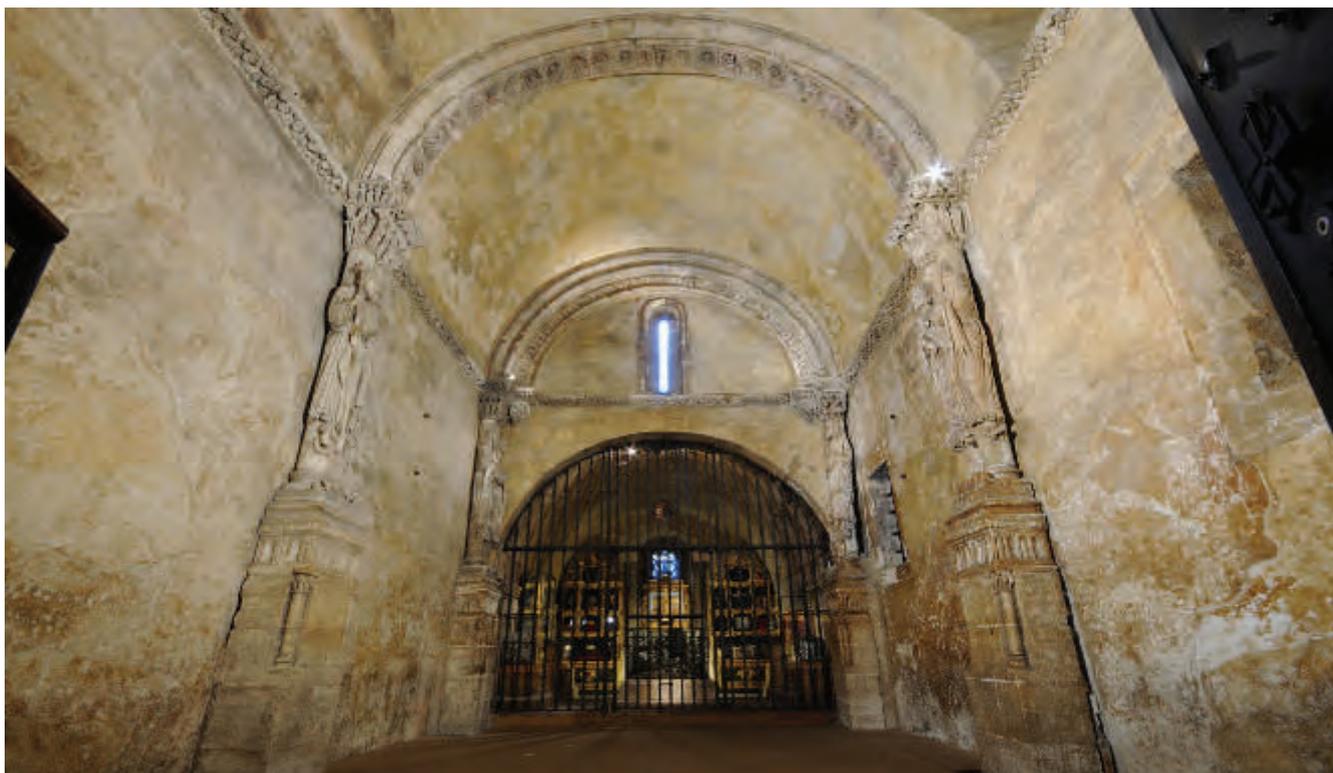


Figura 1. Aspecto general del interior de la Cámara Santa. Una heterogénea pátina amarillenta cubre la mayor parte de los materiales y contribuye en gran manera a la particular percepción de este reducido espacio, hasta este momento.

tas de una heterogénea pero persistente pátina en la que predominan una variedad de tonos ocre y amarillentos [figura 1].

Con relación a los materiales pétreos propiamente dichos, el estudio del recinto permite diferenciar entre los daños traumáticos provocados por la destrucción de la Cámara Santa en 1934, las modificaciones introducidas con la restauración posterior y el desarrollo de otras formas de alteración relacionadas con el medio ambiente del recinto.

Respecto a la alteración propiamente dicha, en este caso más centrada en los elementos pétreos, con la destrucción de la Cámara Santa en 1934, debían quedar bien separados esos daños traumáticos inducidos y las modificaciones experimentadas tras la restauración posterior, del desarrollo de otras formas de alteración propiamente relacionadas con la interacción de los materiales constructivos con el ambiente climático del recinto.

Lesiones traumáticas de origen antrópico

La explosión de 1934 originada en la cripta, justo por debajo de la propia cámara, ocasionó severos y muy traumáticos destrozos en los grupos escultóricos, bien como consecuencia de su caída directa tras la deflagración, bien por efecto de la onda expansiva o el impacto de todo tipo de escombros. La minuciosa inspección que se llevó a cabo

de los elementos escultóricos, permitió dejar identificadas las zonas con fragmentos desaparecidos y zonas similares, reintegradas con morteros de Víctor Hevia, ya que la evolución diferencial de ese nuevo material permitió discriminar los elementos reintegrados. Este sería el caso de muchos apéndices nasales, dedos, fragmentos de mantos, etc. tal como ha quedado reflejado en los mapas de daños que aparecen en el primer artículo de esta serie 1. En ellos,

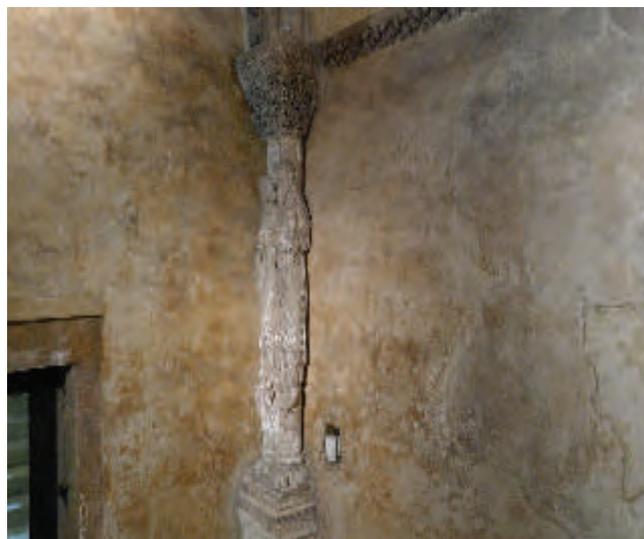


Figura 2. Aspecto heterogéneo de las patinaciones sobre diversos elementos del ángulo noroeste de la Cámara Santa.

quedaron señaladas las faltas no reintegradas y los volúmenes rehechos con un mortero que terminó modificando su apariencia respecto a la piedra que lo engloba [figura 3]. Estas dos alternativas son las que manejó Víctor Hevia y el criterio para elegir entre una y otra debió haber sido bien meditado por él para, por ejemplo, facilitar la lectura artística integral de las esculturas. Pero una interpretación sistemática y completa de estas modificaciones, basada en conocimientos artísticos y en la propia figura de Víctor Hevia, aún está pendiente de completarse.

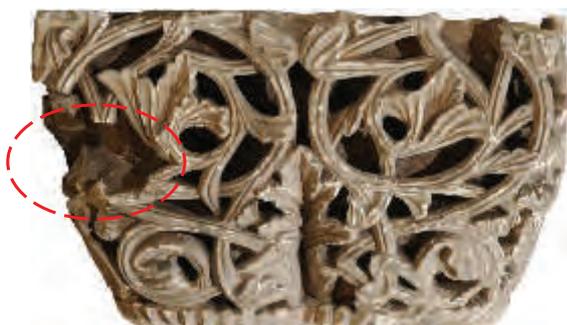


Figura 3. Izquierda, ejemplo de caída de material pétreo que permanece sin reintegrar (capitel grupo A); derecha, rotura de apéndice nasal seguida de su reintegración durante las restauraciones inmediatas a la guerra. La evolución del mortero ha sido diferente de la de la piedra patinada lo que facilitó su reconocimiento.

Alteraciones ligadas al ambiente

Acotadas las lesiones traumáticas originadas por la explosión, se expone el estado de las superficies escultóricas en el momento de la realización de estos estudios.

Para ello también se cuenta con los estudios de caracterización que se presentan en el artículo posterior a este, referidos al apostolado (Rojo Álvarez, en prensa).

A primera vista, destaca la presencia o ausencia de esas pátinas superficiales de tonos ocre, más o menos intensos. Su conservación sobre las esculturas es muy variable y cuando han saltado dejan numerosas lagunas en las que queda visible una piedra de color blanco, la dolomía de Laspra, utilizada en la decoración ornamental y escultórica e interiores de la catedral en casi todas las épocas constructivas.

La presencia o ausencia de pátina va cambiando por zonas o motivos escultóricos, ya que hay columnas donde se conserva más pátina, por ejemplo en el grupo de San Pedro y San Pablo y otras en la que ha desaparecido, quedando la piedra al descubierto, como ocurre en el grupo adyacente de Santo Tomás y San Bartolomé [figura 4].

Las observaciones y analítica realizadas ponen de manifiesto que, de modo general, tanto la piedra como la pátina, se encontraban en una situación bastante estable desde el punto de vista físico-químico, ambas mecánicamente coherentes y sin disgregaciones llamativas. Sin embargo hay una zona donde esto no es así, es en la parte central y oriental del muro norte a la altura de capiteles, cimacio e imposta. Aquí las superficies blanquecinas que afloran cuando la pátina ya ha caído presentan una disgregación pulverulenta acusada. Los análisis químicos muestran que las disgregaciones blanquecinas presentan elevados contenidos en yeso mezclado con los minerales propios de la piedra (dolomita y algo de cuarzo). Por tanto, se trata de una mezcla de dolomía y yeso neoformado, que es quien está produciendo esa disgregación mediante mecanismos de alteración ligados a la acción de sales solubles. [figura 5].

Justo en la zona izquierda del caso anterior, en el grupo B del costado norte, también se observan pulverulencias en las lagunas con piedra, pero además se ha constatado que la propia pátina aunque no se ha desprendido de la piedra soporte, ya está muy debilitada, los colores son más pálidos y es un material que se descohesiona con facilidad [Figura 6].

En definitiva, en la zona medio oriental del costado norte, y en general alrededor de la imposta se detecta un notable incremento de la alteración físico-química con pulverulencias y aparición de yeso de neoformación. El reciente estudio de humedades, con datos recogidos durante todo un año, muestra que las condensaciones por exceso de humedad son posibles en esa zona (Mateos Redondo, en prensa).

Además hay que pensar que la pared exterior orientada al norte ha tenido que sufrir durante siglos las consecuencias del impacto directo de la lluvia en los muros y también las escorrentías desde la cubierta, lo que ha tenido que debilitar y alterar los materiales. Como se asume que todas



Figura 4. Hay figuras escultóricas que presentan más superficie patinada (izquierda, grupo E San Pedro y San Pablo) y otras donde ha caído quedando la piedra blanquecina al descubierto (derecha, grupo F Santo Tomás y San Bartolomé).

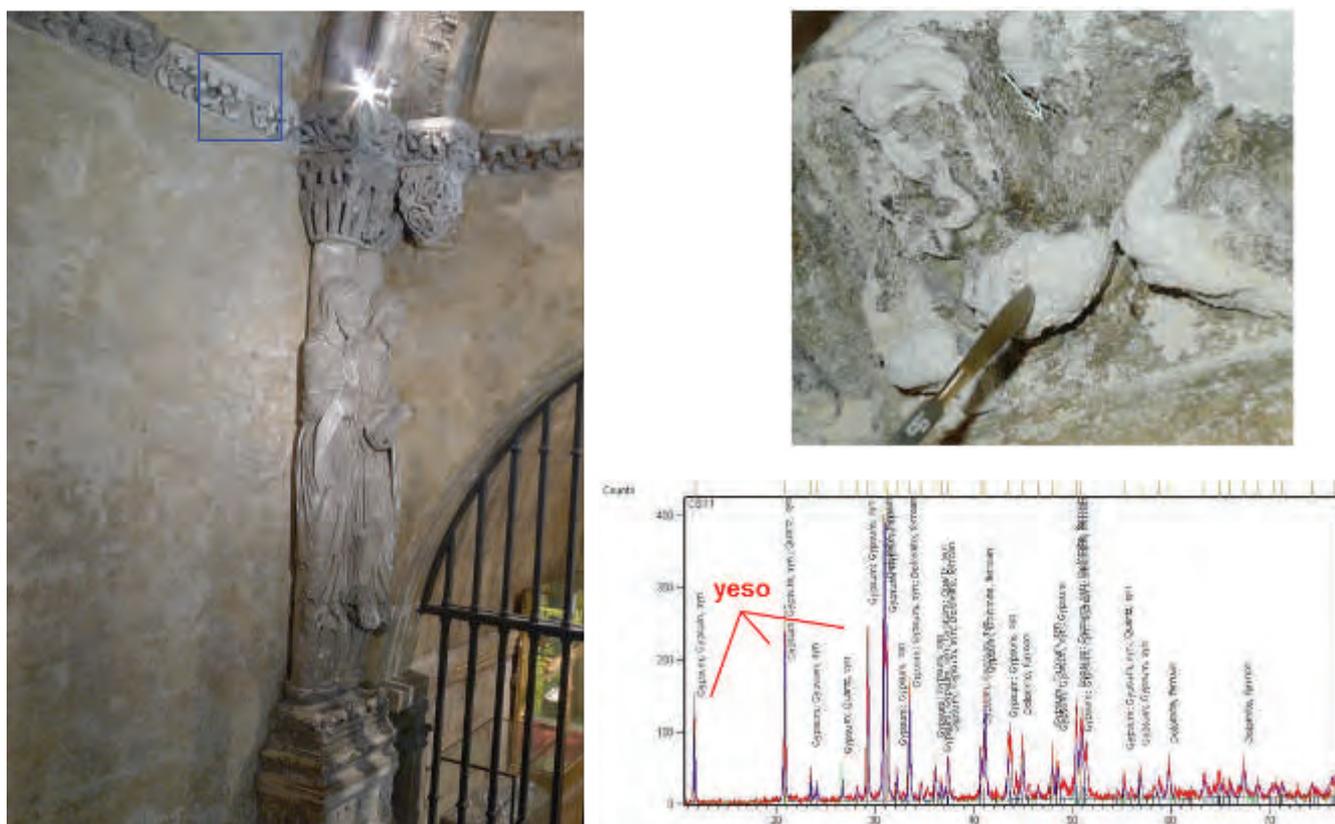


Figura 5. Imposta al lado del grupo escultórico C en el costado norte, con disgregación pulverulenta de la piedra que contiene yeso de neoformación.

las pátinas tenían tonos ocre desde la restauración de los años cuarenta, se deduce que los deterioros de la zona norte también se han estado produciendo en los últimos setenta años, aunque en el momento actual estos proce-

sos estén ya controlados. Otros aspectos de la evolución de los materiales en estas últimas décadas puede seguirse en el próximo apartado.



Figura 6. Pátinas incoherentes y decoloradas en el capitel decorado de la columna B, en el medio del costado norte.

Evolución de las superficies: 1942-2012

Es posible comparar el estado diferencial de las superficies pétreas entre estas siete décadas al contar con series fotográficas similares actuales y de entonces. Teniendo en cuenta las limitaciones perceptivas de las fotografías, puede deducirse que en muchos casos se observan patrones muy parecidos en las morfologías pátina superficial/laguna pétreo, entre ambos momentos. En estos casos puede deducirse que hay zonas en las que no se han producido cambios importantes en estas siete décadas, ya que esa impronta ya existía entonces [figura 7].

Sin embargo, son más frecuentes las modificaciones superficiales durante estos años. Lo que se aprecia es un aumento de la superficie de las lagunas blancas, incluso en las zonas más estables como en el grupo E del costado sur. En la figura 8 puede apreciarse que las lagunas blancas han aumentado de superficie, lo que es debido a un incremento de las saltaciones de las pátinas a lo largo de estas décadas.

Considerando que las morfologías de las lagunas son muy irregulares y para ayudar a diferenciar mejor sus modificaciones se han coloreado artificialmente en un ejemplo. En el rostro de la figura 9 se han representado las lagunas de cada época: trama azul en 1942, trama roja en 2012. Al superponerlas se aprecia un aumento de la superficie vista de la piedra. Por el contrario, también quedan de manifiesto algunos retoques en las pátinas (aunque minoritarios). Por ejemplo, en la figura se han enmarcado en verde zonas que en 1942 presentaban lagunas y que aparecen recubiertas en la actualidad, lo que indica retoques.

En resumen, en el momento de estos estudios, en 2012, buena parte de las superficies de la Cámara Santa se encontraron patinadas con recubrimientos de tonos ocres diversos, con un aspecto muy heterogéneo y numerosas saltaciones que dejaban al descubierto los materiales subyacentes, morteros en los muros o la piedra blanca de Laspra en los elementos escultóricos y ornamentales (impostas y arcos fajones).

Las observaciones y análisis realizados permitieron localizar las lesiones ocasionadas por la deflagración de 1934, y también los trabajos posteriores de restauración, principalmente con recuperación de volúmenes escultóricos y adhesión de fragmentos (mapas de lesiones en el artículo primero de esta serie 1).



Figura 7. Permanencia de la morfología de improntas aparentes de pátinas que ya existían hace siete décadas.

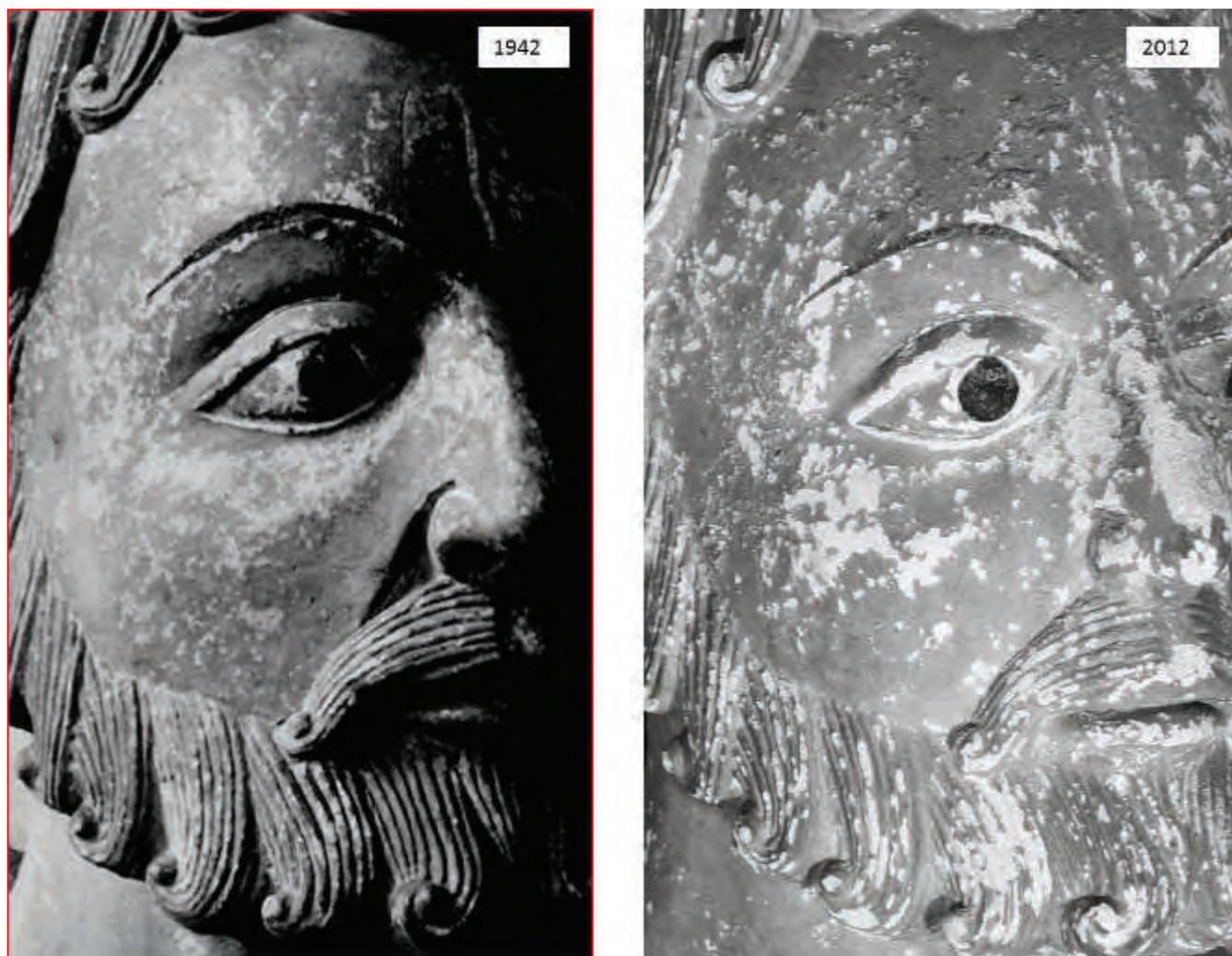


Figura 8. Aspecto comparativo del rostro de San Pedro con diferencias en la morfología y extensión de las lagunas blancas por caída de pátina entre los años señalados.

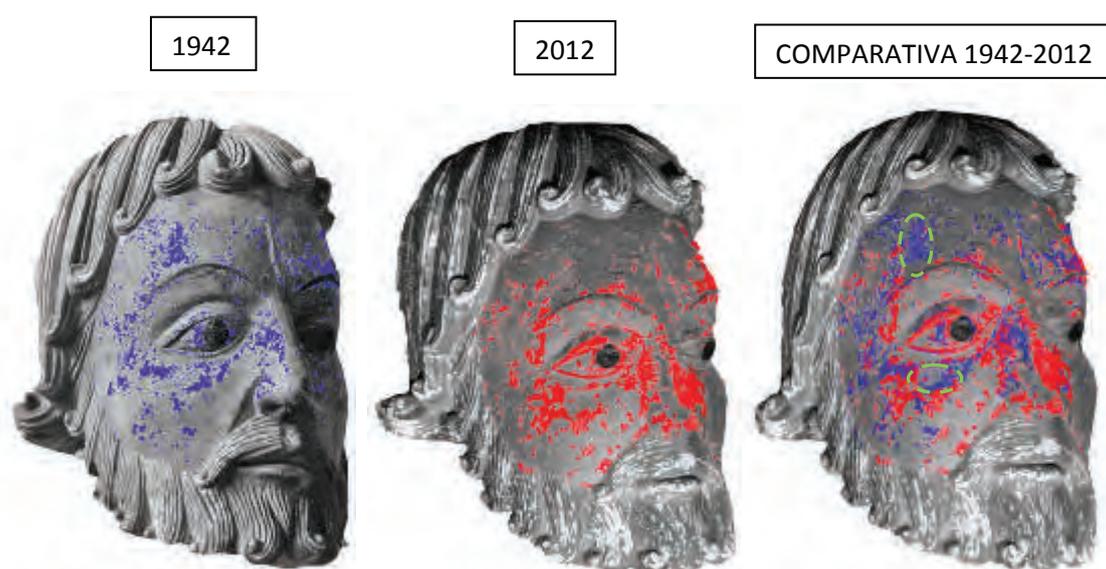


Figura 9. Se ha coloreado artificialmente las faltas de pátinas o lagunas (zonas más claras) en las dos épocas y al superponerlas se aprecia una mayor extensión de las lagunas en la actualidad. También ocurre lo contrario y las zonas enmarcadas en verde señalan posibles retoques que se han añadido, ya que no estaban en 1942.

También se ha visto que los materiales, piedra o pátinas, presentan mayor alteración a la altura media del costado norte, con disgregación pulverulenta acusada y presencia de sales solubles. Estos procesos son independientes de los sucesos de 1934 y se deben más a las humedades que han podido penetrar desde el exterior por el muro y a los efectos de las condensaciones, tal como se aclara en los estudios de humedades dentro de esta misma tanda de estudios 3.

Gracias a los registros fotográficos que se hicieron a partir de la reconstrucción de los años cuarenta se ha podido comparar la evolución del estado de conservación de algunas superficies escultóricas. Se puede detectar que buena parte de las pátinas que llegaron a la actualidad ya estaban presentes, pero que también parte de ellas han ido saltando por efecto de los mecanismos de deterioro.

Asimismo se han detectado ciertos retoques que implicaron la aportación de nuevas pátinas, quizás para compensar las caídas que se estaban produciendo.

Bibliografía

CUENCA BUSTO, C. y HEVIA BLANCO, J. (en prensa). *Los estudios complementarios sobre la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo*.

MATEOS REDONDO, F.J. (en prensa). *Estudio higrotermométrico de la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo*.

ROJO ÁLVAREZ, A. (en prensa). *El Apostolado de la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo: Estudio de materiales*.



Luis Valdeón Menéndez

GEA asesoría geológica
 correo@geaasesoriageologica.com

Luis Valdeón ha desarrollado toda su carrera profesional en el ámbito de la conservación de patrimonio histórico-arqueológico y evaluación de materiales pétreos, combinando una completa base de formación científico-técnica con una dilatada experiencia profesional a pie de obra. Tras doctorarse en Geología en la Universidad de Oviedo, en 1989, realizó estudios postdoctorales en el Imperial College de Londres (1989-2001) donde se especializó en la aplicación de técnicas no destructivas para la evaluación de materiales pétreos. En estos ámbitos posee más de cuarenta publicaciones en congresos y revistas nacionales e internacionales.

Ha realizado cientos de trabajos en intervenciones de patrimonio monumental o estudios previos a las mismas, investigando asimismo el comportamiento de materiales constructivos y ornamentales en, por ejemplo, excavaciones arqueológicas, como las del yacimiento de Contrebia Leucade (La Rioja), o sobre bienes declarados patrimonio de la Humanidad, como el prerrománico asturiano (Monumentos de Oviedo y del Reino de Asturias), o Monasterio de Yuso (La Rioja), así como en catedrales, capillas y monumentos civiles de todo el país.

Desde 2001 es socio fundador, de la empresa GEA asesoría geológica especializada en estudios sobre Conservación y Restauración de Patrimonio y la caracterización de todo tipo de materiales. Es miembro activo del Grupo Español del International Institute for Conservation (GE-IIC) del que ocasionalmente forma parte de comités científicos del grupo de trabajo "piedra".

Jornada sobre conservación de patrimonio Rosa M^a Esbert *In Memoriam* 16 de mayo de 2013



Análisis de los tratamientos y sistemas de limpieza de los materiales de la Cámara Santa.

Luis Suárez Saro; Araceli Rojo Álvarez; Luis Valdeón Menéndez; Félix J. Mateos Redondo; Verónica Fernández Cuesta y Pablo Klett Fernández

Resumen: Identificadas las patologías y caracterizados los materiales presentes en la Cámara Santa, se han diseñado una serie de pruebas destinadas a la limpieza de los revocos, morteros y elementos pétreos, eliminando pátinas de ennegrecimiento, eflorescencias salinas y recubrimientos superficiales, que pudieran estar resultando perjudiciales para la correcta conservación de estos materiales.

Las catas realizadas han perseguido la representatividad de cada casuística ajustando al mínimo las dimensiones de las pruebas y tratando de evitar el impacto visual que pudieran producir.

El objetivo primordial de estas pruebas es buscar la máxima inocuidad del método a emplear en cada caso, en relación a su máxima eficacia.

Las pruebas han sido realizadas por Luis Suárez Saro y supervisadas y analizadas por el equipo de petrólogos de GEA asesoría geológica. La metodología de trabajo seguida durante la realización de las mismas ha consistido en la toma de muestras antes y después de la realización de cada cata. Posteriormente, se ha procedido al análisis morfoquímico de las superficies (SEM – EDX), buscando posibles modificaciones inducidas sobre las superficies limpiadas. Del análisis de estos resultados se ha perseguido la selección de uno o varios métodos, más adecuados para cada material (piedra, mortero, capa pictórica, etc.), teniendo en cuenta su naturaleza y estado de deterioro.

Palabras clave: métodos de limpieza, láser, análisis morfoquímico, SEM-EDX.

Analysis of treatment and cleaning systems of the materials of the Cámara Santa

Abstract: Once the pathology in the Cámara Santa has been identified and the materials characterized, a series of tests has been designed to clean the plasters, mortars and stone elements, removing blackening patina, saline efflorescence and surface coatings which could be damaging for the proper preservation of these materials.

These tests pursued the representativeness of each different case reducing as much as possible the size of the exam area and trying to avoid the visual impact they might have produced.

The main aim of these tests is to find the safest and most effective method for each case.

All tests have been carried out by Luis Suárez Saro and supervised and analysed by the team of GEA asesoría geológica. The working methodology followed has involved sampling before and after the execution of each case. Subsequently, morpho-chemical surface analysis (SEM – EDX) has been performed, searching possible modifications on the cleaned surfaces. Finally, after analysing these results, one or more methods have been selected as most appropriate for each material (stone, mortar, paint layer...) taking into account their composition and state of deterioration.

Key words: cleaning methods, laser, morpho-chemical analysis, SEM-EDX

Selección de métodos y ajuste de parámetros instrumentales.

Los métodos empleados en las pruebas han sido mecánicos, químicos y físicos (láser).

Dentro de los **métodos mecánicos** se han seleccionado dos tipos:

•Manuales: Cepillos y brochas de pelo suave, goma de borrar exenta de grasa "Archival Aids", bisturí y lápiz de fibra de vidrio.

•Instrumentales: Microproyección con pistola M500 y boquilla de 2 mm (en los elementos pétreos) y de 5 mm (en los revocos), adaptada a un compresor eléctrico con calderín de 200 litros (Incoimsa de 2hp) y presión regulable de 0,1 a 8 bares. Entre ambos se ha dispuesto un postenfriador RA 20-E.

Los microabrasivos empleados han sido microesferas de vidrio (180 - 300 μm), bicarbonato Armex (90 - 250 μm) y piedra pómez (0 - 89 μm).

La presión en boquilla ha sido de 0,5 a 1,5 bares, la distancia a la superficie entre 25 y 40 cms y el ángulo respecto a esta última entre 45 y 60°.

Entre los **métodos químicos** también se han seleccionado dos tipos:

•White spirit aplicado con hisopo de algodón, tras reblandecimiento de la cera superficial con pistola de aire caliente Bosch regulada a 70 - 80°C.

•Crema de latex "Arte Mundit" de la casa FTB (Tipos Arte Mundit I, III y V), con dos aplicaciones separadas en intervalos de 48 horas.

La **limpieza láser** utiliza la energía fotónica para la eliminación de los depósitos de suciedad sobre la superficie de la piedra, morteros y revocos.

El láser de Nd:YAG empleado es un láser de estado sólido cuyo medio activo es un cristal de granate de ytrio y aluminio, dopado con neodimio; modelo ArtLaser II, de la casa CTS.

Longitud de Onda	1064 nm
Duración del pulso	8 ns
Frecuencia del pulso	1, 5, 10, 15 y 20 Hz
Potencia del equipo	3 w
Energía máxima del pulso	150 mJ
Diámetro del haz (colimado)	4 mm.
Densidad de energía (fluencia)	0,3 - 113,2 J/cm ²

Tabla I. Características de la radiación

El equipo consta además de otra fuente láser de HeNe que emite dentro del espectro visible por el ojo humano y su función es la de iluminar la zona de trabajo. Posee un brazo de fibra óptica, que confiere al sistema una gran movilidad. Las características de la radiación láser se presentan en la tabla I.

Las pruebas de limpieza láser sobre el apostolado se llevarán a cabo variando las energías del láser desde 50 a 150 mJ y las frecuencias de 5 a 20 Hz.

La selección del método de limpieza empleado ha estado condicionado por:

- La naturaleza y espesor del material a eliminar
- El grado de cohesión y adherencia de la suciedad al sustrato pétreo
- La naturaleza y grado de cohesión del sustrato pétreo sobre el que se deposita la suciedad
- El valor artístico del elemento a limpiar

En lo que se refiere a los métodos acuosos, que utilizan el agua como disolvente, su empleo en la Cámara Santa se ha desestimado por el escaso grado de cohesión de alguna de las superficies y la presencia de sales solubles. Este tipo de limpieza puede generar productos de neoformación nocivos y provocar, a medio plazo, cambios de color y opacidad en las superficies intervenidas.

Durante las pruebas de limpieza realizadas se han ido ajustado las variables que intervienen en cada método con el fin de establecer un protocolo de actuación que garantice la integridad de las superficies.

El control del método de limpieza empleado se realiza mediante un estudio morfoquímico sistemático de las superficies limpiadas, al microscopio electrónico de barrido con microsonda por energía dispersiva de rayos X.

La limpieza facilita la preparación del soporte pétreo para posteriores tratamientos de conservación.

Análisis morfoquímicos de las superficies limpiadas: Resultados

Con objeto de detectar posibles modificaciones superficiales inducidas durante la limpieza, se han recogido muestras antes y después de las mismas, las cuales han sido observadas al microscopio electrónico de barrido. El análisis morfoquímico de estas superficies permite valorar la efectividad e inocuidad de los métodos empleados.

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos para cada método aplicado.

Limpeza LÁSER

Los parámetros que se han ido ajustando durante las pruebas de limpieza láser han sido la energía del equipo y la frecuencia. Tal como se observa en la imagen de la figura 1 las catas de limpieza han sido realizadas con frecuencias comprendidas entre 15 y 20 Hz y energías de 100, 150, 200 y 250 mJ.

A continuación en la tabla II se recogen los resultados obtenidos en los análisis realizados al SEM – EDX.

De lo anterior se deduce que los parámetros más adecuados para la limpieza láser del soporte pétreo son 100 mJ de energía y 20 Hz de frecuencia (Figs. 2-4). En el caso del mortero de reintegración, y para no insistir sobre las zonas limpiadas, podrían emplearse 125 mJ de energía y 20 Hz de frecuencia.

SOPORTE	MUESTRA	TÉCNICA	PARÁMETROS		RESULTADOS
			Energía (mJ)	Frecuencia (Hz)	
Dolomía de Laspra	PL1	LÁSER	100	15	En zonas puntuales se elimina el recubrimiento (cera de abeja), aflorando la pátina de cal y yeso.
	PL2		150	15	Se elimina gran parte del recubrimiento (cera de abeja), aflorando la pátina de cal y yeso y el sustrato base (Piedra de Laspra).
	PL3		150	20	Se elimina parte del recubrimiento (cera de abeja), aflorando la pátina de cal y yeso y el sustrato base (Piedra de Laspra).
	PL4		100	20	El recubrimiento (cera de abeja) ha desaparecido, dejando al descubierto algún resto de la capa pictórica de albayalde y el sustrato base (Piedra de Laspra).
	PL5		100	20	Se elimina gran parte del recubrimiento (cera de abeja), dejando al descubierto restos de la capa pictórica de albayalde y el sustrato base (Piedra de Laspra).
	PL6		100	20	Se elimina la mayoría del recubrimiento (cera de abeja), aflorando gran parte de la capa pictórica de albayalde y algo del sustrato base (Piedra de Laspra).
Mortero de reintegración	PL8B	LÁSER	100	20	Apenas se elimina el recubrimiento (cera de abeja) y donde no lo hay afloran restos de una pátina de yeso situada sobre el sustrato base (mortero de cal).
	PL11B		125	20	El recubrimiento (cera de abeja) ha desaparecido, dejando al descubierto una pátina de cal y yeso, situada sobre el sustrato base (mortero de cal).

Tabla II. Análisis morfoquímico de las superficies limpiadas con láser.



Figura 1. Imágenes de las pantallas del equipo láser durante algunas de las pruebas de limpieza realizadas.

Limpieza química con crema látex "Arte Mundi"

Se lleva a cabo mediante dos aplicaciones sucesivas de la crema con espátula, transcurridas 48 horas se retira la primera y se aplica la segunda que permanece otras 48 horas. Los resultados se presentan en la tabla III y en las figuras 5 y 6

Arte Mundi®, de la casa FTB, es una crema - pasta que elimina las manchas, polvo y suciedad. Está disponible en diversos tipos (I, II, III, IV y V) dependiendo de la superficie a aplicar y del grado de contaminación y consiste en una



Figura 2. Realización de catas de limpieza Láser a diferentes energías y frecuencias.

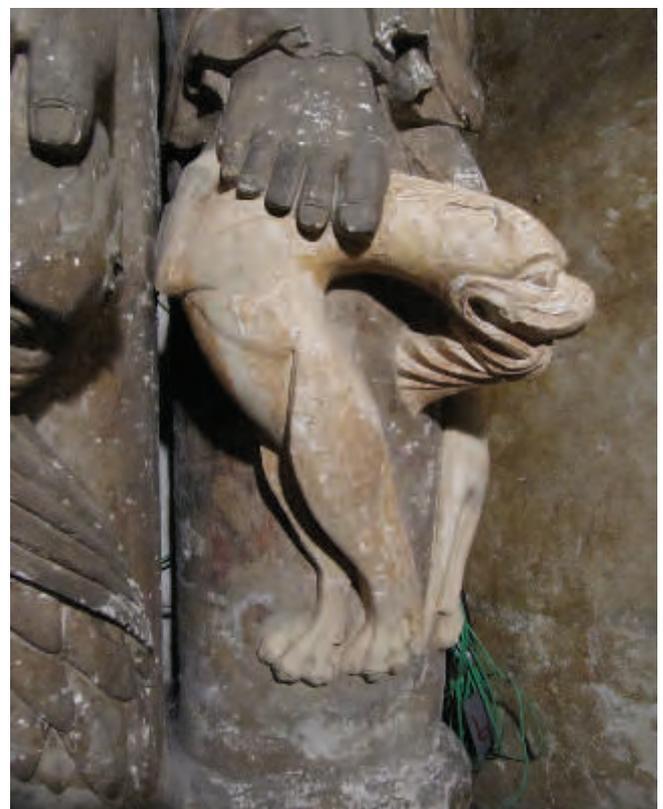


Figura 3. Resultado de la limpieza Láser en la columna de San Bartolomé y Santo Tomás.

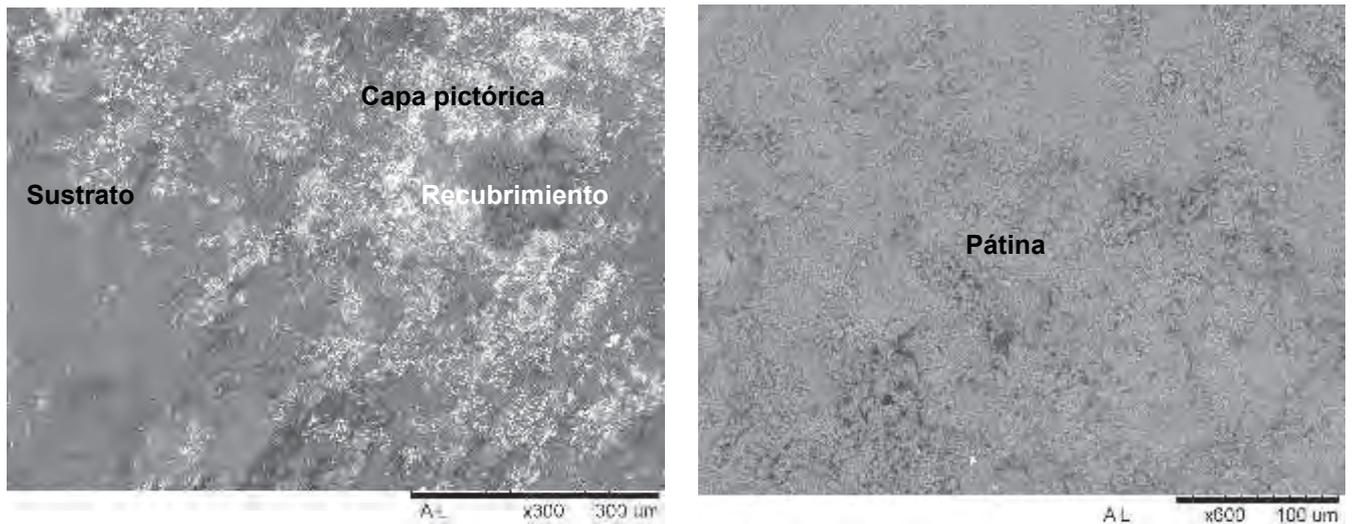


Figura 4. Detalles de las superficies de mortero limpiadas con láser. En ambos casos la frecuencia seleccionada ha sido 20 Hz pero la energía ha sido en un caso de 100 mJ (izquierda) y en otro de 125 mJ (derecha). En la imagen de la izquierda no se conservan restos del recubrimiento orgánico de cera de abeja.



Figura 5. Aplicación de la crema "Arts Mundi" sobre el revoco de la pared sur de la Cámara Santa



Figura 6. Detalles de tres catas de limpieza, realizadas sobre revoco con los látex del tipo I, tipo III y tipo V, después de la segunda aplicación.

SOPORTE	MUESTRA	TÉCNICA	PARÁMETROS		COMENTARIOS	
			Tipo	Aplicaciones		
Revoco	Látex	PL12a	I	1	Sobre el látex se identifican cristales de un compuesto sódico.	
	Revoco	PL12b			La mayoría del recubrimiento (cera de abeja) se mantiene y sobre él se observan cristales de sulfato y/o carbonato de sodio, resultado de la reacción del látex y la superficie del revoco.	
Revoco	PL16	LÁTEX	II	1	El recubrimiento (cera de abeja) se mantiene y se identifican cristales de sodio.	
Revoco	Látex		PL13a	III	1	Sobre el látex se identifican cristales de sodio y aluminosilicatos.
	Revoco		PL13b			El recubrimiento (cera de abeja) se mantiene y sobre él se identifican cristales de sodio.
Laspra	PL19		El recubrimiento (cera de abeja) se mantiene y sobre él se identifican cristales de sodio.			
Revoco	PL20		Parte del recubrimiento (cera de abeja) es eliminado, dejando al descubierto el sustrato base (revoco de cal). En ambas zonas se identifican cristales de sodio.			
	PL17		III	2	Parte del recubrimiento (cera de abeja) es eliminado, dejando al descubierto el sustrato base (revoco de cal y cuarzo). En ambas zonas se identifican cristales de sodio.	
Revoco	Látex		PL14a	V	1	Sobre el látex se identifican cristales de sodio.
	Revoco		PL14b			La mayoría del recubrimiento (cera de abeja) se mantiene y sobre él se observan cristales de sodio.

Tabla III. Análisis morfoquímico de las superficies limpiadas con látex.

emulsión de látex (> 90 %), AEDT (ácido etilendiaminatraasético), sal de tetrasodio (3 – 10 %) y amoníaco en solución acuosa (< 0,005 %).

Tal como se comprueba en la tabla III, independientemente de que se analice soporte pétreo, mortero o el propio látex, sobre las superficies estudiadas se detectan compuestos de sodio, presumiblemente carbonatos y/o sulfatos sódicos (Fig. 7).

La presencia de elementos exógenos a los materiales originales o de reposición desaconseja el empleo de esta técnica.

Limpieza química con white spirit y pistola de aire caliente.

Este tipo de limpieza se ha restringido a superficies pétreas con recubrimientos orgánicos de cera de abeja de elevado espesor (Figs. 8 - 9). La metodología consiste en el precalentamiento de la zona a tratar con pistola de aire caliente regulada a 70/80°C y posterior eliminación de las ceras con hisopos de algodón embebidos en white spirit. El resultado de los análisis de las superficies limpiadas con este método se presentan en la tabla IV y en la figura 10.

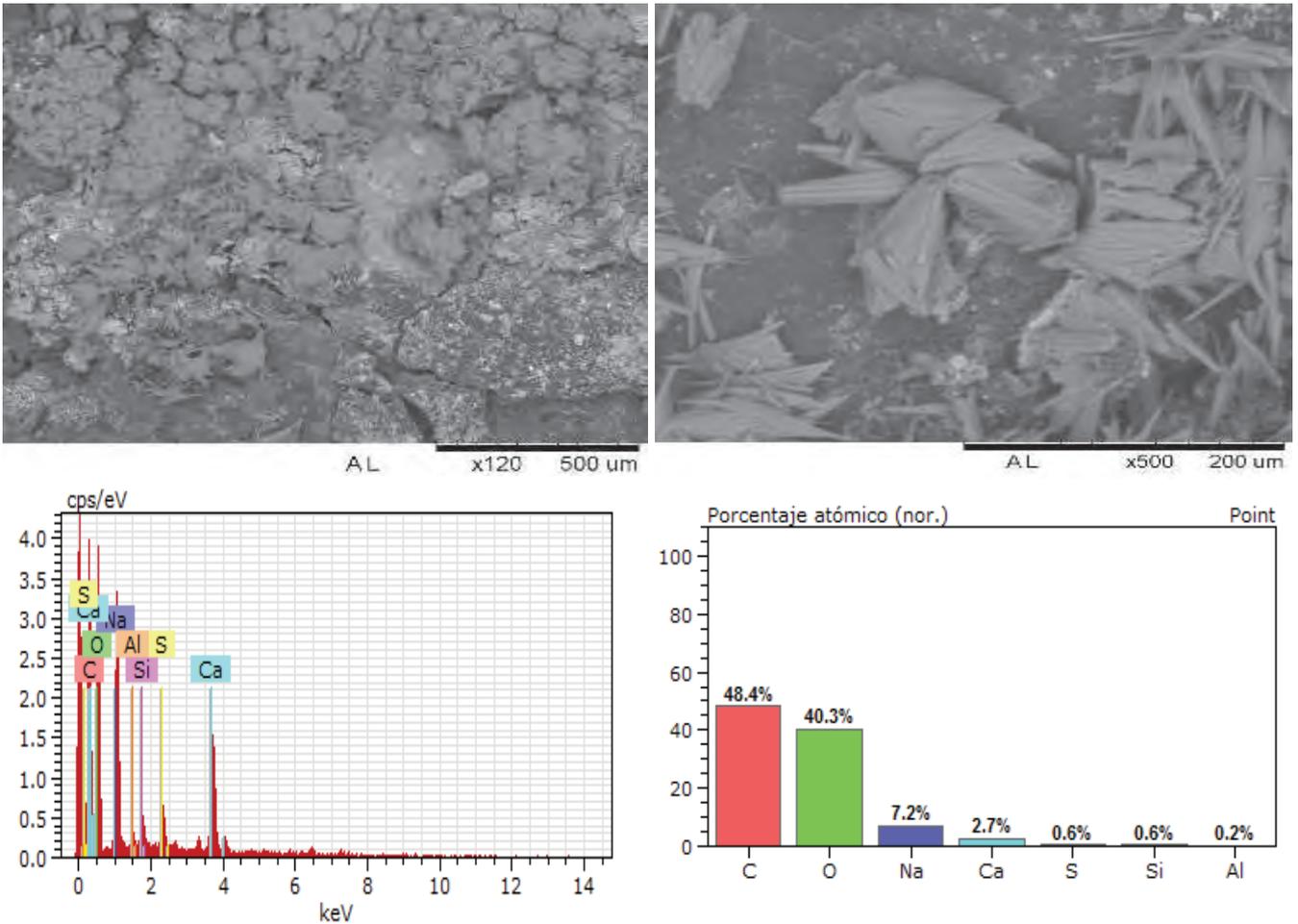


Figura 7. Micrografías al SEM, espectro EDX e histograma de porcentajes atómicos de los cristales detectados en las zonas de revoco limpiadas con el látex "Art Mundit". Además del carbono y el oxígeno, el sodio es el elemento mayoritario. En mucha menor proporción se detecta calcio, azufre, silicio y algo de aluminio.

Limpieza mecánica instrumental: Microproyección.

En lo que se refiere a la limpieza mecánica cabe resaltar que los métodos manuales no han sido eficaces en la eliminación del recubrimiento orgánico de cera de abeja.

Las pruebas de microproyección con bicarbonato y piedra pómez han sido realizadas tanto sobre el sustrato pétreo de podios, como sobre los revocos.



Figura 9. Aspecto de la superficie una vez aplicado el tratamiento en el pedestal de la columna de Santiago el Mayor y San Juan.



Figura 8. Catas de limpieza con aire caliente y white spirit realizadas en el pedestal de la columna de San Pedro y San Pablo.



Figura 10. Aspecto morfológico al SEM de la superficie pétreo limpiada con White spirit y aire caliente. El recubrimiento de cera de abeja ha desaparecido durante el proceso de limpieza.

SOPORTE	MUESTRA	TÉCNICA	PARÁMETROS		COMENTARIOS
			Producto	Aire caliente	
Laspra	PL15a	WHITE SPIRIT + AIRE CALIENTE	White Spirit	70 - 80 °C	La mayoría del recubrimiento (cera de abeja) es eliminado, dejando al descubierto el sustrato base (Piedra de Laspra).
	PL15b				El recubrimiento (cera de abeja) ha desaparecido, dejando al descubierto restos de la capa pictórica de albayalde y el sustrato base (Piedra de Laspra).

Tabla IV. Análisis morfoquímico de las superficies limpiadas con White spirit y pistola de aire caliente.

En la tabla V se resumen los resultados obtenidos del análisis morfoquímico de las superficies limpiadas con este método.

De los análisis morfoquímicos realizados sobre las superficies limpiadas mediante microproyección se deduce que la piedra pómez es más efectiva en la eliminación de la suciedad y los recubrimientos orgánicos de cera de abeja, tanto sobre sustrato pétreo como sobre revocos (Figs. 11 - 12).

Respecto al bicarbonato llama la atención que algunos de los microabrasivos analizados, adheridos a la micromuestras, presentaban elevados contenidos en sílice, a pesar de que la ficha técnica del Armex recoge que se trata de un abrasivo formulado a base de bicarbonato sódico natural

tratado (99% mínimo de CO_3HNa) (Fig. 13). Además, durante las pruebas realizadas se comprobó que, empleando este microabrasivo, era necesario insistir varias veces sobre la superficie a limpiar para eliminar los recubrimientos ennegrecidos.

De las pruebas de limpieza realizadas se concluye lo siguiente:

- La limpieza láser es el método más adecuado para las superficies pétreas de labra escultórica, siempre y cuando, se realice a energías inferiores a 100 mJ y frecuencias de 20 Hz.
- El empleo de White spirit combinado con una pistola de aire caliente puede resultar adecuado para la limpieza de superficies sin labra escultórica, siempre y cuando,

SOPORTE	MUESTRA	TÉCNICA	PARÁMETROS			COMENTARIOS
			Abrasivo	Presión (bares)	Granulometría (μm)	
Laspra	PL21a	MICROPROYECCIÓN	Bicarbonato Armex	0,5 - 1,5	90 - 250	El recubrimiento (cera de abeja) ha sido eliminado dejando al descubierto el sustrato base (Piedra de Laspra).
	PL21b					Parte del recubrimiento (cera de abeja) es eliminado, dejando al descubierto restos de la capa pictórica de albayalde y el sustrato base (Piedra de Laspra).
	PL22a		Piedra pómez	0 - 89	Restos del recubrimiento (cera de abeja).	
	PL22b				La mayor parte de las eflorescencias de yeso y del recubrimiento (cera de abeja), han sido eliminadas, dejando al descubierto el sustrato base (revoco).	
Revoco	PL23			0 - 89		

Tabla V. Análisis morfoquímico de las superficies limpiadas con microproyección.



Figura 11. Aplicación de microabrasivo de piedra pómez en el revoco de la pared norte de la Cámara Santa.

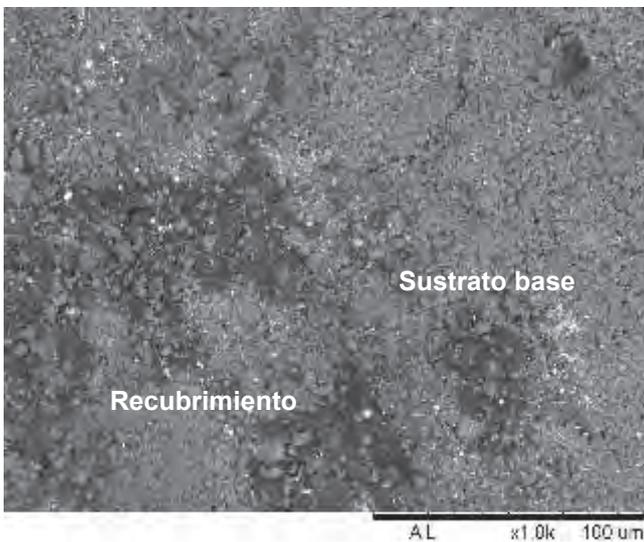
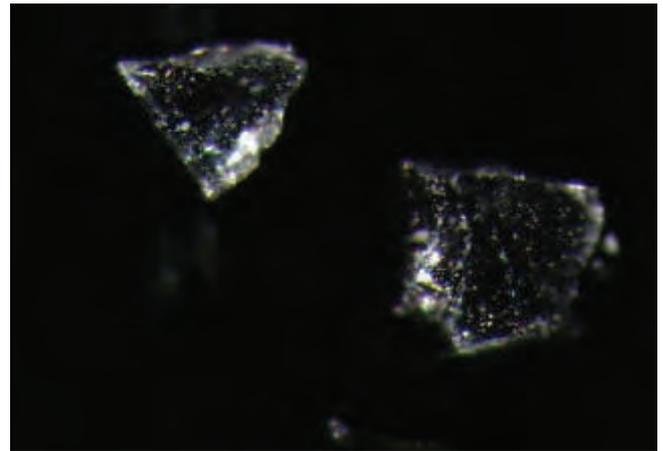


Figura 12. Aspecto morfológico al SEM de la superficie pétreo limpiada con piedra pómez.

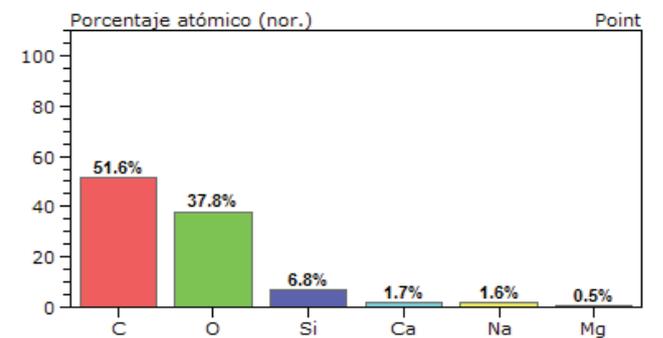
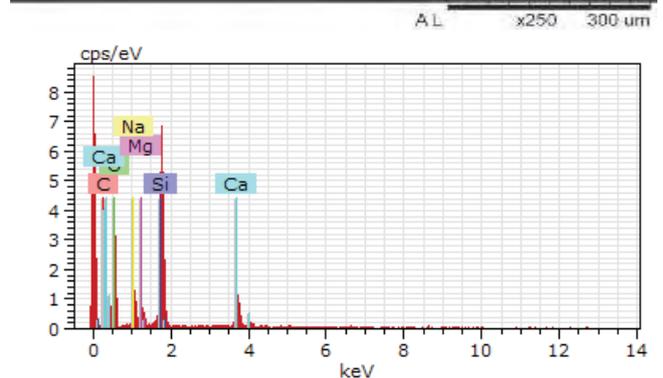
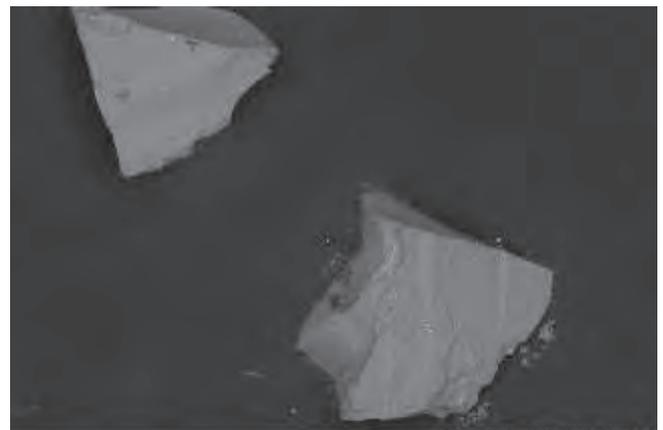


Figura 13. Aspecto macroscópico, microscópico, espectro EDX e histograma de porcentajes atómicos. Como elementos mayoritarios se ha detectado carbono, oxígeno y silicio. Como elementos minoritarios aparece calcio, sodio y magnesio.

do, el espesor del recubrimiento orgánico de cera de abeja sea elevado.

- La limpieza mecánica, mediante microproyección, resulta adecuada para la limpieza de paramentos lisos y superficies pétreas sin labra escultórica, siempre y cuando, el microabrasivo empleado sea la piedra pómez, proyectada a presiones comprendidas entre 0,5 y 1,5 bares.
- Se desaconseja el empleo del látex "Art Mundit" para la limpieza de cualquier tipo de superficie, al haberse detectado compuestos formados a base de carbonato sódico, en las micromuestras procedentes de las catas de limpieza.

A pesar de estas afirmaciones, durante las labores de seguimiento petrológico de la restauración, habrá que ir ajustando la combinación de estos métodos ensayados para garantizar la correcta limpieza de las superficies, preservando los restos pictóricos

Bibliografía.

Asociación de congresos de conservación y restauración de bienes culturales, Actas de los congresos VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIV XV, XVI y XVII. 1986 – 2010.

BALDINI, U. (1978). Teoría del Restauo, e unita' di metodología, (Volúmenes I y II), Florencia, Nardini Editore.

BRANDI, C. (1988). Teoría de la Restauración, (Edición española), Madrid, Alianza Editorial.

BELMUNT, O. y CANELLA, F. (1985). "Asturias" Tomo I Tip. De Octavio Bellmunt, Gijón, págs. 216.

CENINI, C. (1988). El libro del arte. Ed. Akal.

GARATE ROJAS, Y. (1994). Artes de la Cal, Ministerio de Cultura, Madrid.

GARCIA DE MIGUEL, JM. (2009). Tratamiento y conservación de la piedra, el ladrillo y los morteros. Consejo General de la arquitectura técnica en España, Madrid.

Ge IIC, Actas de los congresos I, II, III, IV y V Valencia 2002 y Barcelona 2005, Oviedo 2007, Cáceres 2009 y Madrid 2012.

GOMEZ GONZALEZ, M. L. (1994). Examen científico aplicado a la conservación de obras de Arte, Madrid, Ministerio de Cultura.

IPHE (2008). La ciencia y el arte, Madrid, IPHE.

LOPEZ ROMAN, A. (1999). Prevención de riesgos laborales en la investigación e intervención en Patrimonio Histórico, Granada, Cuadernos Técnicos.

MATTEINI – MOLES. (2001.) La química en la restauración, Hondarribia, Guipúzcoa, Editorial Nerea.

PRINCIPADO DE ASTURIAS (2001). Ley del Principado de Asturias de Patrimonio Cultural, Oviedo.

VERA BOTI, A. (2003). La Conservación del Patrimonio Arquitectónico, Murcia, Diego Martín editor.

VIGIL, CIRIACO M. (1987) Asturias, monumental, epigráfica y diplomática. Oviedo. Principado de Asturias.

VVAA (2012). Canteras Históricas de Oviedo. Oviedo, Hércules Astur Ediciones.

VVAA (2004). La restauración de la torre y el claustro de la catedral de Oviedo, Oviedo, Ediciones Nobel.

VVAA (2004). Intervención en el Patrimonio Cultural, creación y gestión de Proyectos, Madrid, editorial Síntesis.

VVAA (1997). Manual de diagnóstico y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos, Barcelona, Colegio de Aparejadores.

VVAA (2003). Una mirada hacia la conservación preventiva del patrimonio cultural., Valencia, UPV.



Luis Suárez Saro
lsaro@telecable.es

Inicia como autónomo la profesión de conservación y restauración de BBCC en el año 1986 tras superar sus estudios en Bellas Artes (licenciado por la Universidad del País Vasco). Bajo las normas establecidas en la Ley del Principado de Asturias de Patrimonio Cultural (1/2001, de 6 de marzo), su equipo, configurado multidisciplinariamente, interviene en la conservación y restauración de diferentes tipos de bienes culturales. Actualmente pertenece al equipo multidisciplinar, constituido por la Consejería de Educación y Cultura del Principado de Asturias para la realización de los "Estudios complementarios petrológicos de la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo". Además, también imparte clases en la Escuela Superior de Arte del Principado de Asturias y ocupa el puesto de co-director (con D. Avelino Gutiérrez) del curso de postgrado en calidad de experto de la Universidad de Oviedo "Gestión y Conservación de bienes arqueológicos".



Araceli Rojo Álvarez

Ha obtenido su licenciatura en la Geología en 1996 y su grado (Tesis de licenciatura) en el año 2000, ambas por la Universidad de Oviedo, habiendo realizado los cursos de doctorado entre los años 1996 - 1998. Ha participado en 9 proyectos de investigación, ha publicado 26 documentos científicos en revistas nacionales e internacionales y ha asistido a 12 congresos relacionados con diversos aspectos de la geología. Ha realizado labores docentes impartiendo clases prácticas de Petrología Aplicada y Rocas Industriales en la Facultad de Geología de la Universidad de Oviedo durante los años 1997 – 2000. Ha participado en 4 cursos de verano de la Universidad de Oviedo (2003, 2005, 2006 y 2012), llevando la dirección/ coordinación del organizado en 2012. Ha impartido docencia en un curso experto de la Universidad de Oviedo (2007 – 2008) y en 3 másteres organizados por la Fundación Laboral de La Construcción de Asturias (2011 – 2012).

Es uno de los socios fundadores de GEA asesoría geológica, desarrollando su actividad profesional en esta empresa desde 2001, con una experiencia 12 años en diversos campos de geología como la petrofísica, la caracterización de materiales, la restauración, la geotécnica, el I+D+i, y la formación. Como miembro de esta empresa ha participado en más de 200 proyectos ligados a la caracterización de materiales aplicados al patrimonio arquitectónico, la construcción e ingeniería.



Verónica Fernández Cuesta

Licenciada en Geología por la Universidad de Oviedo (2010). Durante el segundo ciclo de la licenciatura ya fue becaria en la Universidad de Oviedo en diversos proyectos, como por ejemplo INTERFASE y I-STONE, así como becaria en la empresa GEA asesoría geológica. Al obtener la licenciatura fue becada por La Fundación Universidad de Oviedo para iniciar trabajos de laboratorio en la empresa GEA asesoría geológica, donde está contratada en la actualidad.

En esta empresa realiza estudios de caracterización, diagnosis y conservación de todo tipo de materiales constructivos pertenecientes al patrimonio histórico y arqueológico, así como actuales. Asimismo se ocupa de la puesta a punto y mantenimiento del equipamiento instrumental de laboratorio.



Pablo Klett Fernández

Licenciado en Bellas Artes, Especializado en Restauración de BBCC. Universidad Complutense de Madrid (1994-1999). Participó como colaborador honorífico en el equipo investigador en diversos estudios realizados en el Departamento de Restauración de Universidad de BBAA. de la UCM.

Comenzó su actividad profesional en el campo de la restauración, por cuenta propia en 1999. En diciembre 2002 pasó a formar parte de la plantilla de la empresa Técnicas de Arquitectura Monumental, S.A., siendo designado en 2004 Responsable del Departamento de Restauración de Bienes Muebles. Participó como miembro del equipo multidisciplinar que realizó los “Estudios complementarios petrológicos de la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo” y actualmente interviene en su restauración.



Luis Valdeón Menéndez

GEA asesoría geológica
correo@geaasesoriageologica.com

Luis Valdeón ha desarrollado toda su carrera profesional en el ámbito de la conservación de patrimonio histórico-arqueológico y evaluación de materiales pétreos, combinando una completa base de formación científico-técnica con una dilatada experiencia profesional a pie de obra. Tras doctorarse en Geología en la Universidad de Oviedo en 1989, realizó estudios postdoctorales en el Imperial College de Londres (1989-2001) donde se especializó en la aplicación de técnicas no destructivas a materiales pétreos. En estos ámbitos posee más de cuarenta publicaciones en congresos y revistas nacionales e internacionales. Ha realizado cientos de trabajos en intervenciones de patrimonio monumental o estudios previos a las mismas, investigando asimismo el comportamiento de materiales constructivos y ornamentales en, por ejemplo, excavaciones arqueológicas, como las del yacimiento de Contrebia Leucade (La Rioja), o sobre bienes declarados patrimonio de la Humanidad, como el prerrománico asturiano (Monumentos de Oviedo y del Reino de Asturias), o Monasterio de Yuso (La Rioja), así como en catedrales, capillas y monumentos civiles de todo el país.

Desde 2001 es socio fundador, de la empresa GEA asesoría geológica especializada en estudios sobre Conservación y Restauración de Patrimonio y la caracterización de todo tipo de materiales. Es miembro activo del Grupo Español del International Institute for Conservation (GE-IIC) en donde ha formado parte de los comités científicos del grupo de trabajo “piedra”.



Félix Javier Mateos Redondo

Licenciado y Doctor en Ciencias Geológicas por la Universidad de Oviedo (1995-1999; 2011), en el año 1999 comienza su andadura profesional como investigador contratado dentro de los grupos de "Alteración y Durabilidad" y "Petrofísica" del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, donde durante más de una década (1999-2010) ha participado en numerosos proyectos de investigación de ámbito internacional (CONNET, ALIANCE, McDUR, CURRIC, FUNMIG, I-STONE, EPISCON..) y nacional (INTERFASE, NANOROCK, PERDURABLE..), así como decenas de contratos de investigación y/o servicios con empresas, fundaciones y organismos públicos.

Paralelamente a su actividad universitaria, en el año 2001 pasa a formar parte como Socio Fundador de la empresa GEA asesoría geológica, con sede en Oviedo, consultora especializada en campos como la conservación del patrimonio histórico-artístico, caracterización de materiales y petrofísica.

Jornada sobre conservación de patrimonio

Rosa M^a Esbert In Memoriam

16 de mayo de 2013



El apostolado de la Cámara Santa de la catedral de Oviedo: estudio de materiales

Araceli Rojo Álvarez

Resumen: El apostolado de la cámara Santa de la catedral de San Salvador de Oviedo es uno de los grupos escultóricos más representativos del románico asturiano. Este apostolado se adosó a la capilla prerrománica, en el siglo XII, con un nuevo enlucido pictórico. En este trabajo se caracterizó el soporte pétreo y se identificó la posible policromía original. El apostolado está labrado en dolomía de Laspra y de los restos pictóricos analizados se deduce que la técnica utilizada ha sido la pintura al óleo. Se identificaron capas de imprimación previas a la aplicación del color. Las bases de preparación están elaboradas con pigmentos secantes de blanco de plomo y tierras y otras con blanco de huesos mezclado con blanco de plomo. Se conocen intervenciones similares a éstas, anteriores al siglo XIV, en otras catedrales españolas. También aparecen repintes posteriores, elaborados a base de blanco de plomo y tierras rojas.

Palabras clave: Cámara santa, Catedral de Oviedo, Prerrománico, Dolomía de Laspra, Pigmentos.

The Holy Chamber apostolate of the Cathedral of Oviedo: study materials

Abstract: The Holly Chamber apostolate of the cathedral of San Salvador de Oviedo is one of the more representative sculptural groups of the Romanesque period. This apostolate was attached to the pre-Romanesque chapel in the XII century, with a new pictorial plaster. In this research, the stone support was characterized and the possible original polychrome was identified. The apostolate is carved in Laspra dolomite and after the analysis of the pictorial remains it could be deduced that oil painting was the used technique. Moreover, we have found that primer coatings were applied before the application of color. The base coats are made with drying pigments of white lead and clay earth, and others with bone white mixed with white lead. Similar interventions are known, prior to the fourteenth century, in other Spanish cathedrals. Overpainting also appears, prepared from white lead and red earth.

Key words: Holly chamber, Oviedo Cathedral, Laspra Stone, pigments.

Introducción

La Cámara Santa, emplazada en la catedral de San Salvador de Oviedo e incluida en el conjunto Monumentos de Oviedo y del Reino de Asturias, bienes declarados como Patrimonio Mundial, corresponde a una capilla doble con cripta, adosada a una torre anterior, de la época paleocristiana.

En el último tercio del siglo XII, el piso superior de la Cámara Santa sufrió una modificación en la nave (García de Castro 2012: 43). Se desmonta la primitiva techumbre de

madera y se habilita un nuevo plano de imposta sobre el que se eleva una bóveda de cañón, construida en mampostería de arenisca y toba calcárea [figura 1]. Las impostas laterales descansan sobre columnas con pedestales, en cuyos fustes, en piedra de Laspra, ha sido labrado un apostolado que constituye uno de los grupos escultóricos más significativos del románico hispánico [figura 2].

La reforma de la Cámara Santa, tres siglos después de su construcción, conlleva la aplicación de un nuevo enlucido pictórico sobre el programa iconográfico altomedieval. Los espacios pintados alcanzarían a toda la estancia de la

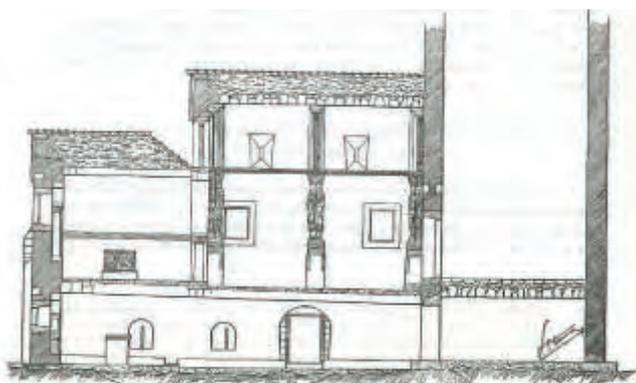
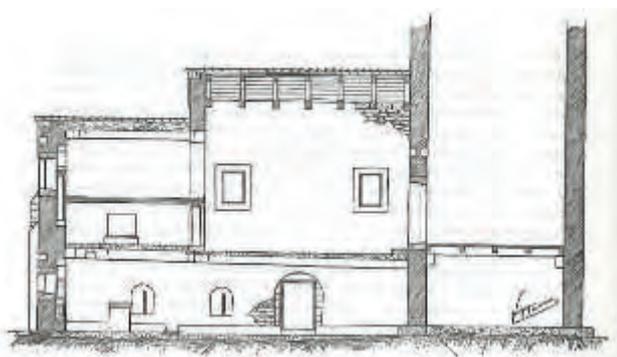


Figura 1. Corte longitudinal de la Cámara Santa antes (arriba) y después (abajo) de la reforma efectuada en el siglo XII (Dibujo y Estudio de Víctor Hevia, Fernández y Hevia, 1984: 96).

capilla y, por tanto, al conjunto escultórico del apostolado (Arias 2013: 13).

Durante la revolución de Asturias de 1934, se intentó destruir la torre gótica de la catedral, colocando una carga de dinamita en el interior de la cripta (Menéndez 1960: 3). Esta explosión destruyó casi por completo la Cámara Santa, quedando solo en pie aquello que tenía detrás algún agregado o refuerzo.

Los trabajos llevados a cabo por el arquitecto Alejandro Ferrant y el arqueólogo Manuel Gómez Moreno, permitieron recuperar las joyas que atesoraba la Cámara Santa, encargándose el escultor Víctor Hevia de la clasificación de los materiales constructivos mutilados (Hevia 2006: 168).

Finalizada la Guerra Civil, Luis Menéndez Pidal llegó a Oviedo con el encargo oficial de la restauración de la Cámara Santa, pero el Patronato de Reconstrucción de la Catedral ya había iniciado unos trabajos de urgencia, adjudicando las labores de restauración a Víctor Hevia (Fernández y Hevia 1984: 126).

Resulta evidente que ante las innumerables vicisitudes ocurridas a lo largo de los años, la dolomía de Laspra, piedra mayoritaria en el interior de la Cámara Santa, haya podido sufrir diferentes policromías, repolicromías y/o re-

pintes, sin olvidar la presencia de pátinas, imprimaciones, revestimientos y/o recubrimientos, aplicados con fines estéticos y/o protectores. La correcta lectura de las superficies originales condicionará las futuras labores de restauración y las estrategias preventivas previstas para la conservación y mantenimiento de este conjunto escultórico.

El objetivo de este estudio se centra en caracterizar el sustrato pétreo, la policromía original y las capas superpuestas, así como la extensión y estado de conservación de las mismas.

Análisis de materiales

Los estudios que a continuación se presentan, se articulan en tres apartados: sustrato pétreo, capas pictóricas y revestimientos y morteros de reposición.

El criterio seguido en el muestreo parte de un examen minucioso preliminar de las superficies del apostolado, para posteriormente centrarse en dos grupos escultóricos; uno caído tras la voladura de 1934 y otro mantenido en posición original. Tales grupos han sido los formados por San Pedro y San Pablo y por San Simón y San Judas Tadeo. Esta elección ha estado también condicionada por su localización en el interior de capilla; costado norte (San Simón y San Judas) y costado sur (San Pedro y San Pablo). El muro norte, sometido a la acción directa del agua, presenta un mayor grado de deterioro que el observado en el muro sur, protegido de las inclemencias meteorológicas por el ala norte del claustro de la catedral.

Simultáneamente se han recogido muestras complementarias, en otros grupos escultóricos, con objeto de constatar los datos analíticos obtenidos en las zonas de control.

La nomenclatura seguida en el muestreo asigna letras de la A a la F para indicar cada grupo apostólico pareado [figura 3], seguido de las letras Ar, c, C, F, p y Pa correspondientes a arco fajón, cimacio, capitel, fuste, podio y paramento, respectivamente, seguido de un número de referencia correlativo. Así, a modo de ejemplo, la micromuestra ArEB12 ha sido recogida en el arco fajón, localizado entre San Pedro y San Pablo (E) y Santiago y San Juan (B).

2.1.- Sustrato pétreo

Menéndez Pidal, en 1960, identifica la piedra blanca "de la Sierra", posteriormente denominada Piedra de Laspra (Esbert 2004: 284), como material de labra, empleado en el conjunto escultórico del siglo XII. Se trata de una dolomía del Terciario inferior, explotada en la ciudad de Oviedo y alrededores, constituida en un 95% por dolomita.

Esta roca aflora en el "Picu Sierra", próximo a la estación de Viella (Granda), con labores de extracción recientes (Esbert y Marcos 1983: 55). Debieron de existir varias zonas de ex-



Figura 2. Arriba: Costado Norte, de izquierda a derecha; San Simón, San Judas, Santiago, San Juan, San Andrés y San Mateo. Abajo: Costado sur, de izquierda a derecha; Santiago el menor y San Felipe, San Pedro y San Pablo, Santo Tomás y San Bartolomé

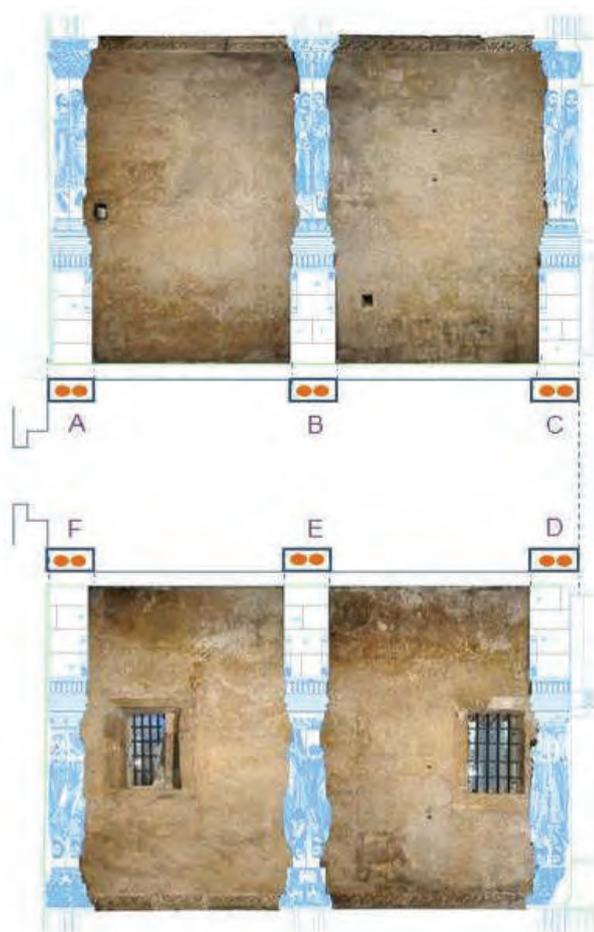


Figura 3. Esquema en planta con sus correspondientes alzados (norte y sur) donde se adjudica una letra a cada grupo escultórico aparejado. De izquierda a derecha la correspondencia es la siguiente: A - San Simón y San Judas, B - Santiago y San Juan, C - San Andrés y San Mateo, D - Santiago el menor y San Felipe, E - San Pedro y San Pablo, F - Santo Tomás y San Bartolomé.

plotación de esta dolomía (Amilladoiro en 1473, Omilladoiro en 1493, Milladoiro en 1505 y Santa Olalla de Colloto en 1520), localizándose la principal en el barrio del Cristo (Ebert y Marcos 1983: 54) y en La Canterona, lugar que ocupa actualmente el barrio de Montecerrao (Gutierrez y Torres 1995: 197).

Menéndez Pidal también hace referencia al tipo de labra al afirmar que la piedra primitiva fue trabajada a pica fina y trinchante, alcanzándose el pulido en las columnas, capiteles y cimacios aprovechados y haciendo hincapié que en la obra escultórica del siglo XII, el trabajo de labra es aún más delicado, realizándose con instrumentos cortantes (Menéndez Pidal 1960: 13).

En lo que respecta a la superficie de labra de esta piedra dolomítica, Cuesta y Sandoval citan la presencia de firmas o marcas especiales románicas que posteriormente desaparecen en el Renacimiento (Cuesta y Sandoval 1920: 14). Estos signos lapidarios se atribuyen a antiguos gremios del siglo XI, realizados para reconocer la obra ejecutada por cada uno de los obreros y poder así liquidar sus jornales (marcas de propiedad) o para marcar la orientación y posición de los bloques y facilitar así su colocación (marcas de posición y ensamblado) (Pardo, Cortázar y Sanz 2009: 149), aunque en ocasiones, estos signos podían tener un significado simbólico.

Cuesta y Sandoval (1920:16) añaden que muchos artistas centroeuropeos abandonaban sus hogares para convertirse en propagadores del nuevo arte, añadiendo ciertas señales para identificar sus obras. Un ejemplo son los círculos cortados por un diámetro horizontal, correspondientes a artistas franceses de Chartres y las marcas de seis remates (estrella de Salomón) que indican nacionalidad alemana de Hamburgo.

Gutiérrez y sus colaboradores (2013: 20-21), en su libro sobre las canteras históricas de Oviedo, recogen la relación de pedreros del municipio de Oviedo en el siglo XIII, así como el nombre y residencia de los canteros de las explotaciones de Piedramuelle y Laspra, en el primer tercio del siglo XVI.

En los estudios complementarios de la Cámara Santa, se recogen sobre los planos las herramientas empleadas por los canteros de la época (Cuenca y Hevia 2012: plano-documento nº 2), así como algunas de las marcas observadas en podios y cimacios (Cuenca y Hevia 2012: plano-documento nº 13).

Durante las labores de restauración de la Cámara Santa será posible registrar aquellos signos que pudieran haber pasado desapercibidos por el grado de ensuciamiento y descohesión de algunas de las superficies pétreas.

La dolomía de Laspra es una roca bastante homogénea constituida por dolomita, cuarzo y filosilicatos [figura 4]. El tamaño de grano de esta dolomía (< 4 µm) condicio-

na la textura y homogeneidad de este material [figura 4], convirtiéndolo en una roca compacta pero relativamente blanda, muy adecuada para trabajos escultóricos de labra fina.

2.2.- Capas pictóricas y revestimientos

Las pinturas se presentan como una superposición constituida por una o más capas de preparación; blancas o coloreadas (Gómez 2004: 19), seguidas de una o varias capas pictóricas coloreadas que pueden aparecer recubiertas por una capa de protección, en este caso aplicadas sobre dolomía de Laspra.

La relación de pigmentos y metales identificados en el estudio estratigráfico de las micromuestras analizadas, se presenta a continuación:

(a) Blanco de Plomo

También conocido como albayalde, es el pigmento más

importante en la pintura occidental desde la antigüedad hasta el siglo XX. De color blanco, está constituido por carbonato básico de plomo [$2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$].

Es el pigmento más frecuente en el apostolado y ha sido identificado en 23 muestras. En la mayoría de los casos aparece aplicado directamente sobre la piedra de Laspra, en una o varias manos y casi siempre acompañado de calcita y en ocasiones también de yeso.

En las muestras analizadas se detectan diferentes tipos de albayalde: aplicados en una mano, con calcita y/o yeso, aplicados en dos y tres manos, en capas superpuestas, mezclados con tierras rojas, aplicados sobre estucos, aplicados con, sobre y bajo negro carbón, aplicados con aceite secante, con resina de colofonia y con cera de abeja (en superficie).

En base a estas particularidades, se establecen 5 tipos de albayalde, con diferentes coloraciones [figura 5], presumiblemente aplicados en diferentes momentos históricos o en distintas intervenciones. A continuación exponemos los distintos tipos y sus características fundamentales:

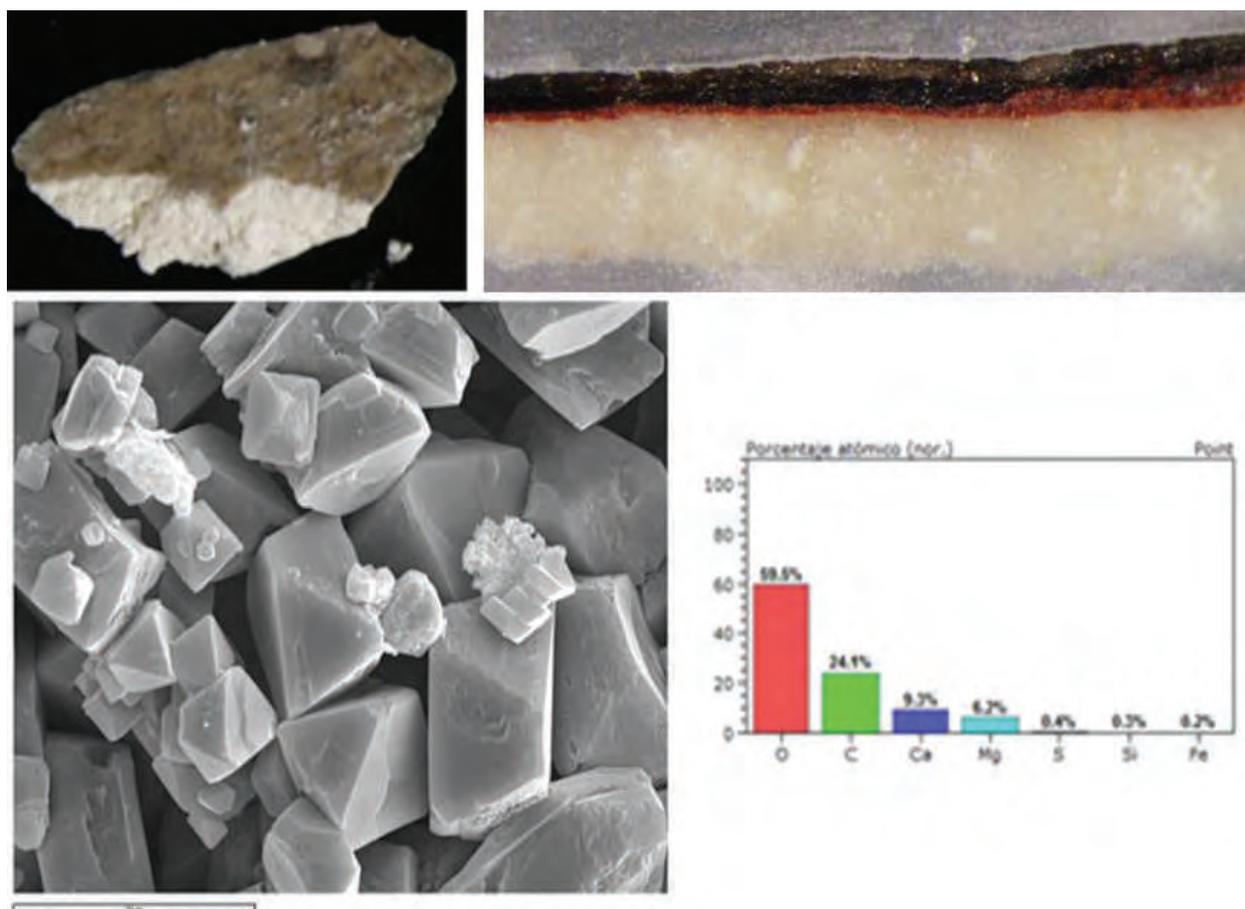


Figura 4. Arriba: Aspecto macroscópico y sección estratigráfica de una muestra recogida en el apostolado de la Cámara Santa. Abajo: Micrografía al microscopio electrónico de barrido (SEM) de la dolomía de Laspra e histograma de porcentajes atómicos de los elementos químicos analizados al SEM –EDX. Tal como se deduce del histograma esta roca está constituida por dolomita, algo de calcita, cuarzo (SiO_2) y óxidos o hidróxidos de hierro.

Albayalde de color ocre: Se detecta en 5 muestras y pudiera tratarse de una de las capas más antiguas presentes en el apostolado.

- Siempre aparece mezclado con carbonato cálcico (calcita) y a veces, con silicatos.
- Aparece directamente aplicado sobre la piedra de Laspra.
- Suele llevar por encima una o dos capas de albayalde blanco o albayalde rojo.
- Se ha detectado en capiteles, podios y arcos fajones.
- Se ha identificado en los grupos E (San Pedro y San Pablo) y D (Santiago el menor y San Felipe).
- Siempre aparece acompañado de aceite secante y resina de colofonia.
- En ocasiones, aplicado en 2 manos, presenta espesores medios de 100 µm que aumentan en función del número de aplicaciones.

Albayalde de color rojo: Se detecta en 10 de las muestras analizadas y su disposición, incluso sobre superficies de rotura de piedra de Laspra, descarta que corresponda a una pintura de factura original. Además, la proliferación de estos restos pictóricos sobre mantos, fustes y podios, sin ningún criterio cromático, hace pensar que corresponda a una base de preparación de una posterior aplicación pictórica.

- Siempre aparece mezclado con tierras rojas, sulfato cálcico (yeso), carbonato cálcico (calcita) y carbonato cálcico – magnésico (dolomita).
- Aparece directamente aplicado sobre la piedra de

Laspra.

- A veces presenta sobreimpuesto una de capa albayalde de color blanco sin negro carbón o con negro carbón.
- Se ha detectado en capiteles, fustes, podios y arcos fajones.
- Se ha identificado en los grupos A (San Simón y San Judas), C (San Andrés y San Mateo), E (San Pedro y San Pablo) y F (Santo Tomás y San Bartolomé).
- Siempre aparece acompañado de aceite secante y resina de colofonia.
- Sus espesores medios rondan las 20 µm.

Albayalde sobre estuco: Se ha detectado en 3 muestras y al igual que el albayalde rojo, podría tratarse de una base de preparación para una posterior aplicación de un repinte, del cual no quedan restos en la actualidad.

- Siempre aparece aplicado sobre una capa de estuco elaborada a base de cuarzo, aluminosilicatos, sulfato cálcico (yeso), carbonato cálcico (calcita) y óxidos de hierro.
- Se ha detectado en capiteles, cimacios y fustes.
- Se ha identificado en los grupos A (San Simón y San Judas) y E (San Pedro y San Pablo).
- No presenta aceite secante, ni resina de colofonia.
- Muestra espesores medios de 20 µm.

Albayalde de color gris: Se ha detectado en 4 muestras y corresponde a un repinte.

Capa pictórica 6		Albayalde y calcita	Albayalde y calcita
Capa pictórica 5		Albayalde y calcita	
Capa pictórica 4	Albayalde y calcita	Albayalde y calcita	Albayalde y calcita
Capa pictórica 3	Calcita, dolomita, yeso, cuarzo y albayalde	Cal y albayalde	Calcita y albayalde
Capa pictórica 2	Calcita, tierra roja, dolomita, albayalde y yeso		Calcita, yeso, tierra roja, dolomita y albayalde
Capa pictórica 1	Calcita y albayalde, dolomita, cloruros, yeso, óxidos de hierro y cuarzo		Albayalde y calcita
Muestras	ArEB13a	ArEB13b	ArEB13c

Tabla I. Estratigrafía de la muestra ArEB13

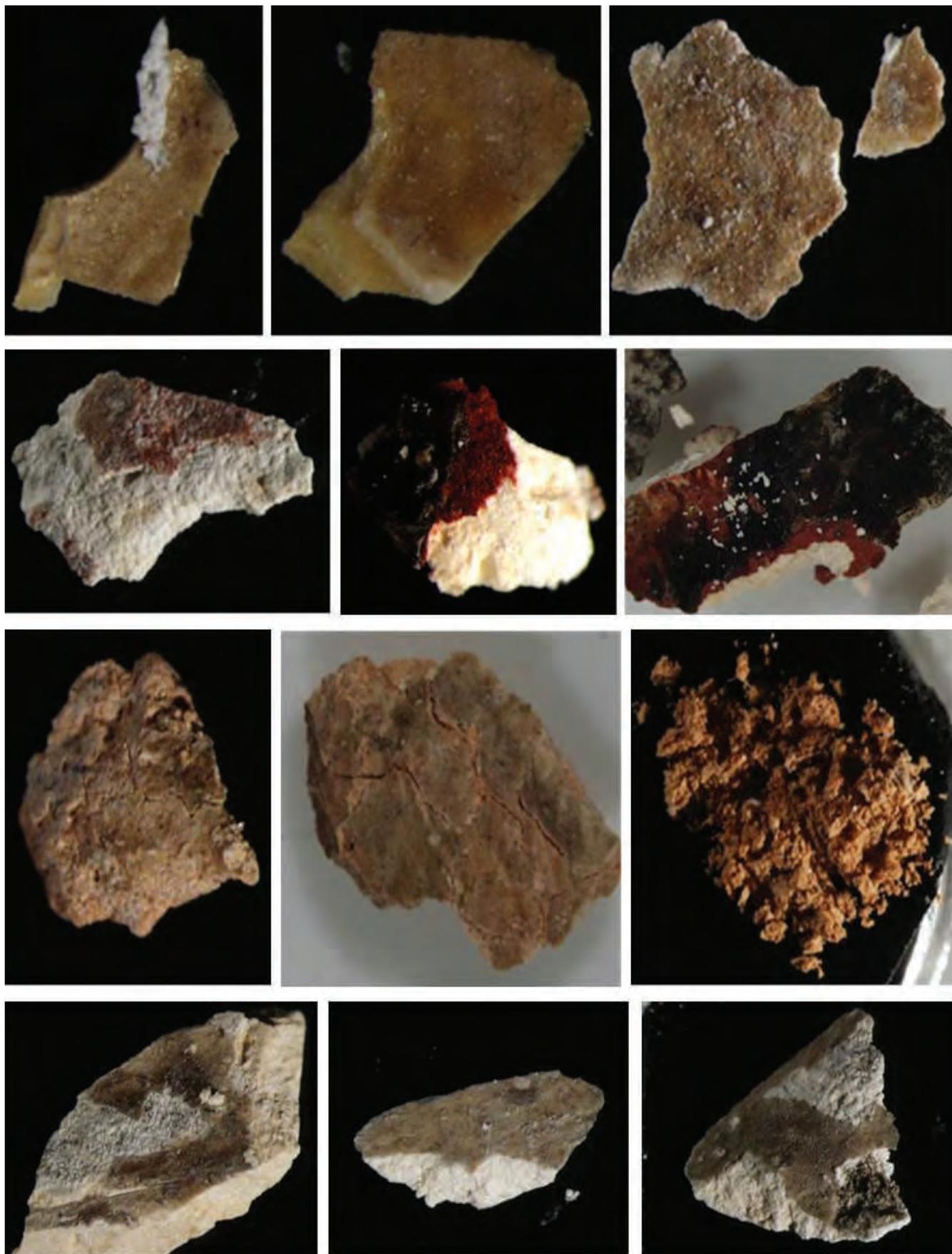


Figura 5. Aspecto macroscópico de las muestras de albayalde, recogidas en el apostolado de la cámara Santa. De arriba abajo: albayalde ocre, albayalde rojo, albayalde sobre estuco y albayalde gris.

- Siempre aparece mezclado con sulfato cálcico y carbonato cálcico, en similar proporción, con o sin carbonato cálcico – magnésico.
- Aparece directamente aplicado sobre la piedra de Laspra.
- Se ha detectado en capiteles y fustes.
- Se ha identificado en los grupos C (San Andrés y San Mateo) y E (San Pedro y San Pablo).
- Siempre aparece asociado a aceite secante, sin resina de colofonia.
- Sus espesores máximos rondan las 10 µm.

Albayalde de color blanco: Se ha detectado en 2 muestras y corresponde a un repinte.

- Siempre aparece mezclado con carbonato cálcico y silicatos.
- Puede aparecer directamente aplicado sobre la piedra de Laspra o sobre alguno de los albayaldes anteriores; ocre (EC1 y Ep19) o rojo (EF7, EF8, EF16, AC22, y ArEB13).
- Se ha detectado en fustes, capiteles, podios y arcos fajones.
- Se ha identificado en los grupos escultóricos E (San Pedro y San Pablo) y A (San Simón y San Judas).
- Siempre ligado al aceite secante, con o sin resina de colofonia.

Establecidos estos grupos, cabe mencionar que ha habido una única muestra donde se ha detectado una secuencia de superposición de hasta 6 capas pictóricas con el consiguiente orden de aparición, del interior al exterior: albayalde de ocre, albayalde rojo y albayalde blanco [tabla 1]

(b) Tierra roja

Constituye un óxido impuro de hierro, también denominado ocre rojo, que ha sido empleado desde la antigüedad. Después del albayalde es el pigmento más común en las muestras analizadas y siempre aparece acompañado de éste.

Se utiliza en todas las técnicas pictóricas (óleo, temple, en el fresco), siendo frecuente en las carnaciones al temple o para pulimento en el óleo (Pacheco 2001: 465). Palomino (1947:91) añade que por su fina textura puede aplicarse para iluminaciones o en las primeras manos en el fresco.

(c) Negro carbón

Corresponde a carbono amorfo de naturaleza vegetal y/o animal. Ha sido detectado en dos muestras, sólo o mezclado con albayalde.

(d) Blanco de hueso

El fosfato tricálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, obtenido a partir de huesos calcinados, ha sido usado raramente en la antigüedad (Mateini y Moles 2001: 51) aunque se conoce su uso en la pintura como estabilizante del blanco de plomo (Cabrera 2010: 22).

En el capitel del grupo escultórico correspondiente a San Pedro y San Pablo se ha detectado una capa de pintura de aspecto blanquecino – ocre, elaborada a base de albayalde, silicatos y blanco de huesos [figura 6]. Esta capa apare-

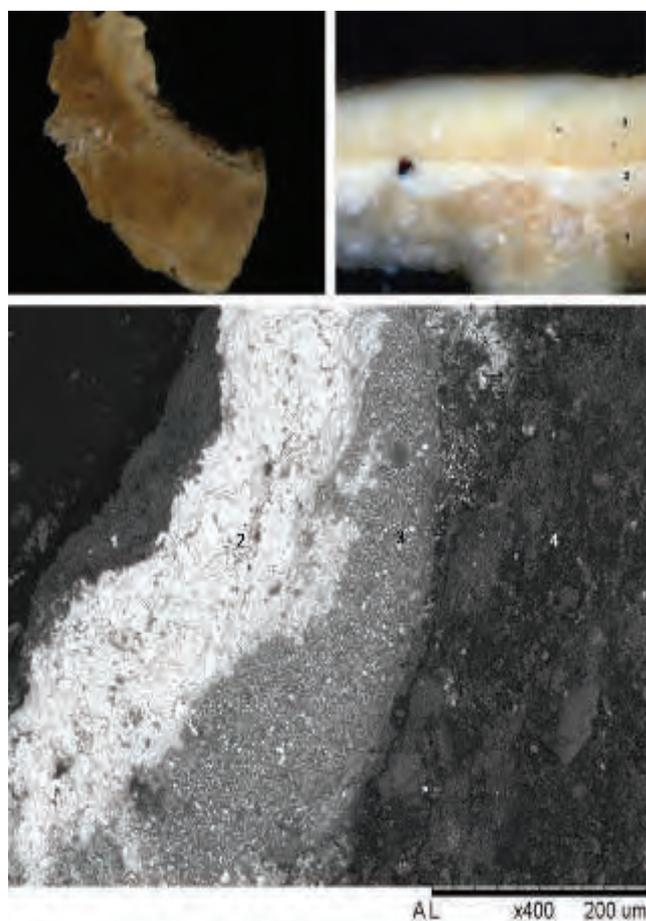


Figura 6. Arriba: Aspecto macroscópico y estratigrafía de la muestra EC5. Sobre la dolomía de Laspra (1) se detecta una capa pictórica de 40 µm de espesor, elaborada a base de albayalde, calcita y silicatos (2). Sobre ésta se dispone una capa ocre – blanquecina, de 110 µm de espesor, que presenta como pigmentos y/o cargas albayalde, silicatos y blanco de hueso (3). Abajo: Micrografía al SEM del aspecto morfológico y textura de la secuencia estratigráfica.

ce aplicada sobre otra inferior elaborada a base de albayalde, calcita y silicatos, en contacto directo con la piedra de Laspra. Por su rareza y disposición podría tratarse de una de las capas pictóricas más antiguas, o quizás se trate de la original. Además es la única en la que se ha identificado aceite de lino como aglutinante orgánico.

Al igual que el blanco de hueso, ha sido exclusivamente identificado en una muestra recogida en un fuste [figura 7] y podría tratarse de una de las capas pictóricas más antiguas que se conserva sobre la superficie del apostolado.

También denominado rojo de plomo, corresponde a un óxido mixto de plomo que se conoce y utiliza desde la antigüedad en todas las técnicas pictóricas y presenta un color anaranjado, con buen poder cubriente.

(e) Minio

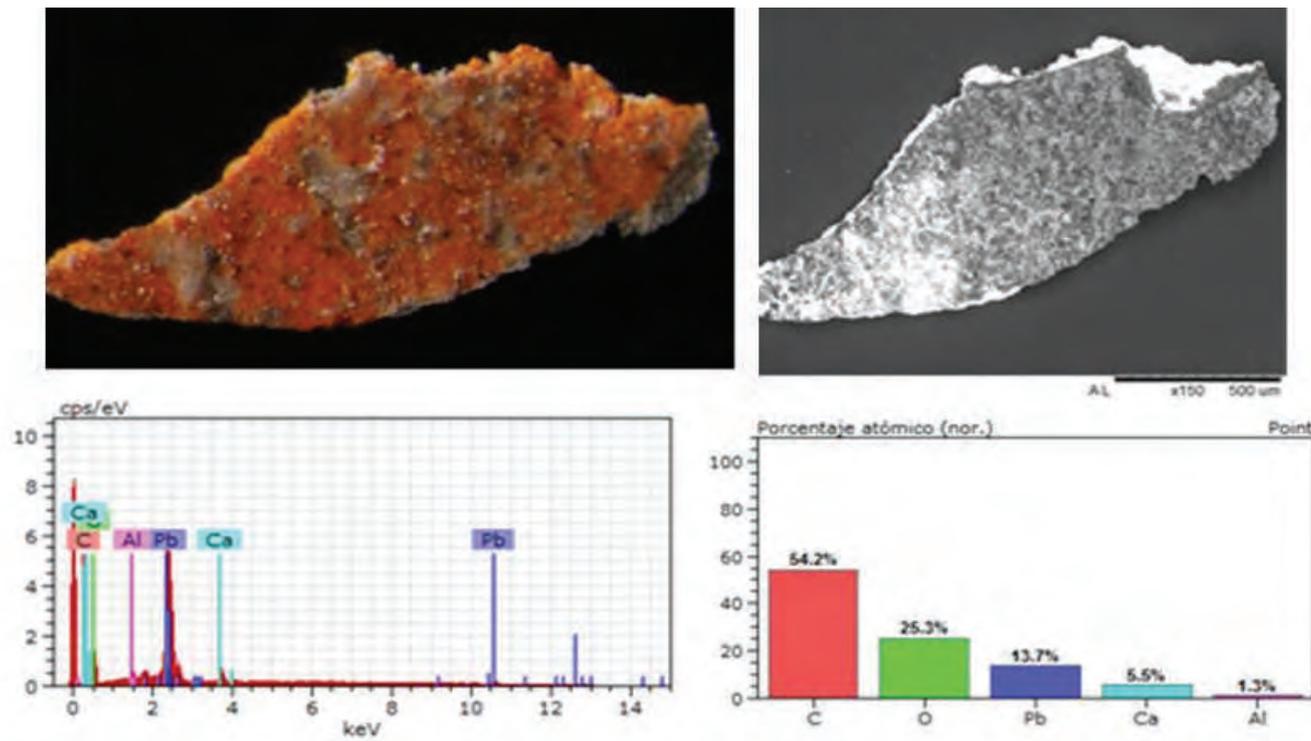


Figura 7.- Aspecto macroscópico y microscópico de la muestra EF25 con su correspondiente espectro EDX y su tabla de porcentajes atómicos. De estos últimos se deduce la presencia de minio como pigmento responsable del color de esta capa pictórica.

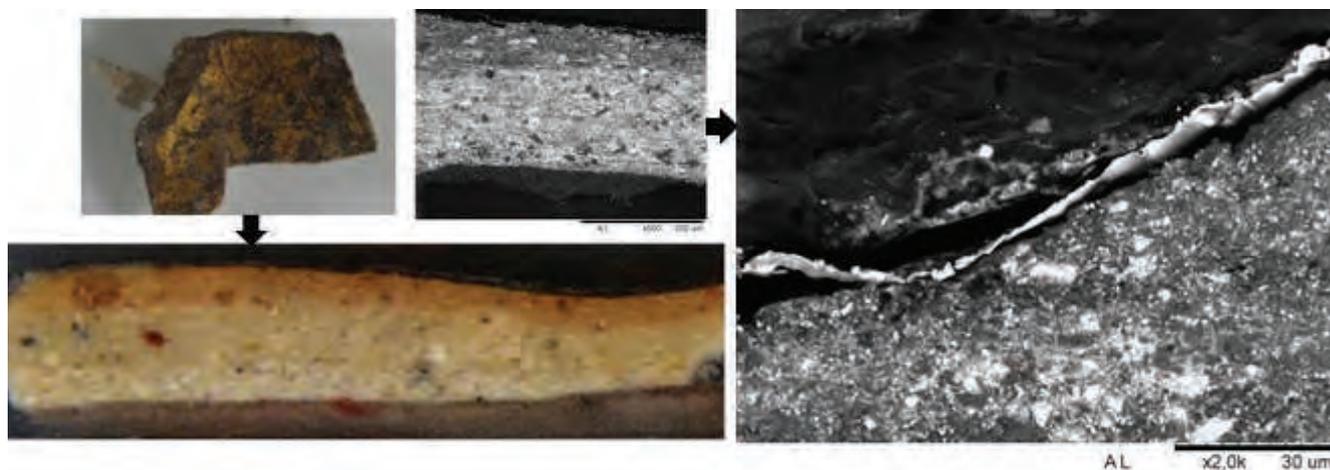


Figura 8. Aspecto macroscópico, microscópico de una lámina de oro, detectada en la muestra ArEB12.

(f) Oro

Se incluye en este apartado una muestra en la cual se ha identificado una lámina de oro, aplicada sobre tres capas pictóricas de albayalde [figura 8].

Además de los pigmentos, en el estudio estratigráfico se han identificado dos tipos de estucos que se describen a continuación.

(a) Estuco rojo

Este estuco ya ha sido descrito en el apartado anterior, al haberse empleado como base de preparación de una capa de albayalde (albayalde sobre estuco). Se trata de una capa de color asalmonado, con un espesor medio de 900 µm, elaborada a base de cuarzo, aluminosilicatos, yeso, calcita y óxidos de hierro que se ha detectado en los párpados de la escultura de San Pedro y en la superficie de algún capitel.

(b) Estuco negro

Este tipo de estuco se localiza en los ojos de las esculturas, excepto en Santo Tomás, y ha sido descrito por Fernández Buelta y Hevia (1984: 113) como empaste de estuco negro. Hevia es el primero en mencionar la presencia de zafiros en los ojos de santo Tomás al levantar las pinturas que cubrían las esculturas entre los años 1919 y 1920 y defiende que todos los apóstoles tuvieron piedras preciosas en las pupilas, restringiendo el estuco negro al iris, quedando la huella de las mismas en los restos de pasta que él pudo observar.

Cuesta y Sandoval (1919: 13) también hacen referencia en sus memorias al hecho de que las estatuas tenían vista, que los ojos estaban admirablemente trabajados al igual que las cejas, apareciendo las cavidades o cajas cubiertas de algo negro como esmalte.

Se han identificado distintos tipos de ojos, aquellos que constan de pupilas de zafiro y otros en los que las pupilas e iris están elaboradas con un estuco negro mate o negro brillante [figura 9].

Para conocer la evolución que han sufrido los ojos se han examinado imágenes de los diferentes grupos escultóricos apeados o "in situ" después de la destrucción de la Cámara Santa. La falta de algunos resulta evidente en las fotografías, como es el caso de San Simón, San Juan, San Pablo y San Bartolomé, aunque podría ser que alguno de ellos haya sido repuesto con anterioridad a la realización del reportaje fotográfico. Durante este estudio se han analizado cuatro ojos correspondientes a las pupilas de San Pedro, San Simón y San Mateo y al iris de Santo Tomás.

El estuco negro mate ha sido muestreado en las pupilas de San Simón y San Mateo y en el iris de Santo Tomás [figura 9]. Este estuco mate está elaborado a base de yeso, calcita

y aluminosilicatos. En la superficie de las muestras se detectan contenidos muy elevados en carbono, originados por la presencia de un recubrimiento orgánico.

El estuco negro brillante ha sido recogido en uno de los ojos de San Pedro y en una de las cejas de San Pablo. En este caso, el componente mayoritario es el azabache, cuyos cristales aparecen aglutinados con una pasta de yeso, calcita y dolomita [figura 9].

Observando los dos tipos de estuco se comprueba que la superficie interna de los mismos presentan estrías de agarre distintas, diseñadas para favorecer su adhesión a la cavidad ocular [figura 9].

Se desconoce si en origen todas las pupilas llevaban incrustaciones de piedras preciosas o vidrios pero, en la actualidad, a excepción de Santo Tomás, las pupilas están elaboradas con estucos negros, probablemente los de color negro brillante que presentan cristales de azabache sean más antiguos, mientras que los de color negro mate, más modernos, podrían corresponder a la restauración de Víctor Hevia. Sin embargo, no se descarta que los ojos elaborados a base de cristales de azabache sean de factura original.

Revestimientos o recubrimientos orgánicos

Se incluyen en este apartado los compuestos orgánicos aplicados con fines aglutinantes, consolidantes o protectores. Las técnicas de estudio empleadas en este tipo de análisis han sido la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR por transmisión y FTIR-ATR) y la cromatografía de gases – espectrometría de masas (GC-MS).

De manera general puede decirse que todas las muestras presentan un recubrimiento superficial de cera de abeja que en algunos casos resulta extremadamente abundante. Sólo se ha encontrado una muestra en la que no aparece cera¹ y es en ella donde se ha identificado el blanco de hueso.

Esta cera aparece en la mayoría de los casos asociada con resina de colofonia. Sólo en las muestras de albayalde gris y de albayalde sobre estucos no se detecta este tipo de resina.

Otro compuesto orgánico detectado en las muestras es el aceite secante aunque sólo en una muestra este aceite ha podido identificarse como aceite de lino. El tipo de aceite empleado en las pinturas se calcula a partir de las proporciones de los ácidos grasos azelaico, palmítico y esteárico, las cuales marcan las pautas para saber si los aceites son de lino, nueces o adormidera. El problema se produce cuando hay ceras mezcladas ya que al presentar éstas elevadas proporciones de estos ácidos, distorsionan los resultados, impidiendo asignar el aceite a un tipo específico. En este caso sólo es correcto hablar de aceite secante. El aceite se-



Figura 9. Superior izquierda: De arriba abajo, detalles de los ojos de los grupos escultóricos D (Santiago el menor y San Felipe), B (San Pedro y San Pablo) y C (Santo Tomás y San Bartolomé). Superior derecha: Detalles de los ojos de Santo Tomás. Inferior: Aspecto macroscópico de los ojos de San Simón (izqda.) y de San Pedro (dcha.) en superficie externa e interna.

cante ha sido identificado en varias muestras, sólo o acompañado de resina de colofonia.

Los aceites se utilizan en las técnicas al óleo u óleo-resinosas; mezclados con proteínas desde el siglo XII, formando emulsiones en técnicas mixtas o témperas, o solos, fundamentalmente desde el siglo XVII en la pintura al óleo, propiamente dicha.

Cabe mencionar que en la mayoría de las muestras también se han detectado oxalatos, originados por la actividad de microorganismos o por degradación oxidativa de los componentes orgánicos de la pintura.

2.3.- Morteros de reintegración

El mortero de reintegración, objeto de este estudio es el que, presumiblemente, ha empleado Víctor Hevia para la reconstrucción de volúmenes perdidos tras la destrucción de la Cámara Santa en 1934. La restauración del apostolado duró 10 meses, durante los cuales Hevia dibujó, modeló fragmentos que luego vaciaba, pulverizó piedra de la misma calidad que la original, manipuló, amasó y colocó pruebas para estudiar el fraguado de cada una de ellas. Menéndez Pidal hace referencia en sus escritos a que en la Cámara Santa fueron empleados todos los elementos

del monumento derruido, previamente recogidos y clasificados, y que se buscaban entre los restos los fragmentos que posteriormente eran unidos con grapas y mortero de ligadura (Menéndez Pidal 1960: 14).

Sobre los criterios de restauración asumidos por Víctor Hevia, Fernando Señas Encina explica que «un observador atento descubre bajo la pátina que cubre los muros, los puntos restaurados para no dar lugar a confusiones cuando alguien quiera estudiar la vicisitudes que ha pasado este monumento» (Hevia y Hevia 2006:193). Ya en ese momento, el escultor huye de la creación de reintegraciones formales ideales, algo asumido actualmente como uno de los criterios básicos de la intervención en materiales pétreos (Esbert y Losada 2003: 26).

Del mortero empleado en las reintegraciones se han recogido dos muestras en dos ubicaciones diferentes; San Pablo y San Judas Tadeo. Se trata de un mortero elaborado a base de cal, molienda de piedra de Laspra y algo de cuarzo. En superficie presenta un recubrimiento pictórico de yeso, calcita y aluminosilicatos.

Los compuestos orgánicos detectados en este recubrimiento superficial son aceite secante, resina de colofonia y cera de abeja. Estos compuestos son los mismos que se han venido detectando en las muestras correspondientes

a las capas pictóricas, recogidas en el apostolado. Este hecho complica la interpretación de los datos obtenidos en los análisis, ya que resulta imposible discernir si la mayoría de los aceites, resinas y ceras detectadas en las muestras, son productos empleados en anteriores intervenciones, proceden de la utilización de la técnica encáustica o corresponden a aglutinantes originales.

3.- Discusión y conclusiones

Del estudio de los escasos restos pictóricos conservados en el Apostolado de la Cámara Santa se deduce que la técnica pictórica utilizada ha sido la de pintura al óleo, mayoritariamente empleada a partir de la segunda mitad del siglo XVI.

Se conocen intervenciones de pintura al aceite sobre elementos de piedra labrada anteriores al siglo XIV en otras catedrales como la de Santa María de Vitoria (Cortazar et al., 2009: 173). En el pórtico de ésta, desde el siglo XV al XX, cuando se realizó la última policromía, los pigmentos han sido diluidos en aceite secante (de linaza) y en todos los casos donde la técnica empleada ha sido al óleo, se aprecia una secuencia estratigráfica concreta. Siempre se identifica una capa de imprimación, previa a la aplicación del color; bien elaborada con blanco de plomo, amarillos y tierras o con blanco de hueso mezclado con albayalde. Ambos tipos de imprimación han sido identificados en el grupo escultórico del apostolado, recubiertos en ocasiones por otros, aplicados en épocas posteriores y elaborados con albayalde y tierras rojas.

Estableciendo similitudes con el pórtico de la catedral de Vitoria, también se ha observado que la aplicación de láminas de oro está relacionada con la técnica al óleo, encontrándose la lámina metálica mate sin bruñir, dispuesta sobre una capa de asiento oleosa con carga de pigmentos. Estos últimos le dan consistencia y cuerpo, acelerando además su secado.

El análisis de las técnicas y pigmentos identificados en el Pórtico de la Gloria de la catedral de Santiago de Compostela, en fase de realización, permitirán establecer, si cabe, comparativas o correlaciones entre muestras pictóricas.

Paralelamente a los estudios de la cámara Santa, se ha procedido al análisis de micromuestras recogidas en la escultura de San Salvador de la catedral de Oviedo, encontrándose cierto paralelismo en el empleo del albayalde y las tierras rojas como base de preparación de otras capas pictóricas. También se ha detectado, en esta escultura, un recubrimiento de cera de abeja con resina de colofonia.

Notas:

[1] Las ceras son sólidos blandos que se usan mezclados con resinas para rebajar el punto de fusión de la mezcla adhesiva

formada. Se utilizan como espesantes del óleo o como consolidantes y adhesivos, solas o mezcladas con resinas terpénicas y como aglutinantes en la encáustica. La encáustica emplea cera sola o mezclada con resina y se utiliza desde la antigüedad. Esta técnica, usada por griegos y romanos hasta la caída del Imperio, se aplica en caliente (Calvo, 1997: 84). En los siglos XVIII y XIX vuelve a ponerse de moda con los descubrimientos arqueológicos del momento (Ramer, 1977: 122). En su Historia natural (siglo I d. C.), Plinio la describe distinguiendo entre pintura a la cera y pintura al encausto (Giannini, 2008:51). Esta última consiste en extender una capa de cera sobre la pintura o el intonaco y después pulirla con trapos de lino. Su aplicación ha tenido fines estéticos para abrillantar la superficie de las pinturas.

Bibliografía

- ARIAS, L. (2013). "Pérdida y conservación de la policromía del apostolado de la Cámara Santa. 70 Aniversario de su destrucción y posterior reconstrucción". *Liño: Revista anual de historia del arte*, nº 19, págs. 9-22
- CABRERA J.Mª. (2010). "La pátina como lenguaje de la piel en el patrimonio construido. Primeras referencias a la Santa Iglesia Catedral de Mallorca". *Encuentro científico de conservación y restauración del patrimonio arquitectónico*. Palma 11 – 13 febrero de 2010. pp 11 – 31
- CALVO, A. (1997). *Conservación y Restauración. Materiales, técnicas y procedimientos De la A a la Z*. Ediciones del Serbal. Cultura Artística
- CORTÁZAR, M.; PARDO, D. y SANZ, D. (2009). *Estudios y restauración del pórtico. Catedral de Santa María de Vitoria – Gasteiz*. Fundación Catedral de Santa María.
- CUENCA C. y HEVIA J. (2012). *Estudios complementarios de la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo, Planos*. Documentos nº 1- nº 29.
- CUESTA, J. y SANDOVAL, A. (1919). *Cámara Santa. Memoria I, presentada al Excmo. Cabildo por los M.I. Sres. D. José Cuesta, Arcipreste y D. Arturo Sandoval, Canónigo Archivero*. Oviedo, Imp. La Cruz. San Vicente, num. 10
- CUESTA, J. y SANDOVAL, A. (1920). *Cámara Santa. Memoria II, presentada al Excmo. Cabildo por los M.I. Sres. D. José Cuesta, Arcipreste y D. Arturo Sandoval, Canónigo Archivero*. Oviedo, Imp. La Cruz. San Vicente, num. 10
- ESBERT, R. Mª y MARCOS, R. (1983). *Las piedras de la catedral de Oviedo y su deterioración*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias.
- ESBERT R.Mª y LOSADA J.Mª (2003). "Intervention criteria in masonry materials". *Revista del Instituto de Patrimonio Histórico Español*, nº 2, 2003. P. 26
- ESBERT, R.Mª; ROJO, A.; ALONSO F.J.; MATEOS, F.J.; 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*. Ed. Nobel, P. 284 – 299.

FERNÁNDEZ BUELTA, J. y HEVIA GRANDA, V. (1984). *Ruinas del Oviedo primitivo*. Instituto de estudios asturianos (I.D.E.A). Principado de Asturias. P. 90.

GARCÍA DE CASTRO, C. (2012). *La reforma románica de la Cámara Santa de la catedral de San Salvador de Oviedo. Monumentos singulares del románico. Nuevas lecturas sobre formas y usos*. Fundación Santa María la Real – C.E.R. pp. 43 – 89

GIANNINI, C. y ROANI, R. 2008. *Diccionario de restauración y diagnóstico*. Ed. Nerea.

GÓMEZ, M^a.L. (2004). *La restauración. Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. Cuadernos Arte Cátedra. Instituto del Patrimonio Histórico Español.

GUTIÉRREZ, M. y TORRES, M. (1995). *Geología de Oviedo. Descripción, recursos y aplicaciones*. Ed. Paraíso. P 197.

GUTIÉRREZ M.; LUQUE C., PANDO L.A. (2012). *Canteras históricas de Oviedo. Aportación al patrimonio arquitectónico*. Hercules Astur Ediciones, pp. 20 – 21.

HEVIA OJANGUREN, P. (2006). "Oviedo: Centro artístico y cultural en la primera mitad del siglo XX. El entorno creativo de un

escultor: Víctor Hevia". *I Congreso de Estudios Asturianos*. Tomo V. Comisión de Artes, Arquitectura y Urbanismo. Real Instituto de Estudios Asturianos, pp. 151 – 175.

HEVIA OJANGUREN, P. Y HEVIA RODRÍGUEZ, V. (2006). "Víctor Hevia: El estudio y los talleres del artista. Claustro de San Vicente – Cámara Santa – Sala Capitular". *I Congreso de Estudios Asturianos*. Tomo V.

MATEINNI, M y MOLES, A. 2001. *La química en la restauración*. NE-REA. Junta de Andalucía – Consejería de Cultura – IAPH.

MENÉNDEZ PIDAL, L. (1960). "La Cámara Santa de Oviedo. Su destrucción y reconstrucción". *Boletín del Instituto de Estudios Asturianos*. nº XXXIX

PACHECO, F. (2001). *El arte de la pintura*. Cátedra, Madrid

PALOMINO DE CASTRO y VELASCO, A. (1947). *El museo pictórico y la escala óptica*. Aguilar. Madrid.

PARRILLA, M^a A. (2007). *El arte de los pigmentos. Análisis histórico – artístico de su evolución a partir de los tratados españoles de Francisco Pacheco y Antonio Palomino*. Tesis doctoral. Departamento Historia del Arte. Universitat de Valencia.

RAMER, B. (1977). "Encaustic paintings in the Petrie Museum: their technology, examination and conservation". *Studies in Conservation*. London



Araceli Rojo Álvarez

Araceli Rojo / GEA asesoría geológica
correo@geaasesoria-geologica.com

Ha obtenido su licenciatura en la Geología en 1996 y su grado (Tesis de licenciatura) en el año 2000, ambas por la Universidad de Oviedo, habiendo realizado los cursos de doctorado entre los años 1996 - 1998. Ha participado en 9 proyectos de investigación, ha publicado 26 documentos científicos en revistas nacionales e internacionales y ha asistido a 12 congresos relacionados con diversos aspectos de la geología. Ha realizado labores docentes impartiendo clases prácticas de Petrología Aplicada y Rocas Industriales en la Facultad de Geología de la Universidad de Oviedo durante los años 1997 – 2000. Ha participado en 4 cursos de verano de la Universidad de Oviedo (2003, 2005, 2006 y 2012), llevando la dirección/coordinación del organizado en 2012. Ha impartido docencia en un curso experto de la Universidad de Oviedo (2007 – 2008) y en 3 másteres organizados por la Fundación Laboral de La Construcción de Asturias (2011 – 2012).

Es uno de los socios fundadores de GEA asesoría geológica, desarrollando su actividad profesional en esta empresa desde 2001, con una experiencia 12 años en diversos campos de geología como la petrofísica, la caracterización de materiales, la restauración, la geotécnica, el I+D+i, y la formación. Como miembro de GEA ha participado en más de 200 proyectos ligados a la caracterización de materiales aplicados al patrimonio arquitectónico, la construcción e ingeniería.

Jornada sobre conservación de patrimonio Rosa M^a Esbert *In Memoriam* 16 de mayo de 2013



Estudio higrotermométrico en la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo.

Félix Javier Mateos Redondo

Resumen: La Cámara Santa presenta una serie de patologías, muchas de las cuales se encuentran en mayor o en menor medida relacionadas con la presencia de humedad. Las sucesivas pérdidas de las pátinas históricas aplicadas sobre las superficies pétreas del conjunto escultórico, claramente relacionadas con la acción del agua líquida o en forma de vapor, están provocando una aceleración en la degradación del conjunto. Ante esta situación, y de cara a su futura intervención, se ha realizado un estudio de humedades que ha permitido conocer el estado higrotermométrico de la Cámara Santa, y plantear una serie de medidas correctoras encaminadas a eliminar o minimizar los mecanismos de deterioro relacionados con la presencia de dicha humedad.

Palabras clave: conservación preventiva, piedra, humedad, temperatura, condensación, higrotermométrico, alteración, punto de rocío

Hygrothermometrical Study in the Holy Chamber of Oviedo Cathedral.

Abstract: The Holy Chamber presents a series of pathologies, many of them related to the humidity presence. The successive losses of historical patinas applied on the sculpture set, clearly related to the action of the liquid or vapor water form, are causing an acceleration in the degradation of the sculptures. In this situation, and in relation to its future intervention, a humidity study has been performed that has allowed to know the Holy Chamber hygrothermometrical conditions, and to propose a series of correctives measures oriented to eliminate or to diminish the mechanisms of deterioration related to the presence of humidity.

Key words: preventive conservation, stone, humidity, temperature, condensation, hygrothermometrical conditions, alteration, dew point

Objetivos

El objetivo del estudio ha sido determinar los principales focos de humedad presentes en el interior de la Cámara Santa, estableciendo en la medida de lo posible sus orígenes. Se ha prestado especial atención al conjunto escultórico, donde los problemas se hacen patentes a simple vista.

Para alcanzar dicho objetivo y, por un periodo de 12 meses (ciclo climático anual), se han llevado a cabo en el interior de la Cámara Santa, mediciones en continuo de temperatura y humedad ambiental, temperatura y contenido en humedad de la superficie de los materiales pétreos, y el cálculo de las temperaturas de rocío.

Metodología

Con el fin de monitorizar las condiciones ambientales existentes en el interior de la Cámara Santa se instalaron un total de 4 equipos de medida Data Logger Testo 177-H1, ocupando diferentes orientaciones y alturas (Figs. 1 y 2). Cada uno de estos equipos registra la temperatura y la humedad relativa del ambiente en el entorno de ubicación del aparato. Con estos dos datos el equipo determina directamente la temperatura del punto de rocío "Td", utilizando para ello transformaciones psicométricas. Finalmente, el equipo lleva conectado a su canal externo una sonda de temperatura superficial cuyos datos son igualmente registrados y almacenados por el Data-Logger.

De la misma manera, la temperatura de las fábricas y del propio apostolado ha sido monitorizada mediante la utilización de un total de 24 sondas de temperatura superficial (Figs.1 y 2), que fueron distribuidas abarcando los 4 muros de la Cámara Santa, diferentes alturas (suelo hasta el techo) y los distintos soportes (muros cargados de mortero y soportes pétreos). Las sondas se encuentran conectadas a 5 equipos Data Logger Testo 177-T4 (4 sondas por equipo), correspondiendo las 4 sondas restantes con los canales

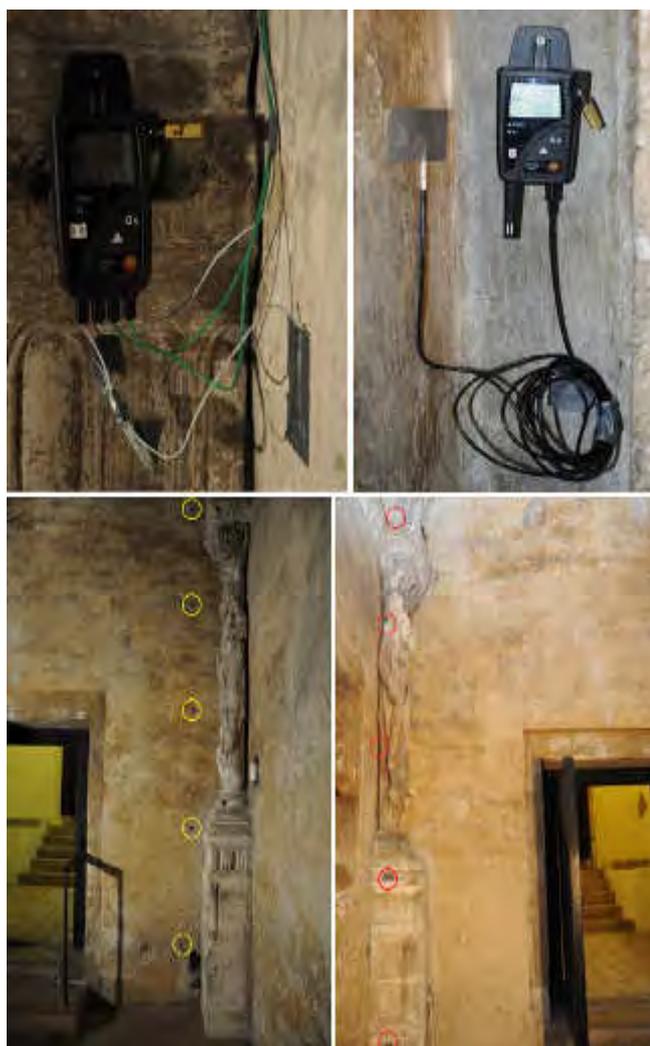


Figura 1. Arriba: Equipos instalados en la Cámara Santa de la catedral de Oviedo. Izquierda; Data Logger Testo177-T4 que dispone de cuatro sondas para la medida de la temperatura superficial. Derecha; Data Logger Testo177-H1 para la medición de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Dispone adicionalmente de una sonda para la medida de la temperatura superficial. Abajo: Detalle de dos de los 5 perfiles verticales de temperatura superficial monitorizados en la Cámara Santa. A la izquierda se enmarcan en un círculo amarillo las cinco sondas de temperatura superficial que a diferentes alturas fueron colocadas en el muro Oeste. A la derecha, perfil vertical constituido por cinco puntos de medida (círculos rojos), en esta ocasión, sobre uno de los apóstoles (Santo Tomás), con el fin de controlar los efectos que la humedad puede generar en estos elementos exentos de los muros y de las posibles aportaciones de humedad ligados a éstos.

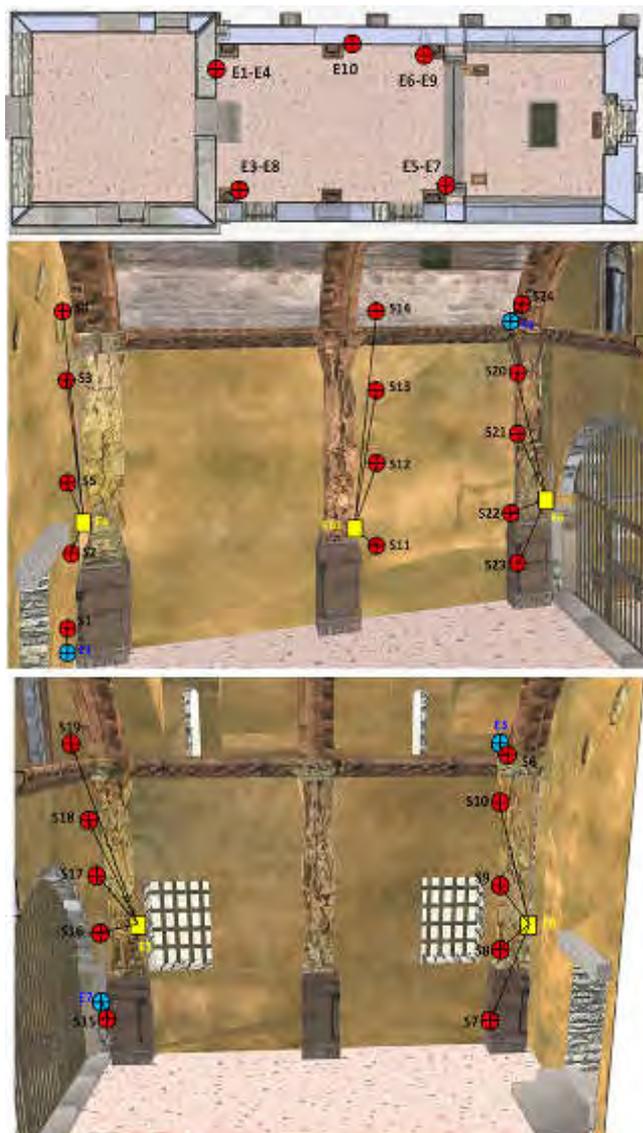


Figura 2. Localización de las diferentes sondas instaladas en la Cámara Santa. Arriba: Localización sobre planta de la ubicación de los diferentes Data-Logger instalados. Medio: Localización sobre reconstrucción virtual 3D (tomado de F.J. Borge Cordovilla) de los distintos equipos y sondas colocadas en el muro Norte y Oeste de la Cámara Santa. Uno de los perfiles verticales de sondas de temperatura superficial fue ubicado en el trasdós de San Andrés. Abajo: Localización sobre reconstrucción virtual 3D (tomado de F.J. Borge Cordovilla) de los diferentes Data Logger instalados en el muros Sur y en el de separación del Camarín. En amarillo se identifican los Data-Logger de los equipos 177-T4 que registran los datos procedentes de 4 sondas de temperatura superficial. En azul se identifican los equipos Data-Logger 177-T1 que además de tomar datos de humedad, temperatura ambiental y punto de rocío, registra los datos medidos por una sonda de temperatura superficial fue ubicado en el trasdós de Santo Tomás.

externos de los equipos Data-Logger 177-H1 de control ambiental anteriormente descritos (1 sonda por equipo).

Ambos equipos han registrado y almacenado en su memoria interna los datos obtenidos, procediendo a una toma de datos cada 5 minutos.

La medición del contenido en humedad superficial ha sido llevada a cabo sobre las fábricas y elementos escultóricos (apostolado) existentes en el interior de la Cámara Santa. Se diseñó una malla de 24 estaciones de medida, distribuidas a modo de 5 perfiles verticales (Fig. 3), coincidentes con las estaciones de temperatura superficial. La altura máxima alcanzada por esta malla se situó próxima a los 5,5 metros.

El principio de funcionamiento del instrumento es la medición por métodos no destructivos de una impedancia. El aparato de medida dispone de 2 electrodos coplanarios. Durante el período de medición una señal de baja frecuencia es transmitida a la superficie del material para medir el cambio en la impedancia provocado por la presencia de humedad.

La toma de datos ha sido realizada de manera mensual, procediendo a la medición de la humedad superficial de las fábricas y del apostolado una vez cada 30 días aproximadamente. Se anotan además las condiciones climatológicas existentes el día de medición y los días previos.

Resultados obtenidos

Los datos recogidos durante los 12 meses de estudio han sido procesados, agrupados por meses naturales y orientación de los muros, analizados estadísticamente y finalmente graficados, a fin de facilitar posteriores labores de interpretación. Fundamentalmente se han elaborado: a) Gráficos mensuales individuales y proyecciones conjuntas de T^a ambiental, humedad relativa ambiental y T^a del punto de rocío, a partir de los datos registrados por los distintos Data Logger Testo 177-H1 (Fig. 4); b) Gráficos mensuales individuales de T^a superficial vs T^a del punto de rocío (monitorización de los episodios de condensación), a par-

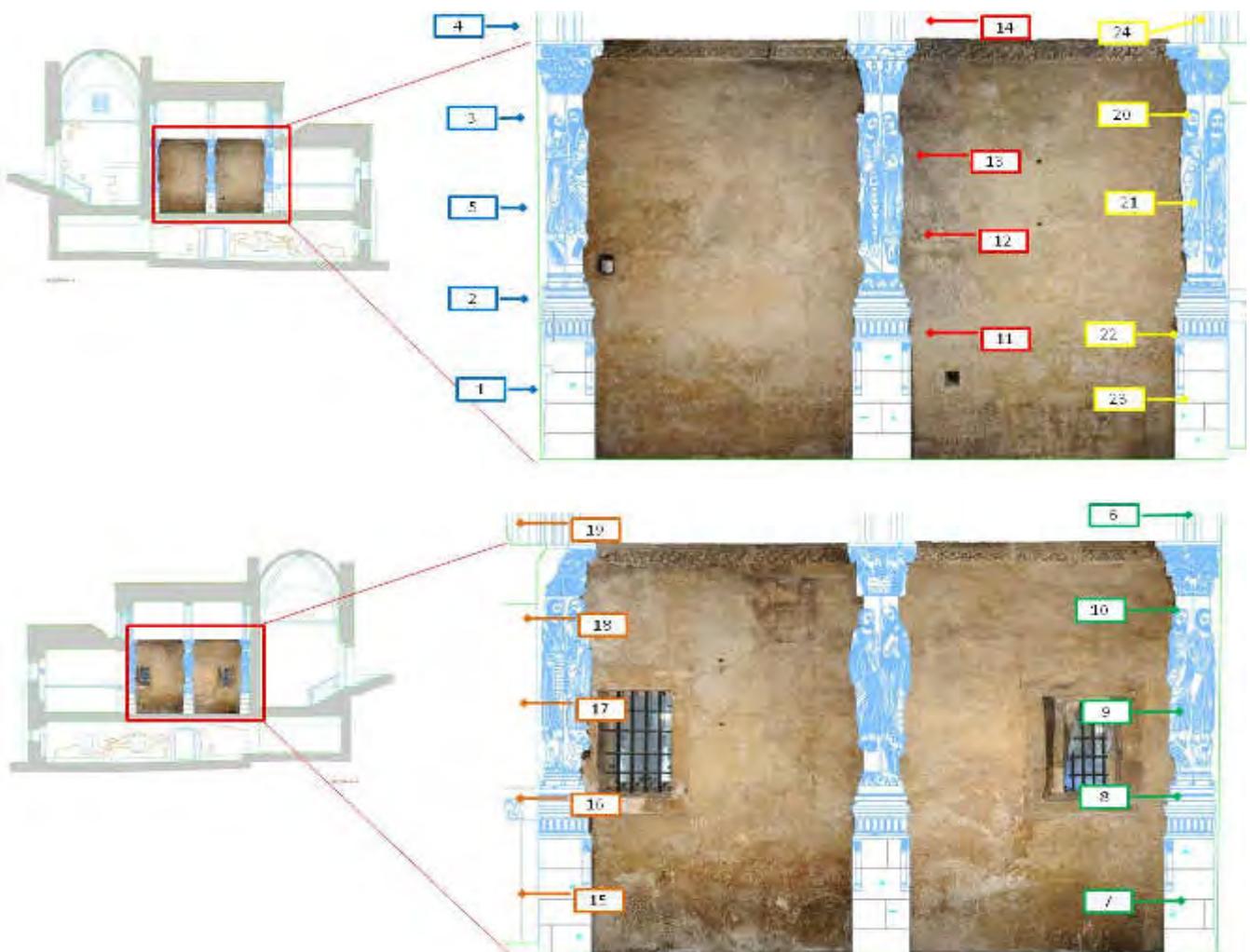


Figura 3. Arriba: Localización de las 14 estaciones de medida de la humedad superficial establecidas en el muro Norte y Oeste de la Cámara Santa, que han sido distribuidas en 3 perfiles verticales. Abajo: Localización de las 10 estaciones de medida de la humedad superficial establecidas en el muro Sur y Este (al Camarín) de la Cámara Santa, que han sido distribuidas en 2 perfiles verticales

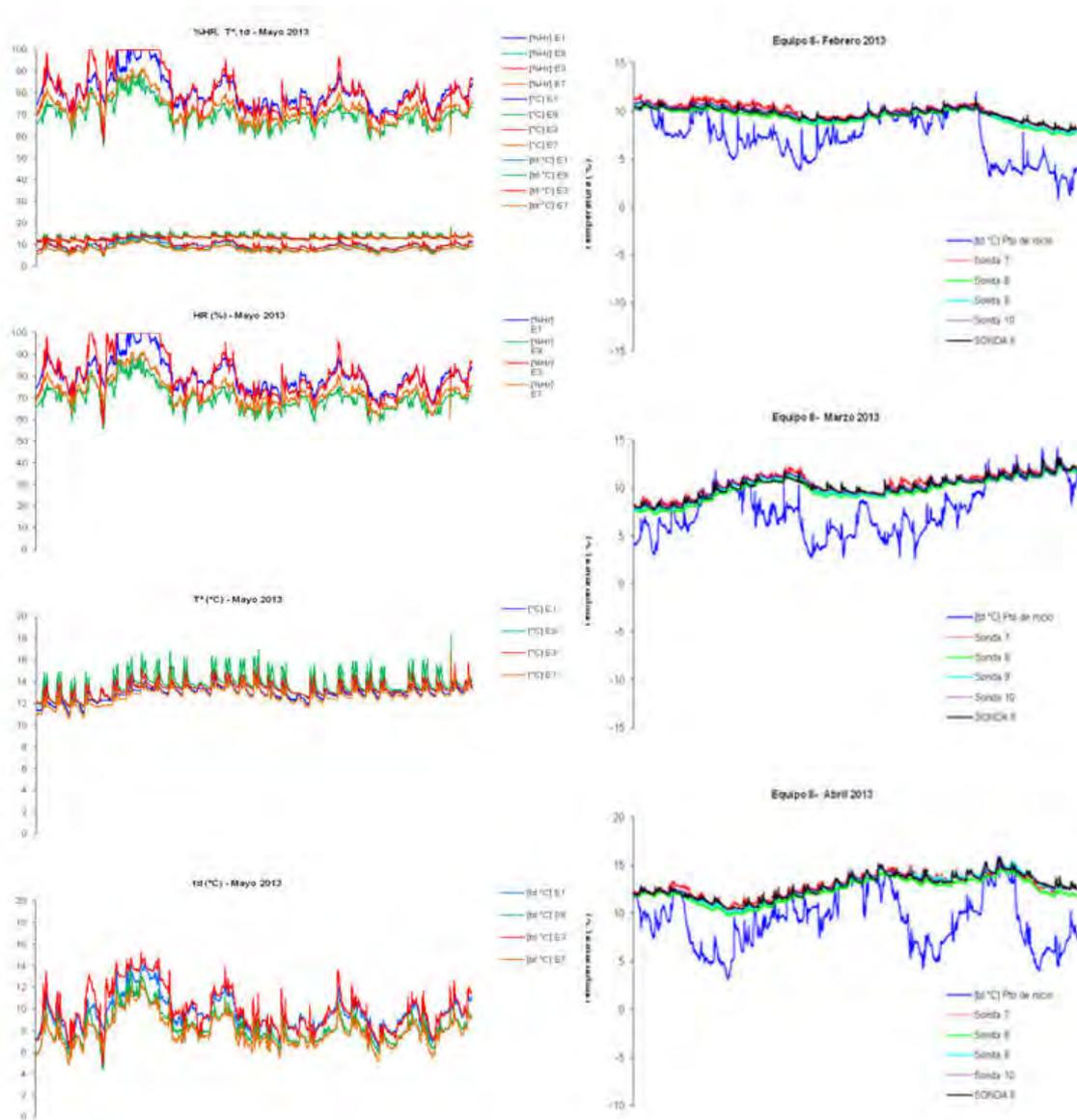


Figura 4. Ejemplo de los centenares de gráficos elaborados a partir de los datos recopilados en la Cámara Santa durante los 12 meses de estudio. Izquierda: Gráficas de humedad ambiental (%), temperatura ambiental Tª (°C) y punto de rocío “Td” (°C) en el interior de la Cámara Santa correspondientes al mes de mayo de 2013. Derecha: Gráficas de temperatura superficial (°C) vs punto de rocío (Td °C) a lo largo de los meses de Febrero, Marzo y Abril de 2013 correspondiente a uno de los puntos de control del muro Sur interior.

tir de los datos registrados por los distintos Data Logger Testo 177-H1 y Testo 177-H4 (Fig. 4) y; c) Tablas de humedad superficial de las superficies pétreas (Tabla I).

Análisis e interpretación de los resultados obtenidos

La monitorización de las condiciones ambientales en el interior de la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo, y el posterior análisis e interpretación de los datos recopilados a lo largo de 12 meses, ha puesto de manifiesto la existencia de abundantes episodios donde las temperaturas de las superficies pétreas son inferiores al punto de rocío, lo que se traduce en la aparición de fenómenos de condensación de agua sobre fábricas y apostolado.

En relación a la distribución temporal de estos fenómenos de condensación, cabe citar las siguientes observaciones:

- Se ha podido comprobar que los fenómenos de condensación en el interior de la Cámara Santa tienen lugar en cualquier mes de año (Tabla II), si bien, su manifestación es más frecuente a lo largo de los meses de primavera y verano.
- De manera general la condensación de agua sobre las superficies pétreas tiene lugar durante el día (10-11h a 19-20h predominantemente), en relación con un rápido ascenso de las temperaturas diurnas tras un descenso nocturno más o menos importante, mientras que, las superficies pétreas, que igualmente han sufrido un descenso

		Fecha	12/11/2012	27/12/2012	30/01/2013	11/03/2013	19/04/2013	30/05/2013	04/07/2013	13/08/2013	17/09/2013	24/10/2013	30/11/2013
		Hora	11:00	13:00	12:15	11:00	14:00	11:00	10:30	11:00	11:00	11:00	10:30
Logger	Altura (cm)	SONDA	Humedad relativa (%)										
E1	53	Abajo 1	13	17	14	20	15	15	16	17	14	17	16
E4	150	Arriba 4	2	13	15	15	15	16	14	20	18	18	15
	254		5	10	13	18	11	9	9	11	13	10	12
	356		3	11	8	12	13	13	12	17	13	14	14
	453		4	10	11	12	14	12	11	16	15	13	13
E10	141	Arriba 14	11	12	20	24	17	17	21	24	25	25	24
	236		12	18	20	23	22	19	22	30	30	23	22
	326		13	20	17	20	15	18	19	25	24	20	18
	455		14	21	10	10	14	11	12	16	13	9	15
E6	53	Abajo 23	17	18	21	22	17	15	25	22	20	24	21
	154		22	18	14	16	19	14	17	20	25	19	19
	254		21	23	17	18	19	16	18	24	23	22	24
	348		20	20	20	19	21	19	22	25	22	21	22
E9	440	Arriba 24	16	14	14	17	11	19	24	23	14	17	

		Fecha	12/11/2012	27/12/2012	30/01/2013	11/03/2013	19/04/2013	30/05/2013	04/07/2013	13/08/2013	17/09/2013	24/10/2013	30/11/2013
		Hora	11:00	13:00	12:15	11:00	13:45	11:00	10:30	10:30	11:00	11:00	10:30
Logger	Altura (cm)	SONDA	Humedad relativa (%)										
E8	49	Abajo 7	13	14	19	15	14	17	25	19	17	15	15
	155		8	18	17	17	17	15	17	19	22	16	17
	238		9	9	10	11	14	9	13	16	20	10	11
	348		10	16	17	11	16	16	19	22	23	15	15
E3	444	Arriba 6	13	14	14	12	11	15	17	18	14	14	
E7	48	Abajo 15	18	9	11	11	7	9	14	13	10	12	
E5	177	Arriba 19	16	10	9	11	12	8	10	16	13	12	11
	275		17	16	21	21	21	16	18	24	22	20	19
	348		18	14	15	16	16	16	14	22	18	14	15
	451		19	14	13	14	14	11	16	19	15	14	14

Tabla I. Valores de humedad superficial (WME-%) obtenidos a lo largo de los 12 meses de monitorización para cada uno de los 5 perfiles establecidos; 3 en el muro norte (arriba) y 2 en el muro Sur (abajo).

		MURO NORTE												
		Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abri.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.
E1-E4		-	-	1	-	7	2	6	10	12	2	-	3	1
E10		-	-	2	1	7	-	4	4	10	2	-	3	1
E6-E9		-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-

		MURO SUR												
		Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abri.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.
E5-E7		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E3-E8		8	6	9	15	15	7	8	13	15	4	3	5	3

Tabla II. Número aproximado de días por mes monitorizado en el que se han detectado fenómenos de condensación en cada uno de los equipos instalados sobre los materiales constructivos de la Cámara Santa.

térmico durante la noche, elevan su temperatura de una manera mucho más lenta ya que se encuentran en el interior protegidas de la acción de los rayos solares, situándose por debajo del punto de rocío ambiental.

Este salto térmico es más importante durante la primavera y más aún durante el verano, razón por la cual, en estas dos estaciones se concentran el mayor número de días de condensación. Destaca igualmente la ocurrencia que ha tenido lugar en la última semana de marzo, coincidiendo con una semana muy calurosa. Este hecho confirma el potencial aumento de los fenómenos de condensación durante episodios de altas temperaturas ambientales en el exterior.

Sin embargo, durante estos periodos anteriormente citados, donde aumenta la frecuencia de los días en que se produce condensación, ésta puede tener lugar durante todo el día de manera continuada, incluso llegando a prolongarse varios días.

A los aspectos térmicos anteriormente descritos, hay que sumar la importante acción de la humedad ambiental que, como se explicará más adelante, es muy elevada en determinadas zonas de la Cámara Santa, contribuyendo notablemente a la generación y focalización de las condensaciones en estas zonas más húmedas.

- Finalmente, cabe citar, que se ha podido compro-

bar tanto en vivo, como con el análisis detallado de los datos obtenidos, que durante las visitas turísticas a la Cámara Santa, y sobre todo, cuando se realizan visitas secuenciales de varios grupos numerosos en un periodo concentrado de tiempo (1-2 horas), se produce un aumento de la humedad (8-10 %) y la temperatura (3-4 °C) en el interior de la Cámara Santa, generando a su vez un aumento instantáneo del punto de rocío.

En relación a la distribución espacial de estos fenómenos de condensación, cabe citar las siguientes observaciones:

- Se concentran fundamentalmente en la esquina Suroeste de la Cámara Santa (muro Sur), coincidiendo con los apóstoles Santo Tomás y San Bartolomé, lo que justificaría en gran medida el deterioro observado en éstos (Fig. 5). En esta zona, se han detectado procesos de condensación de agua durante todos los meses del año, alcanzando en el periodo estival ocurrencias superiores a 15 días/mes donde en mayor o menor medida se ha producido condensación. Por su parte, la esquina Sureste (muro Sur), no muestra ninguna evidencia de condensación de agua sobre las superficies pétreas lo que pone de manifiesto una clara zonificación ambiental del espacio interior de la Cámara Santa, tal y como se describe más adelante.

- En el muro Norte, aunque los episodios de condensación han acontecido con una frecuencia ligeramente menor, han de considerarse igualmente importantes. De manera similar al caso anterior, se han concentrado predominantemente en la esquina Noroeste, y en este caso en la zona central del muro, pudiendo considerarse anecdóticos las manifestaciones de condensación en la esquina Noreste.

- En ambos casos, se puede afirmar que los fenó-

menos de condensación han sido observados para cualquiera de las alturas estudiadas.

- La humedad medida en los muros es en general baja, dada la naturaleza de los materiales constructivos y la presencia de acabados o tratamientos superficiales impermeabilizantes (pátinas, ceras y veladuras). En las superficies desnudas, donde los fenómenos de alteración han provocado la saltación de estos acabados superficiales, los valores de humedad superficial han sido medidos puntualmente, comprobando que son mucho más elevados.

Cabe destacar un aumento relativamente importante en los valores de humedad superficial coincidiendo con los periodos donde los fenómenos de condensación ocurren de manera continuada durante varios días (verano), demostrando una vez más, la incidencia de los fenómenos de condensación con la humectación de las fábricas y su consiguiente alteración.

En relación a la zonificación ambiental de la Cámara Santa, cabe citar las siguientes observaciones:

- En base a los valores medios en humedad ambiental, temperatura ambiental y punto de rocío se puede afirmar que, pese a la pequeña superficie y volumen del interior de la Cámara Santa, existe una importante zonificación ambiental (Fig. 6).

- Las esquinas Suroeste y Noroeste, zonas mayor condensación, coinciden con las zonas con mayor humedad, detectándose frecuentes periodos prolongados de humedad ambiental del 100 % (días a semanas).

En estas mismas áreas se han medido los puntos de rocío más elevados, lo que facilita la aparición de fenómenos de

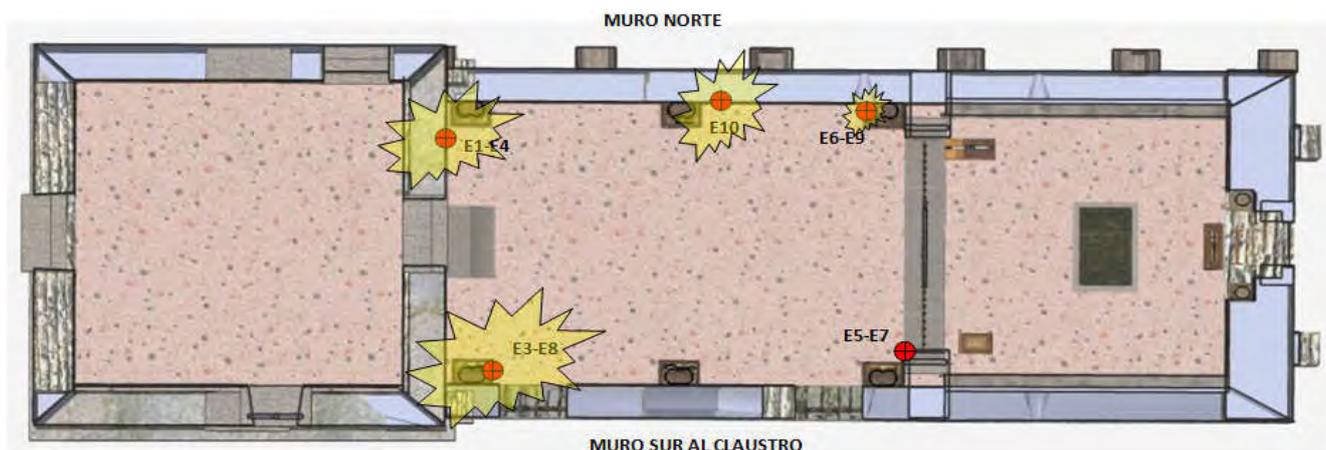


Figura 5. Localización en planta de las zonas donde se han detectado fenómenos de condensación durante los 12 meses de monitorización. El tamaño de la simbología indica la importancia del fenómeno. Las condensaciones detectadas en la esquina Suroeste han tenido lugar en todos los meses, siendo frecuentes los periodos de condensación de 24 horas que se prolongan durante 4-5 días. Destaca igualmente la relevancia de las condensaciones observadas en la esquina Noroeste y zona central del muro Norte, con importantes episodios de condensación en primavera y verano.

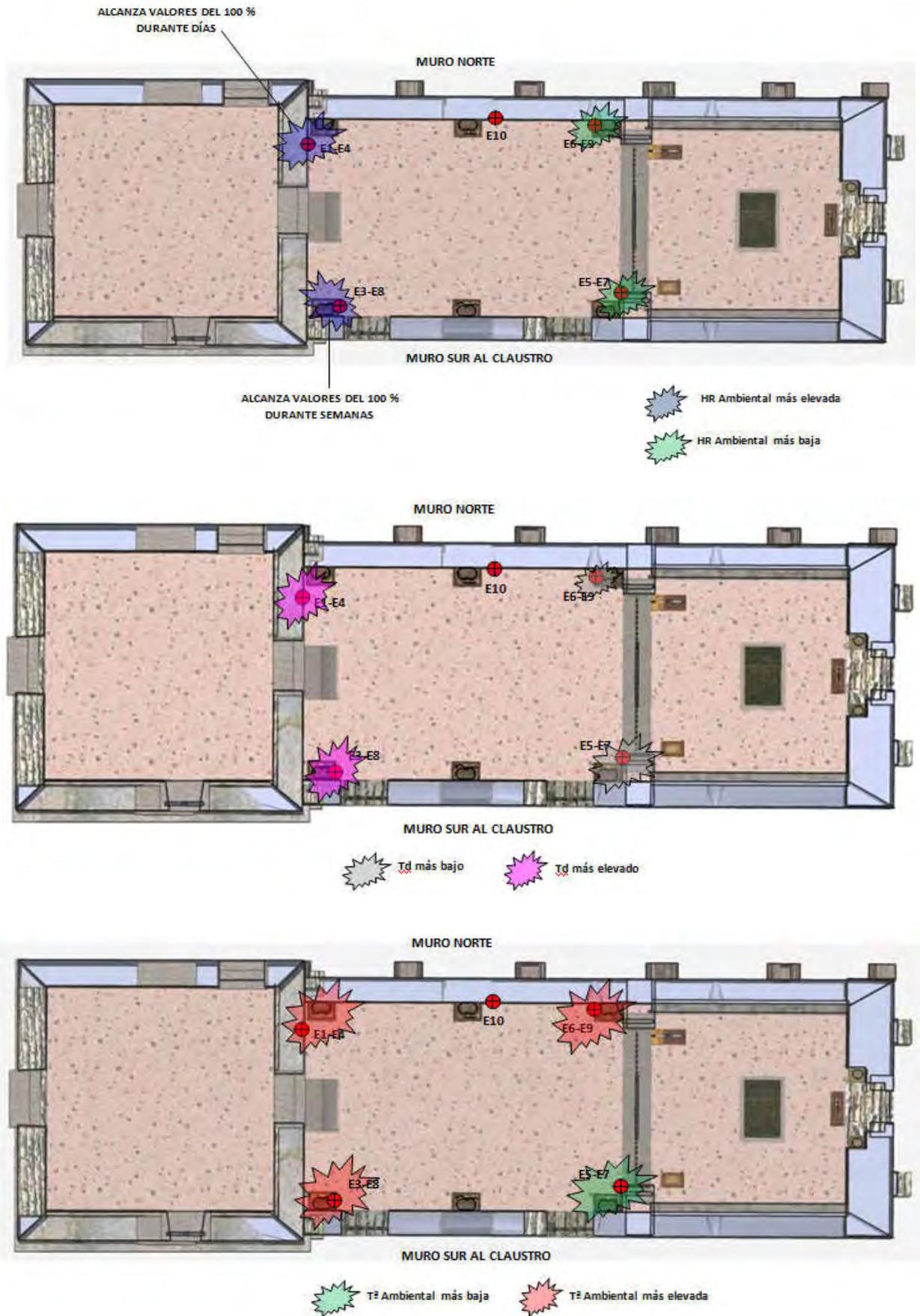


Figura 6. Localización en planta de las zonas donde, durante los 12 meses de monitorización, se detectan los mayores/menores valores de humedad ambiental media (arriba), temperatura ambiental media (medio) y puntos de rocío medio (abajo).

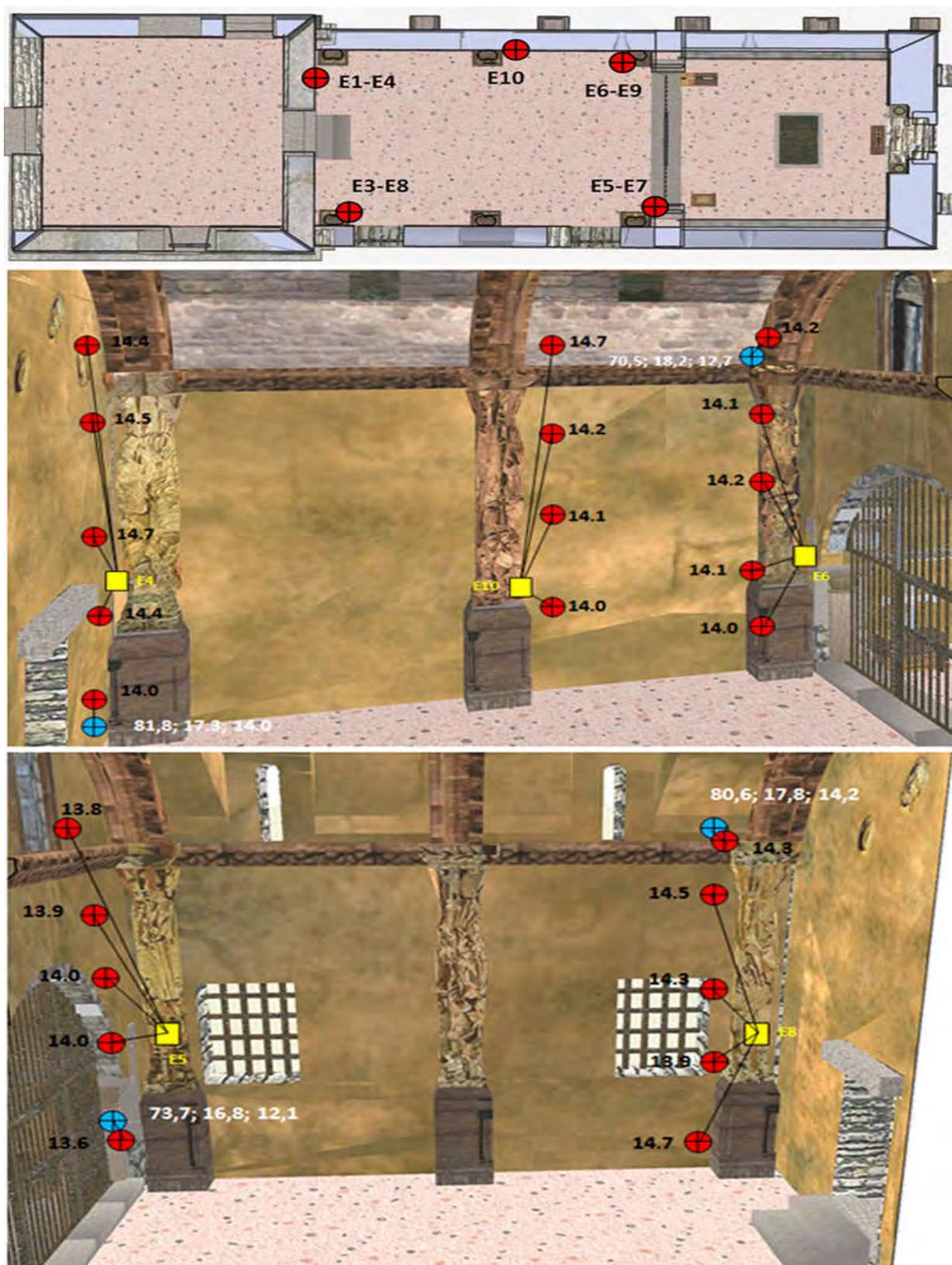


Figura 7. Valores medios obtenidos para los diferentes parámetros monitorizados representados sobre reconstrucción virtual 3D (tomado de F.J. Borge Cordovilla). Datos correspondientes al muro Norte (medio) y al muro Sur (abajo). Las mayores diferencias corresponden a las medias de datos de humedad y puntos de rocío, mientras que las temperaturas ambientales y superficiales muestran menores diferencias. En negro: temperaturas superficiales medias anuales medida en cada sonda. En blanco: humedad ambiental, temperatura ambiental y punto de rocío medios anuales medidos en los respectivos equipos..

condensación. Las diferencias térmicas (ambientales y de superficie) son menos relevantes situándose en todos los casos por debajo de 1°C (Figura 7).

Conclusiones

A tenor de las causas y mecanismos de deterioro establecidos en este estudio, cabe concluir que las posibles soluciones para minimizar la elevada humedad detectada y los episodios de condensación pasan por tomar medidas de control ambiental. En este sentido, el control de la humedad ambiental de la Cámara Santa parece la solución más viable técnica y económicamente, dado que, por un lado se eliminarían los estadios de alta humedad ambiental, y por otro lado, descendería el punto de rocío lo que limitaría la posibilidad de producirse condensaciones.

A este fin, se recomienda la instalación de un equipo de deshumidificación automatizado con higrómetro digital, que permita fijar una humedad ambiental de referencia para el interior de la Cámara Santa, activándose el equipo de manera automática si la humedad ambiental se dispara por encima de dicho valor. Se recomienda tomar como humedad ambiental de referencia un valor del 70 %, si bien, será necesaria su validación durante los primeros meses mediante un pequeño control higrotermométrico.

El equipo a instalar debe estar dimensionado en relación a las necesidades volumétricas de evacuación del interior de la Cámara Santa y deberá ser lo más silencioso posible.

Dada la zonificación ambiental detectada en la Cámara Santa, se recomienda colocar el deshumidificador en la

esquina Suroeste, o bien, a fin de salvaguardar el aspecto estético, colocar un higrómetro inalámbrico en esta zona, situando físicamente el equipo de deshumidificación en una zona más discreta no visible para los visitantes. Igualmente se recomienda un equipo que permita la evacuación directa mediante tubería de goma del agua condensada, conectando a un sistema de recogida de aguas.

Para que este sistema de control de humedad ambiental sea efectivo, se hace necesario eliminar o minimizar todas las posibles entradas al interior de la Cámara Santa de aire húmedo procedente directamente de zonas externas. Por esta razón, se recomienda cerrar completamente las ventanas existentes en la Cámara Santa mediante la instalación de cristales de vidrio, y el cegado de los diferentes agujeros localizados en los muros.

Tan sólo, y a fin de evitar una acumulación de dióxido de carbono (CO₂) durante los momentos de mayor afluencia de visitantes, se recomienda dejar sin acristalamiento la ventana enrejada situada en el muro suprayacente a la actual reja de entrada al camarín. Esta ventana, actuará a modo de tiro, permitiendo la evacuación del dióxido de carbono acumulado, a la vez que, por su situación elevada, no representará un aporte importante de aire húmedo exterior en los periodos cálidos, por ser este de menor densidad que el presente en el interior.

Finalmente, cabe recomendar el control del número de personas que simultáneamente acceden al interior de la Cámara Santa durante las visitas guiadas en grupo, a fin de evitar la influencia de los mismos en las condiciones higrotermométricas.



Félix Javier Mateos Redondo

GEA asesoría geológica

felix@geaasesoriageologica.com

Félix Javier Mateos Redondo (1975): Licenciado y Doctor en Ciencias Geológicas por la Universidad de Oviedo (1995-1999; 2011), en el año 1999 comienza su andadura profesional como investigador contratado dentro de los grupos de "Alteración y Durabilidad" y "Petrofísica" del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, donde durante más de una década (1999-2010) ha participado en numerosos proyectos de investigación de ámbito internacional (CONNET, ALIANCE, McDUR, CURRIC, FUNMIG, I-STONE, EPISCON..) y nacional (INTERFASE, NANOROCK, PERDURABLE..), así como decenas de contratos de investigación y/o servicios con empresas, fundaciones y organismos públicos.

Paralelamente a su andadura universitaria, en el año 2001 pasa a formar parte como Socio Fundador de la empresa GEA asesoría geológica, con sede en Oviedo, consultora especializada en campos como la conservación del patrimonio histórico-artístico, caracterización de materiales y petrofísica.

Jornada sobre conservación de patrimonio Rosa M^a Esbert *In Memoriam* 16 de mayo de 2013



Cualidades y empleo del ciclododecano durante el proceso de moldeado de fragmentos y originales de soporte pétreo. Casos prácticos.

Xavier Mas-Barberà , Stephan Kröner, José Vicente Grafiá Sales y Javier Orozco Messana.

Resumen: Este trabajo presenta el uso del ciclododecano utilizado en el sistema bicapa durante el proceso de moldeado de esculturas y ornamentos labrados en material pétreo con diferente porosidad y textura. En este sentido, se expone el trabajo experimental previo desarrollado con probetas de *mármol de Macael* y probetas de caliza travertínica *Tosca de Rocafort*. Los cambios morfológicos y la presencia de residuos han sido observados a través del microscopio estereoscópico y el espectroscopio infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR). Los resultados más significativos han sido aplicados en dos obras originales donde se ha mostrado eficaz el uso del ciclododecano y, por tanto, del sistema bicapa. En definitiva, se trata de una técnica alternativa a las nuevas tecnologías y accesible para todos los profesionales de la conservación y restauración.

Palabras clave: ciclododecano, reproducción, soporte pétreo, separador temporal, copia parcial.

Qualities and use of cyclododecane during molding and original stone fragments support. Case Studies.

Abstract: This work presents the use of the cyclododecane used in the double layer system during the process of molding of sculptures and ornaments stone material with different porosities and textures. In this regard, the previous experimental work developed with specimens of *Macael marble* and specimens of calcareous stone *Tosca de Rocafort* have been studied. The morphological changes and the presence of residuals have been examined through the stereoscope microscope and the Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). Similarly, the most significant results have been applied in two original artworks, where it has been shown the effectiveness of the use of cyclododecane and, therefore, of the double layer system. In short, it is an alternative technique to other new technologies and accessible for all the professionals of the conservation and restoration.

Key words: cyclododecane, reproduction, stone material, temporary barrier film, partial copy.

Introducción

Actualmente, las técnicas de moldeado siguen usándose como medio para acometer actuaciones de conservación y restauración. Se dan casos en los que la obra está expuesta a la intemperie, sometida a factores ambientales y actos antisociales, susceptible al deterioro o que por razones de seguridad y conservación, se hace imprescindible la realización de una reproducción que conserve el original en condiciones controladas de preservación, es decir, en un museo (Roig 1995; Mas 2006). En otros casos, el préstamo del original para exposiciones, la transferencia de piezas

y/o la cesión permanente obligan a valorar la realización de copias y sustituciones análogas al original. Este hecho pone de manifiesto la necesidad de estudiar y desarrollar nuevos materiales y medios accesibles que así lo permitan.

Cuando alrededor de 1995 Hangleiter propuso el uso del ciclododecano¹ como un material susceptible de aplicarse en determinadas actuaciones de conservación y restauración, no se sabía a ciencia cierta la repercusión que tendría en un mundo prácticamente cambiante y, a la vez, técnicamente encorsetado. Tras varios años de estudios y

aplicaciones diversas, son muchos los estudiosos y grupos a nivel internacional que están analizando y evaluando las cualidades de esta sustancia polivalente y temporal (Hangleiter 1999; Bruckle et al. 1999; Cagna y Riggiardi 2006; Mas et al. 2006; Riggiardi et al. 2010; Mas et al. 2013).

Particularmente, y desde que empezamos a estudiarlo a finales del 2004, el objetivo del uso del ciclododecano se centró en evaluar su compatibilidad con el soporte y la afinidad con determinadas sustancias, durante el proceso de moldeado de obras originales. En este sentido, el ciclododecano se ha utilizado como capa de separación temporal dado que no requiere ninguna fase de remoción superficial tras el proceso de desmoldado del original. Solamente debe tenerse en cuenta el tiempo de sublimación, propiedad que lo hace muy idóneo para ser usado en el campo de la conservación y restauración, donde los restauradores se ven obligados a respetar el original sin someterlo a cambios formales o estéticos (Tosini 1999; Grafiá y Mas 2004; Mas et al. 2006; Pereira 2008).

Las cualidades que presenta el ciclododecano cumplen con los requisitos más importantes que debe reunir un separador y que son, entre otros, la capacidad de formar una película protectora que conserva y respeta la textura del soporte, la facilidad de desmoldeo y la eliminación sin medios químicos o físico-mecánicos (Stein et al. 2000; Mas et al. 2006 y 2010), sin que se produzca el manchado de la pieza original (Matteini et al. 1990; Pereira 2008; Mas et al. 2012).

Los estudios sobre la aplicación del ciclododecano durante el moldeado de piezas escultóricas en materiales pétreos son escasísimos (Maish y Risser 2002; Mas et al. 2008). Hasta la fecha, estos estudios han demostrado la capacidad del ciclododecano de crear capas provisionales, homogéneas e impermeables al agua, dependiendo de las condiciones ambientales de aplicación y de la dilución empleada. Lo que realmente hace interesante al ciclododecano, como separador temporal, es su aplicabilidad en materiales con elevada porosidad y rugosidad. La problemática se centra en el peligro de retención de residuos en la pieza original. Para mitigar este aspecto, desde 2010 se está llevando a cabo, desde el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia, una línea de estudio centrada en el moldeado de soportes pétreos macroporosos (Mas et al. 2012 y 2013) con resultados prometedores, aplicables a casos reales y como una alternativa accesible² para todos los profesionales de la restauración.

Los resultados más innovadores son que se ha conseguido optimizar el sistema bicapa, a modo de sistema sándwich (apolar-polar-apolar), lo que da respuesta al problema de afinidad entre la película de ciclododecano y los elastómeros RTV. Éste es uno de mayores inconvenientes, pues se trata de dos sustancias apolares, siendo el ciclododecano soluble en los aceites no polares de la silicona. Este dato ya fue considerado por Bruckle et al. (1999) cuando ma-

nifestaron que “el manchado (por parte del “elastómero”) era muy severo tanto con película de ciclododecano, como sin ella”.

Este trabajo muestra, la idoneidad del ciclododecano combinado con una sustancia polar, el látex, a partir del sistema bicapa, aplicado tanto al moldeado de soportes pétreos macroporosos, como a otros de reducida porosidad [Figura 1].



Figura 1. Esquema del procedimiento de aplicación de las capas.

Casos de estudio

A continuación se expone el procedimiento seguido en dos piezas de material pétreo con textura y porosidad diferentes.

En el primero de los casos, la realización del molde viene obligada por el estado de conservación de la pieza. La obra en cuestión, es originaria de la Iglesia de San Juan de la Cruz (Valencia) y como se aprecia en la figura 2, se encuentra totalmente fragmentada y descontextualizada funcional y estéticamente. Se trata de una piletta de santiguarse de dimensiones 125x80x80cm aprox. y tallada en mármol blanco. La propuesta de intervención consistió en unir y coser internamente todos los fragmentos y en reconstruir las lagunas, mediante el sistema de prótesis y reproducciones parciales, con morteros de matriz inorgánica. Dado que existía un modelo idéntico en el propio edificio [Figura 3] se llevó a cabo el moldeado del fuste con el ciclododecano y el sistema bicapa para, obtener una copia que resistiera el peso de la piletta. Las dimensiones del fuste son 75x24x24cm aprox.

El segundo caso, hace referencia a una dovela heráldica que contiene un detalle de una cruz templaria tallada en travertino, conocido en la zona levantina como piedra Tosca de Rocafort (Valencia) (Roig 1995; Mas 2006). Se trata de una piedra de dureza media, macroporosa, de elevada rugosidad y color crema tostada [Figura 4]. El motivo de la intervención fue la sustitución del original por la copia moldeada, como medida de conservación preventiva. La pieza tiene unas medidas de 49x23x15cm aprox. y es de propiedad particular.



Figura 2. Vista general del estado de conservación de la base, fuste y taza que conforman la pileta, objeto de estudio.



Figura 3. Vista general de la pileta gemela, ubicada en las dependencias eclesiásticas, tomada como modelo y referente para el proceso de moldeado del fuste.



Figura 4. Vista general de la obra objeto de estudio. Obsérvese en la figura de detalle la macroporosidad de la piedra Tosca de Rocafort.

Materiales y métodos experimentados

Materiales de moldeo. Los productos empleados en este trabajo han sido los siguientes:

El *ciclododecano* (de ahora en adelante CDD) se ha empleado como separador apolar o barrera provisional en el proceso de moldeado. Se trata de un hidrocarburo cíclico ($C_{12}H_{24}$), insaturado y químicamente estable. Posee la particularidad de sublimar a temperatura ambiente y presenta baja toxicidad. Su punto de fusión entre 58° y 61° C lo convierte en una sustancia manejable. Este producto es suministrado por AgarAgar.

El *White Spirit D40 desnaturalizado*, necesario para preparar las disoluciones del CDD. Se trata de una mezcla de hidrocarburos alifáticos desnaturalizados con dicloropropano. Es un líquido incoloro con un punto de ebullición entre 145° y 250° C e inflamabilidad de 36° C. Este producto es suministrado por CTS España.

El *látex de goma S602* se ha utilizado como sustancia polar, aplicada entre el CDD y los elastómeros en el sistema bicapa. Se trata de una goma natural, un copolímero en dispersión acuosa. La película obtenida resulta estable a la luz, transparente, flexible y elástica. Se presenta como un líquido lechoso blanco, con un contenido en amoníaco $<1\%$, con pH 10,5 y una viscosidad de 35 cps. Este producto es suministrado por CTS España.

El *elastómero SILASTIC 3483 RTV* ha actuado como estrato y nivelación/refuerzo, aplicado sobre el látex. Es un caucho de silicona de color blanco con excelentes propiedades mecánicas, resistente y de elevada fluidez. Es un producto bicomponente, compuesto por una base fluida y un endurecedor, agente de curado *SILASTIC 83* que al mezclarse, vulcanizan a temperatura ambiente (22° - 25° C), mediante una reacción de condensación, alcanzando unas propiedades mecánicas óptimas frente al desgarro y flexión (dureza shore A 13, resistencia a tracción 3,5 MPa). Este producto es suministrado por Dow Corning.

La *silicona Silical 110 plasmable*, aplicada de igual modo que la anterior, es una goma de silicona tixotrópica con buenas propiedades mecánicas (dureza shore A 21). Es un producto bicomponente, compuesto por una base y un catalizador, agente de curado *Silical 115* que al mezclarse, vulcanizan a temperatura ambiente (23° C). Es suministrado por CTS España.

La *Putti Soft Fast®* es una silicona de adición proveniente de la industria dental. Es un producto bicomponente, compuesto por una base y un catalizador que al mezclarse endurecen a los dos minutos, alcanzando unas propiedades mecánicas óptimas (dureza shore A 67). Se trata de un compuesto de polivinil-siloxano. Se ha experimentado en este trabajo por su escaso tiempo de manipulación y por su limpieza en la ejecución. Este producto es suministrado por Gerho Magazine.

El *mat de superficie o velo de fibra de vidrio* se ha usado para reforzar y mitigar los cambios dimensionales de la capa de látex. Son fieltros de hilos de fibra de vidrio cortados, aglomerados fuertemente entre sí, mediante un ligante químico y calandrados. De gramaje 50g/m^2 . Este producto es suministrado por Glaspol Composites España.

Preparación y aplicación de materiales

Partiendo de los resultados obtenidos hasta la fecha (Mas et al. 2010, 2012 y 2013), este estudio se amplía con el uso de diversas siliconas de vulcanización rápida que minimizan el tiempo de manipulación y contacto.

Como paso previo a la intervención sobre los casos de estudio, se cortaron probetas de 6x5x3 cm de piedra Tosca de Rocafort y mármol Macael. Asimismo, se preparó el CDD al 50% con *White Spirit D40*. Las sustancias empleadas como capa interfaz polar entre las capas apolares de CDD y del elastómero silicónico fueron el *Látex de goma S602* y la *Putti Soft Fast®*. Todas las capas, tanto polares como apolares, fueron aplicadas según indicaciones de la ficha técnica y mediante pincel de cerdas, creando un film uniforme [Tabla 1]. El estudio se completó a través de observaciones superficiales con el microscopio óptico y análisis por espectroscopía FT-IR de muestras extraídas de la superficie de las probetas. El total de probetas estudiadas fue de 36 unidades.

La metodología experimental ha sido la siguiente:

1. Aplicación del separador apolar CDD. Preparación en baño maría y aplicado a pincel entre 40 y 45°C aprox., dependiendo de la textura y porosidad de la zona a tratar.
2. Aplicación del separador polar *Látex de goma S602* y *Putti Soft Fast®*, transcurridos 90 min. de la aplicación del CDD.

3. Aplicación del estrato de nivelación. *Silicona SILASTIC 3483* (con propiedades tixotrópicas) y la silicona *Silical 110 plasmable*, transcurrido el secado de la capa polar de látex de goma S602 (aprox. 120 min).

4. Desmoldado, transcurrido el tiempo reseñado según la ficha técnica.

5. Observación visual directa, mediante microscopio óptico y análisis FTIR de las probetas tras la sublimación del CDD.

Instrumentación

El microscopio estereoscópico permitió observar en la superficie de las probetas la presencia de residuos y la evolución de la sublimación del ciclododecano. El equipo utilizado ha sido una lupa marca Leica, modelo MZ APO, de 8-80X aumentos, con sistema fotográfico digital acoplado e iluminación por fibra óptica bilateral. La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) permitió detectar los residuos en las probetas, tras el desmoldado. El equipo usado ha sido un espectrómetro VERTEX 70, operando con sistema de reflexión ATR (Attenuated Total Reflection) y contando con un detector FR-DTGS con recubrimiento para la estabilización de la temperatura. Las condiciones operativas fueron: número de barridos acumulados de 32, y resolución de 4 cm⁻¹. Los datos fueron procesados con el sistema software OPUS, versión 5.0.

SOPORTE PÉTREO	SISTEMA BICAPA -Separadores-		ELASTÓMERO Estrato nivelación	INSTRUMENTACIÓN
	APOLAR	+ POLAR		
Tosca de Rocafort (TR)	CDD (50%) +White Spirit D40	Látex de goma S602+mat de superficie	Silastic 3483 RTV Silical 110 Putti Soft Fast®	Microscopio estereoscópico
Mármol Macael (MM)		Putti Soft Fast®		FTIR
Metodología	1 aplicación en MM Hasta obturación del poro en TR	3 aplicaciones de látex sobre el CDD	Capa tixotrópica y plasmable	Observación de la varia- ción de la textura y presen- cia de residuos

Tabla 1. Materiales y metodología empleada en el desarrollo del estudio.

Resultados y discusión

Aproximación organoléptica

Desde el punto de vista de la conservación y restauración hay dos aspectos fundamentales a considerar: la total inocuidad de los materiales con respecto al original y la facilidad de manipulación.

Los efectos visuales más significativos observados en la sustancia *Putti Soft Fast*[®], aplicada directamente sobre el CDD, en cualquiera de los soportes pétreos estudiados (TR y MM), han sido que deja residuo y modifica cromáticamente la superficie, siendo mayor este cambio en el soporte más poroso (TR) (Fig. 5). Esto podría deberse al contacto entre el CDD y los vapores de white Spirit, pues la *Putti Soft Fast*[®], al ser una sustancia, diseñada para el uso en medio acuoso, no resulta eficaz en presencia de sustancias apolares -hidrocarburos-. Esto ya ha sido apuntado por Bruckle en 1999. Este mismo resultado se ha observado con el empleo del elastómero plasmable *Silical 110* [Figura 6 y 7]. Este manchado resulta más evidente en el material pétreo con mayor porosidad y rugosidad y es más sutil en el de menor rugosidad, tal como se ha comprobado con el FTIR.

Con el látex de goma *S602* aplicado sobre el CDD no se han observado modificaciones. Después de treinta días, las probetas no exhiben cambios de color, ni apariencia de residuos [Figura 8]. Asimismo, el uso del mat de superficie evita modificaciones dimensionales y deformaciones durante el secado del látex y permite que todos los detalles de la superficie sean registrados correctamente.

En cuanto al estrato de acoplamiento y nivelación³, de los tres productos practicados (*Silastic 3483 RTV*, *Silical 110* y *Putti Soft Fast*[®]), el *Silastic 3483* resulta ser más flexible y se adapta correctamente a la capa de látex. Sin embargo, la *Silical 110* y la *Putti Soft* son más rígidas, quebradizas y el contacto con el látex es menor, hecho que imposibilitará los trabajos en piezas de gran formato.

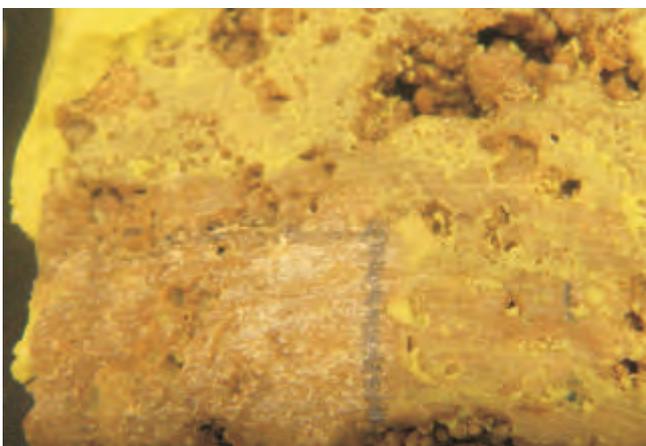


Figura 5. Soporte pétreo travertino TR. Obsérvese la presencia de residuos en el interior de los poros. La cata de remoción indica la eliminación de la mancha en zonas lisas, sin embargo los poros mantienen restos de la sustancia *Putti Soft Fast*[®].

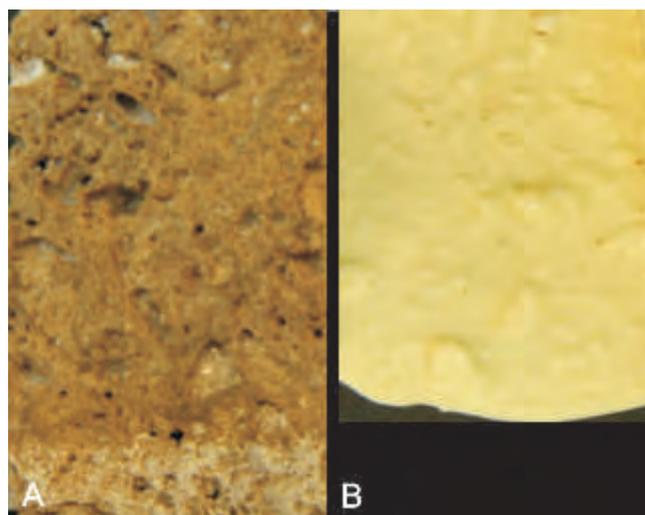


Figura 6. A. Soporte pétreo travertino TR después de 3 días del levantamiento del elastómero plasmable *Silical 110*. Se observa aún la presencia de CDD y el manchado de la superficie. **B.** Detalle de la impronta retenida en el elastómero *Silical 110*. A pesar de que retiene los detalles perfectamente, no resulta viable en cuanto a su inocuidad.

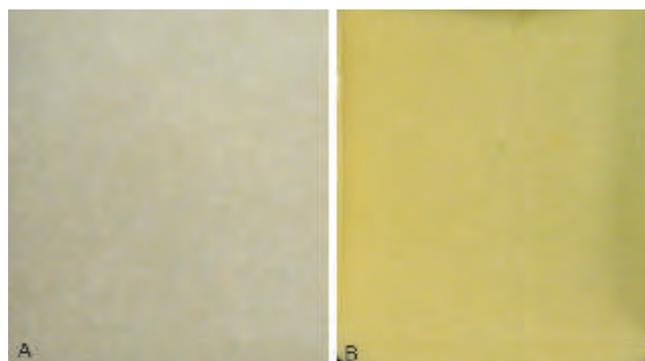


Figura 7. A. Soporte pétreo mármol Macael después de 3 días del levantamiento del elastómero plasmable *Silical 110*. Se observa de manera sutil el manchado de la superficie. **B.** Detalle de la impronta retenida en el elastómero *Silical 110*.

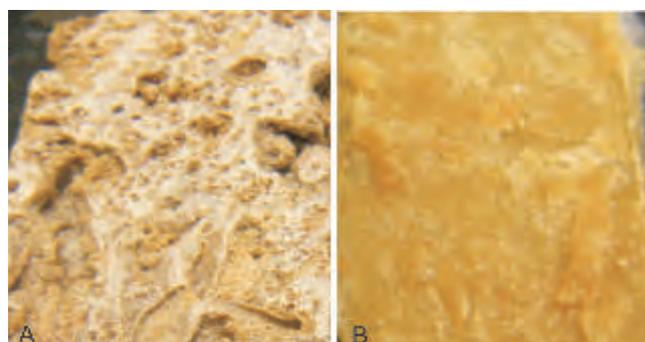


Figura 8. A. Soporte pétreo travertino TR después de 30 días del levantamiento del látex de goma *S602*. No se observa manchado de la superficie. **B.** Detalle de la impronta retenida en el látex de goma *S602* y reforzado con mat de superficie. Los detalles de los poros son retenidos fielmente conforme al original.

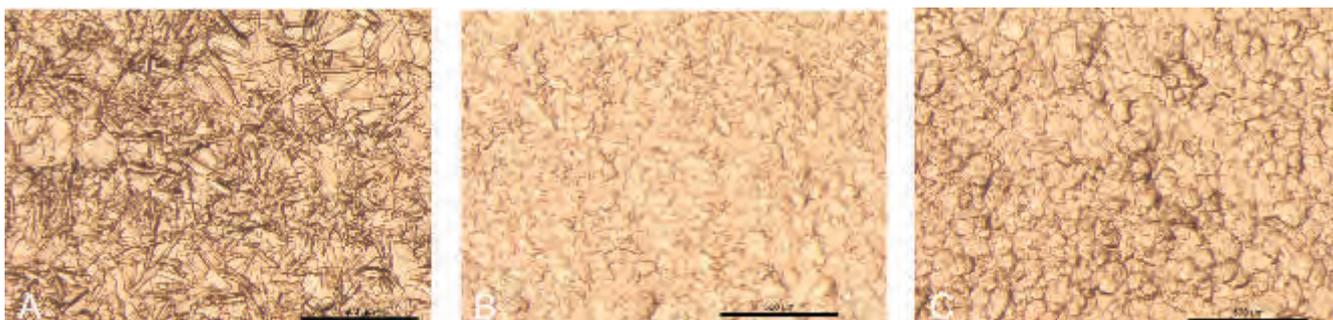


Figura 9. Aplicación de CDD sobre vidrios porta objetos. A. Disolución de CDD al 40% con *White Spirit*. B. Disolución de CDD al 50% con *White Spirit*. C. Disolución de CDD al 60% con *White Spirit*.

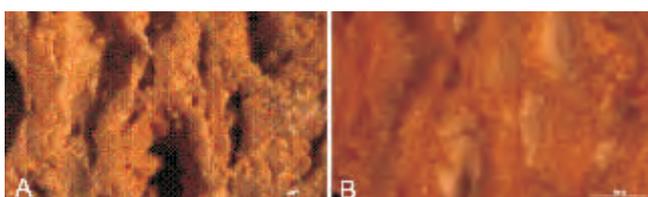


Figura 10. Soporte pétreo travertino TR. A. Vista de detalle en superficie de la red porosa. B. Aplicación de CDD hasta la saturación.

Microscopía estereoscópica

A través de esta técnica se observó la capa creada por varias disoluciones de CDD (40, 50 y 60%) aplicadas sobre vidrios porta objeto. La disolución de CDD al 50% forma una capa sutil, homogénea y lo suficientemente cerrada para impedir el manchado de las aplicaciones de látex de goma posteriores [Figura 9]. Además, los detalles superficiales son copiados sin interferencias.

En el caso de las probetas con macroporos, la aplicación de CDD se lleva hasta la saturación impidiendo que el resto de estratos penetren y manchen el soporte, como se aprecia en la figura 10. El CDD experimenta una sublimación gradual que varía en función de la concentración de CDD, del solvente utilizado y de las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa. Para una disolución de CDD al 50% con *White Spirit D40*, en condiciones de 21°C de temperatura y 35% de humedad relativa y para una superficie (vidrio porta objeto) tratada de 1cm de diámetro y 0,5mm de espesor, el tiempo de sublimación es de 9 horas aprox.

Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

En la figura 11 se observa el espectro FTIR resultante del análisis de probetas de TR. Se detectan bandas características a $\sim 2920\text{ cm}^{-1}$, $\sim 2860\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1200\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1000\text{ cm}^{-1}$ y $\sim 800\text{ cm}^{-1}$ en las probetas donde ha sido aplicado la silicona *Silical 110* y *Putti Soft Fast*® que no deberían estar presentes en el soporte pétreo. Estos datos nos indica la existencia de residuos tras el des-

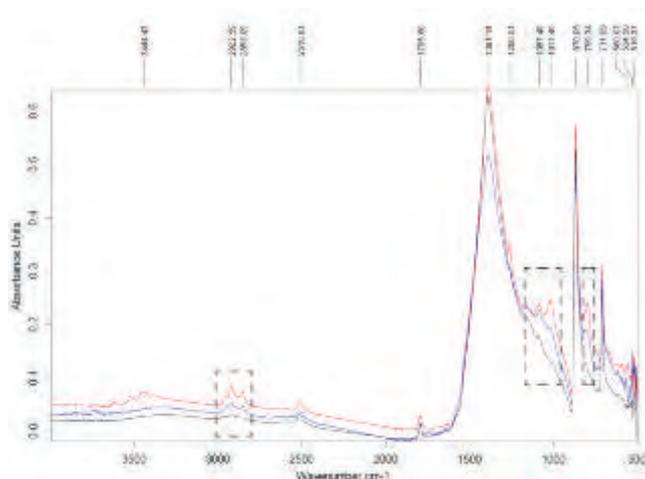


Figura 11. Espectro FTIR obtenido del análisis de muestras extraídas de probetas de soporte travertino TR. La línea superior corresponde a la silicona *Silical 110*, la línea intermedia a la silicona *Putti Soft Fast*® y la línea inferior al látex de goma *S602*.

moldado de las probetas y la sublimación del CDD. Sin embargo, para el látex de goma *S602*, la banda detectada es inapreciable y apunta la ausencia de residuos en las probetas, o niveles de los mismos muy bajos, inferiores al límite de detección del instrumental. Algo similar ocurre con las probetas de mármol Macael. Los datos obtenidos exhiben ausencia de residuos para el caso del látex de goma *S602* y pequeñas proporciones de residuos para el caso de la silicona *Silical 110* y®, inferiores a los detectados en la piedra Tosca. Todo ello indica que la rugosidad y el grado de porosidad del soporte pétreo son aspectos a considerar a la hora de desarrollar un molde sobre un original.

Aplicación del sistema bicapa a los casos reales

El proceso de moldeado de una obra real supone un amplio conocimiento no sólo de los materiales y las técnicas necesarias para la intervención, sino también de todo aquello que afecta directamente a la pieza; tipo

de soporte, textura, porosidad, color, estado de alteración, condiciones ambientales del entorno y objetivos y criterio de la intervención. En este sentido, el responsable de la intervención debe ser capaz de evaluar correctamente la viabilidad del proceso sin someter a la obra a daños innecesarios. Por este motivo, la realización de moldes sobre originales debe estar siempre justificada, debe ser viable, con garantías y llevada a cabo por personal cualificado que velará por la integridad de la obra. Actualmente, con el avance de los materiales, el proceso de moldeado sigue siendo la alternativa a las nuevas tecnologías de reproducción aún destinadas a casos extraordinarios. Por tanto, el moldeado mediante el sistema bicapa resuelve una problemática importante dado que respeta la obra, no mancha y es accesible para todos los profesionales de la conservación y restauración.

En las figuras 12 y 13 se muestran los pasos llevados a cabo en el proceso de moldeado de las dos piezas, anteriormente mencionadas. El paso previo es la reconstrucción de volúmenes que, originados por varios motivos, rompen la lectura del conjunto. La reconstrucción sigue la forma y detalles de la zona a tratar [Figura 12. A], dependiendo del criterio de intervención.

Otra consideración importante es delimitar las partes que constituirán el molde, es decir las zonas por donde se abrirá sin contener contrasalidas o enganches. Generalmente, suelen ser dos, una del anverso y otra de reverso; no obstante el despiece del molde viene condicionado por el estado de conservación, la forma, el tamaño y el peso de la obra que, en ocasiones podría ser numeroso y de medidas dispares.

La siguiente fase se centra en la aplicación de la sustancia separadora. El CDD impedirá que la pieza entre en contacto con las sucesivas capas responsables de contener la impronta. El número de aplicaciones de la primera capa dependerá de las propiedades del original. Si la superficie es lisa y con una porosidad reducida bastará con una aplicación; si por el contrario, la textura es rugosa y muy porosa, las aplicaciones variarán entre dos y cinco (hasta saturación) [Figura 13. B], con control de la temperatura de la disolución y otros parámetros ambientales del taller.

La siguiente capa, la aplicación del *látex de goma S602*, debe respetar el tiempo de evaporación del disolvente *White Spirit*. A partir de los datos analizados, el margen se sitúa entre 90 y 120min, dependiendo de las características del soporte pétreo. La primera capa de látex de goma debe recoger todos los detalles [Figura 12. C], la segunda y tercera irá reforzada con mat de superficie [Figura 12. D]. Las capas deben aplicarse una tras otra, en mordiente.

La última fase corresponde a la aplicación de la silicona *Silastic 3483 RTV*. Se practica el estrato de acopla-



Figura 12. Proceso de preparación y moldeado del fuste; A. Reconstrucción de pequeñas pérdidas de volumen de la decoración mediante plastilina; B. Detalle de los cristales formados sobre la superficie del mármol tras la aplicación del ciclododecano al 50% con *White Spirit D40*; C. Aplicación de la primera capa de látex sobre la capa de ciclododecano; D. Segunda capa de látex reforzada con mat de superficie; E. Aplicación del estrato de acoplamiento mediante silicona *Silastic 3483 RTV*; F. Aplicación del estrato de nivelación con silicona *Silastic 3483 RTV tixotrópica*; G. Fase de desmoldado. Obsérvese que, tanto la capa de látex como los estratos de silicona, forman un todo unitario.

miento [Figura 13. E] que requiere el contacto perfecto del elastómero con el látex. Transcurridas seis horas, se añade el estrato de nivelación. La silicona empleada es la *Silastic 3483* a la que se le añade un aditivo tixotrópico que le confiere propiedades antidescolgantes [Figura 13. F]. Finalmente, y transcurridas aprox. doce horas, se realiza la caja rígida contenedora de todas las capas y estratos descritos. Generalmente suelen usarse resinas acrílica y/o de poliéster reforzadas con mat de fibra de vidrio. Endurecida la caja rígida, se lleva a cabo el proceso de apertura de las partes que conforman el molde. Por un lado la caja, por otro la capa elástica que contiene la impronta (combinación del látex de goma más la silicona) [Figura 13. G] y por otro, la pieza con el CDD en fase de sublimación.



Figura 13. Proceso de preparación y moldeado de la dovela heráldica con cruz templaria. A. Vista general de la pieza; B. Detalle de la aplicación del ciclododecano al 50% con *White Spirit D40* hasta la saturación del poro; C. Aplicación de la primera capa de látex sobre la capa de CDD; D. Tercera capa de látex reforzada con mat de superficie; E. Aplicación del estrato de acoplamiento mediante silicona *Silastic 3483 RTV*; F. Aplicación del estrato de nivelación con silicona *Silastic 3483 RTV tixotrópica*; G. Vista general de la obra, del molde en negativo donde se aprecia el detalle de la textura, y del contramolde que contiene el conjunto. Obsérvese el CDD presente en la superficie de la obra. Durante las siguientes ocho semanas el CDD sublimará totalmente.

Conclusiones

Las conclusiones más sobresalientes extraídas de esta investigación demuestran que el CDD al 50% con *White Spirit D40* es una sustancia ideal como separador temporal. Permite una manipulación correcta y no requiere de una remoción mecánica ni química, dado que sublima a temperatura ambiente.

Asimismo, el moldeado de originales mediante este sistema bicapa en el que se combina el CDD, el látex de goma S602 -reforzado con mat de superficie- y el elastómero *Silastic 3483 RTV* -como estrato de acoplamiento y nivelación-, resulta eficaz para ambos soportes pétreos. Es una alternativa innovadora en casos donde no se requiera de un gran aporte científico y tecnológico. En este sentido, se trata de una técnica relativamente rápida, fácilmente controlable por el restaurador y que evita el manchado del original, sin retener residuos y siendo económicamente viable. Estos resultados quedan demostrados con la obtención de improntas idénticas al original, con empleo de materiales de toxicidad muy baja.

En definitiva, el sistema CDD y látex de goma S602 aglutina las diez propiedades fundamentales que debe reunir un buen separador y que son:

1. Formación de una película aislante -capa interfaz homogénea- que facilita la separación entre el molde y el modelo.
2. Compatibilidad del separador con el material constituyente del modelo-obra de arte.
3. Adaptación de la capa interfaz a la superficie del modelo.
4. Protección integral del modelo.
5. Facilidad y control en el método de aplicación.
6. Estabilidad química.
7. Creación de un film sutil que posibilita el registro fiel de los detalles del modelo.
8. Reversibilidad del separador tras el desmoldeado sin causar deterioro alguno en el original.
9. Ausencia de residuos.
10. Baja o nula toxicidad.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto HAR2011-29538 del Ministerio de Ciencia e Innovación Español.

Notas

[1] Ciclododecano (CDD). Características físico-químicas: Fórmula: C₁₂H₂₄; Punto de fusión: 58° a 61°C; Punto de ebullición: 243°C; Peso específico: 0,83 kg/dm³; Solubilidad: disolventes apolares, insoluble en agua y alcoholes. Usos en restauración: separador, consolidante, fijativo, protector y adhesivo temporales. Aplicación: fundido, aerosol y disolución. Parámetros a controlar: a) el método y cantidad aplicada, b) la temperatura de la sustancia de CDD fundida, c) la temperatura del soporte, d) profundidad de penetración deseada, e) cantidad de solvente añadido a la sustancia CDD y, f) velocidad de evaporación del solvente y de la disolución del CDD.

[2] Se muestra el moldeado de originales a través de moldes flexibles como una alternativa a determinadas técnicas más sofisticadas e inaccesibles como son la fotogrametría, el escáner láser y la fotodigitalización 3D combinada con el pantógrafo computerizado/impresoras 3D o electrolitografía y relegadas éstas a casos VIP. Esta técnica del moldeado permite obtener prótesis, reproducciones, copias parciales y totales idénticas al original con unos recursos humanos y económicos accesibles.

[3] Estrato de nivelación. Capa de material diverso y de grosor variable preparada con el fin dar volumen, incrementar espesores entre materiales y dar continuidad espacial al conjunto.

Referencias

BRUCKLE, I., THORNTON, J., NICHOLS, K. y STRINCKLER G., (1999). "Cyclododecane: Technical note on some uses in paper and objects conservation" *Journal of the American Institute for Conservation*. Volume 38, Number 2, Article 4, 162.

CAGNA, M. y RIGGIARDI, D., (2006). "Control of sublimation time of Cyclododecane used as a temporary fixative", in *the Care of Painted Surfaces: Materials and methods for consolidation, and scientific methods to evaluate their effectiveness*, Third International Conference, Colour and Conservation. 10-11 November, ed. CESMAR7, Milan.

GRAFÍA SALES, J. y MAS-BARBERÀ, J., (2004). "Proceso de reproducción de nuestra señora de aguas vivas debido a las alteraciones causadas por su funcionalidad. Idoneidad en la ejecución del molde y obtención de la réplica", in *XV Congreso Internacional de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, 21-24 Octubre, Murcia, Ligia Comunicación y Tecnología, Vol. I, 607-616.

HANGLEITER, H. M. (1999). *Volatile binding media*. www.hangleiter.com

MAISH, J. y RISSER, E., (2002): "A case study in the use of cyclododecane and latex rubber in the molding of marble". *Journal of the American Institute for Conservation*, Volume 41, Number 2, Article 3.

MAS I BARBERÀ, J., GRAFIÀ SALES, J., SANMIGUEL SAMPEDRO, L., MARCO GISBERT, S., ORTÍ MATEU, V. y ROIG SALOM, J.L., (2006). "Application of new material release agent - interface support / silicone rubber - in the reproduction of porous pieces", in *16th International Meeting on Heritage Conservation*, 2-4 Noviembre,

Valencia, Editorial UPV, Valencia Vol. I, 655-664.

MAS I BARBERÀ, X. (2006). *Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales*. Tesis doctoral. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universidad Politécnica de Valencia.

MAS I BARBERÀ, X., VAN UDEN, ANA; KRONER, S.; MARTÍNEZ BAZÁN, M.; DOMÉNECH CARBO, M.T. y DE LA CRUZ CAÑIZARES, J. (2008). "Study of the cyclododecane as a temporary barrier in the moulding of sculpture and ornamental stone pieces". *Arché* Número 3, pp. 179-184.

MAS I BARBERÀ, X., RODRÍGUEZ IZQUIERDO, A.; KRONER, S.; MARTÍNEZ BAZÁN, M. y DOMÉNECH CARBO, M.T. (2010). "Análisis y aplicación de separadores en el moldeado de originales. El busto fenicio de Puig dels Molins, Ibiza". *Arché*, Número 4-5, pp. 43-50.

MAS I BARBERÀ, X.; KRONER, S., MARTÍNEZ BAZÁN, M; OROZCO MESANA, J. y GRAFIÀ SALES, J.V. (2012). "Estudio del ciclododecano como separador temporal en el proceso de moldeado de materiales pétreos macroporosos", *Arché*, Vol. 6 y 7, pp 279-284

MAS I BARBERÀ, X.; KRONER, S., MARTÍNEZ BAZÁN, M; OROZCO MESANA, J. y GRAFIÀ SALES, J.V. (2013). "Application of the double layer system as preventive method in the moulding process of sculptures and ornament", In *Science and technology for the conservation of cultural heritage*. CRC Press Taylor and Francis, pp 329-332

MATTEINI, M.; MOLES, A. y TOSINI, I. (1990). "Interazioni tra i materiali costitutivi dei manufatti e le sostanze utilizzate per il calco: controllo di alcune procedure", in *De Sculture da Conservare*. Ministero per i Beni Culturali a Ambientali, Orificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze. Edito da Vallardi & Associati, Firenze.

PEREIRA, C., (2008). *Conservar la información. Clones y documentación*. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Bellas Artes.

ROIG SALOM, J. L. (1995). *Estudio de la alteración de materiales pétreos en los monumentos de la ciudad de Valencia. Posibles tratamientos de conservación*. Tesis doctoral. Facultad de Bellas Artes. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Universidad Politécnica de Valencia.

RIGGIARDI, et al. (2010): "Il ciclododecano nel restauro dei manufatti artistici", *Cuaderno nº8*, Cesmar 7, Il Prato.

STEIN, R., KIMMEL, J., MARINCOLA, M. y KLEMM, F., (2000). "Observations on Cyclododecane as a Temporary Consolidante for Stone". *Journal of the American Institute for Conservation*, Volume 39, Number 3, Article 4.

TOSINI, I. (1999): "Il calco dei manufatti storico-artistici mediante elastomeri siliconici". *Revista dell'Opificio delle Pietre Dure e Labo-*



Xavier Mas-Barberà

Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio, Universitat Politècnica de València,
Camino de vera s/n 46022 Valencia
jamasbar@upvnet.upv.es

ratori de restauro di Firenze, nº 11.

Doctor en Bellas Artes, en la especialidad de Conservación y Restauración de Bienes Culturales (Universitat Politècnica de València, Valencia, 2006). Es profesor de conservación y restauración de escultura y ornamentos en la Facultad de Bellas Artes y, su investigación la realiza en el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio (Universitat Politècnica de València); concretamente centrada en el estudio de materiales pétreos empleados en Patrimonio, su diagnóstico y el desarrollo de nuevos métodos para el tratamiento de esculturas y ornamentos labrados en piedra.



Stephan Kröner

Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio, Universitat Politècnica de València,
Camino de vera s/n 46022 Valencia
ustephan@upvnet.upv.es

Doctor en Geología (Johannes Gutenberg University Mainz, 2005). Hizo la primera parte de sus estudios de geología (Vordiplom-Examen intermedio) en el Instituto de Tecnología de Karlsruhe (Alemania) y, posteriormente, se traslada y los completa (Diploma-Licenciatura, con trabajo final de la carrera) en la Universidad de Lausana (Suiza). Durante su carrera se especializó en el campo de la geología estructural (Alpes). En la etapa de tesis doctoral se especializa en la geoquímica (geología de isótopos, geocronología) con el fin de entender los procesos de formación de las cordilleras montañosas del Damara Orogen (Namibia). Finalmente, en 2007, accede al Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio (Universitat Politècnica de València) y se responsabiliza del área de caracterización de materiales inorgánicos (materiales pétreos, cerámicos, pigmentos y morteros, entre otros).



José Vicente Grafiá Sales

Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Camino de Vera s/n,
46022 Valencia
jograsa@crbc.upv.es

Doctor en Bellas Artes por la Universidad Politécnica de Valencia. Desarrolla su actividad docente en la Facultad de Bellas Artes, en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales y su faceta investigadora en el Instituto de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia. Sus líneas de investigación versan sobre la comparativa de distintos adhesivos orgánicos e inorgánicos sobre soporte lúneo y sobre aspectos de etnología de objetos de de madera.



Javier Orozco Messana

Universitat Politecnica de Valencia;Edificio "Nexus" 6G, 4ª planta; Camino de Vera s/n; 46022
Valencia
jaormes@cst.upv.es

Doctor Ingeniero Industrial. Desarrolla su actividad docente en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación en la Universitat Politécnica de Valencia y su faceta investigadora en el Instituto de Tecnología de Materiales en la propia universidad. Sus líneas de trabajo se centran en el estudio y análisis de materiales fotovoltaicos, desarrollo de sostenibilidad a través de los materiales y el tratamiento de hormigones reforzados con fibras. Dirección Universitat Politecnica de Valencia;Edificio "Nexus" 6G, 4ª planta; Camino de Vera s/n; 46022 Valencia, Spain. Correo:

Jornada sobre conservación de patrimonio Rosa M^a Esbert *In Memoriam* 16 de mayo de 2013



Cruz de término y fuente de mármol en uso: exposición de ambos casos.

Núria AVECILLA PALAU, Marta LLACH BERNÉ y Manuel Àngel IGLESIAS CAMPOS

Resumen: La cruz de término de El Masnou y la fuente de mármol del Palau Mercader de Cornellá del Llobregat son dos intervenciones sobre material pétreo in situ del programa de conservación y restauración que la Diputació de Barcelona creó como soporte técnico, de colaboración y cooperación con los museos adheridos a la Xarxa de Museus Locals. Este programa, cuyo objetivo es establecer planes de conservación preventiva y de seguimiento a medio y largo plazo con los que controlar, mantener y conservar el patrimonio cultural local en las mejores condiciones posibles, supone además, en algunos casos, intervenir in situ con personal propio de la Oficina de Patrimonio Cultural. Con esta metodología, adaptada a los medios técnicos y económicos disponibles en la actualidad, se prevé llevar el seguimiento de los bienes intervenidos y la eficacia de los tratamientos y materiales utilizados.

Palabras clave: Crucero/cruz de término, fuente de mármol, arenisca silíceo, conservación preventiva in situ, restauración de piedra in situ, alveolización, costra negra, aerosol marino, biodeterioro, concreción calcárea.

Case study: a wayside cross and a marble fountain in use.

Abstract: The wayside cross in El Masnou and the Palau Mercader marble fountain in Cornellá de Llobregat are two on-site interventions on stone objects within the conservation and restoration program created by the Diputació de Barcelona as technical support in partnership and cooperation with the local municipal museums network. This article presents the beginning of on-site restoration work with our own Cultural Heritage Office staff, the purpose of which is to establish medium and long-term follow-up preventive conservation plans to control, maintain and preserve the local cultural heritage in the best possible conditions. These programs will allow degradation processes of the objects to be evaluated, and the efficiency of the treatments and materials used to be determined. At the same time, these programs should be viable and adapt to the existing available technical and economic resources.

Key words: Wayside cross, fountain, siliceous sandstone, marble, in situ preventive conservation, alveolization, black crust, biodeterioration, sea spray, calcareous crust

Cruz de Término

Esta propuesta de intervención ha sido realizada a instancia del Museo de la Náutica de El Masnou -municipio de la costa a 17 km al noroeste de Barcelona-, para determinar el estado de conservación de la cruz y los tratamientos necesarios para su preservación in situ.

La cruz de término, declarada Bien Cultural de Interés Nacional en 1963, es uno de los elementos patrimoniales con

mayor valor histórico y artístico del municipio. Se trata de uno de los pocos testimonios medievales que allí se conservan. La inscripción ANNO CHRISTI MD que aparece en la base la dataría en 1500. Antiguamente se encontraba en la actual avenida Joan XXIII, en el camino de Alella, delimitando los términos territoriales de Teià y Alella, cuando El Masnou aún no existía como municipio. Su ubicación cambió hacia el año 1818, cuando en la necrópolis de la iglesia de Sant Pere se construyó el conocido como cementerio

viejo y allí fue trasladada. En 1868 con la construcción del actual cementerio proyectado por el arquitecto municipal Miquel Garriga i Roca, la cruz fue trasladada de nuevo y se colocó sobre un basamento de mampostería en el centro del recinto, como emblema religioso. A lo largo del siglo XX, en el parterre que la rodea, fueron colocadas tres placas conmemorativas que recogen diferentes hechos históricos del Masnou.

El cementerio cuenta además con panteones de gran valor artístico en los que participaron importantes arquitectos catalanes de los siglos XIX y XX como Bonaventura Bas-



Figura 1. Vista general de la cruz

segoda, Pere Jordi Bassegoda o Josep Llinàs, y escultores como Josep Llimona, Frederic Marés, Rafael Atché o Josep Maria Subirachs entre otros.

El cementerio es para el municipio un testimonio de parte de su historia, un bien artístico y un lugar de interés histórico cultural local en proceso de recuperación y de dinamización.

A pesar del mal estado de conservación del capitel, con alveolizaciones y pérdidas de volumen acentuadas, la voluntad del consistorio de conservar la cruz en su contexto histórico fundamenta este proyecto de restauración. La intervención se proyecta como un primer paso dirigido a frenar los procesos de alteración para posteriormente implantar un plan de conservación preventiva. Este programa de control y mantenimiento servirá para evaluar la nueva situación, determinar si el proceso de degradación continúa y a qué velocidad lo hace, y servirá para aportar soluciones que prolonguen su conservación en su ubicación actual.

Datos técnicos y estilísticos:

Nombre: Cruz de término

Material: Arenisca silíceo

Datación: 1500 según la inscripción MD

Medidas: Aproximadamente 3,60 m de altura y de base octogonal

Localización: Cementerio del Masnou

Protección: Bien Cultural de Interés Nacional el 1963, según Decreto 14/3/1963 número 571/63. *Decreto de protección de los escudos, emblemas piedras heráldicas, rollos de justicia, cruces de término y piezas similares de interés histórico/artístico.*

La Cruz de término [figura 1], compuesta por base, fuste, capitel y cruz, es de estilo gótico tardío y presenta características parecidas a las localizadas en los municipios colindantes de Teià y Alella.



Figura 2. Base de la cruz donde aparece la inscripción ANNO CHRISTI MD

La base es octogonal y está decorada por una moldura, con la inscripción ANNO CHRISTI MD [figura 2]. El fuste, también octogonal, se remata con un capitel esculpido con la imagen de ocho santos no identificados debido al mal estado de conservación dentro de hornacinas de factura gótica. La cruz, decorada con motivos vegetales y hojas de acanto, tiene dos relieves dispuestos en cada una de sus caras: en una, la imagen de Cristo crucificado con la calavera a los pies; en la otra, la imagen de la Virgen con el Niño en brazos.

Descripción y diagnóstico del estado de conservación

El material pétreo natural en el que está construida esta Cruz es una arenisca silíceo, con ligeras variaciones de composición según la pieza concreta, que presenta ligera descohesión. Existen diferentes tipologías de morteros de cal aérea e hidráulica que parecen relacionarse con los diferentes traslados y montajes que ha tenido la pieza, así como diferentes morteros de cemento, localizados principalmente en el basamento de mampostería. Los morteros de cal presentan en general un buen estado de conservación y no se aprecian degradaciones significativas.

Se conservan, además, dos cromatizaciones artificiales que se corresponden a dos momentos diferentes: una ocre y otra rosa. La ocre, localizada principalmente en el capitel, parece estar hecha de pigmentos tierras y ser la más antigua de las conservadas. La de color rosa recubre de manera casi general zonas con suciedad y morteros de juntas; en la mayoría de los casos, sobretodo en la cruz, tiene un aspecto de veladura y por su ubicación podría considerarse la más moderna de las dos.

El conjunto presenta un estado de conservación muy desigual según la pieza concreta y su orientación. Las alteraciones principales se localizan sobretodo en el capitel y la cruz de coronamiento y se relacionan con pérdidas de volumen, pequeñas descamaciones, costras de suciedad compactada, recubrimientos biogénicos y costra negra dendrítica localizada; además el capitel tiene alveolizaciones importantes.

Existe una gran diferencia de suciedad y acumulación de depósitos superficiales entre la zona superior (cruz y capitel) y la inferior (fuste y base). Los primeros tienen costras de suciedad compactada y el capitel, además, costra negra dendrítica puntual en zonas donde se conserva la cromatización ocre. El fuste tiene una capa de suciedad muy superficial y la base está limpia, lo que por comparación con las partes superiores podría indicar que el fuste tuvo un tratamiento de limpieza quizás en algunos de los traslados y montajes, y que la base, a parte de una posible limpieza como el fuste, recibe agua en su superficie durante el riego de mantenimiento del parterre en el que se encuentra el conjunto.

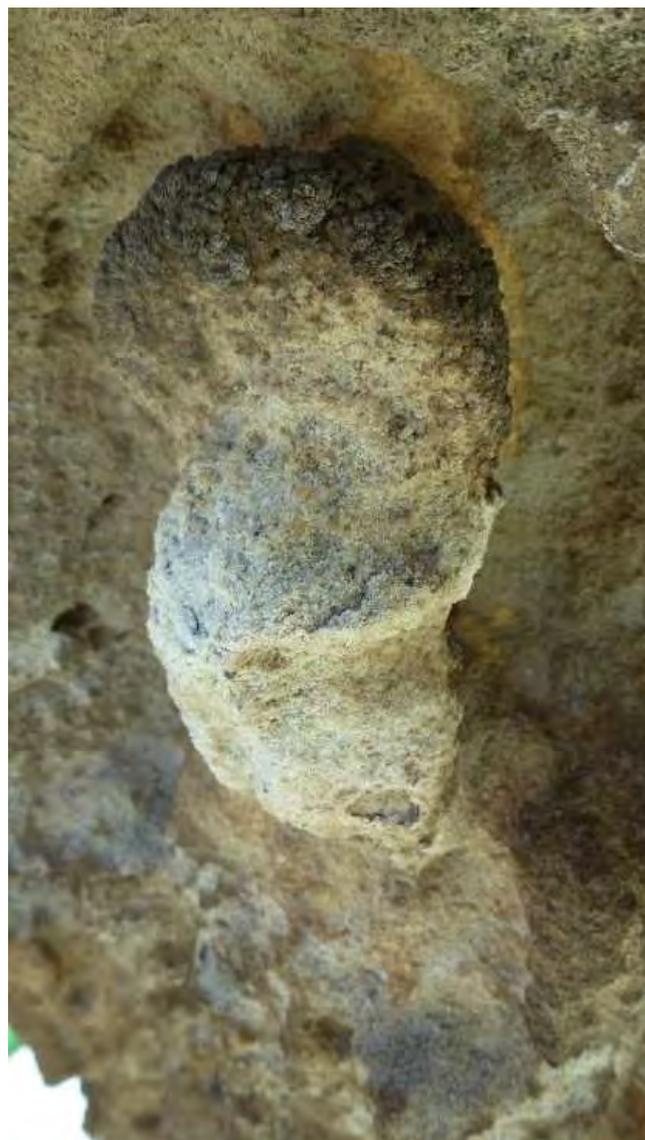


Figura 3. Detalle del santo de la cara sudeste en peor estado de conservación

Además de la suciedad superficial, la base y el fuste se encuentran en buen estado de conservación y sólo presentan algunas pérdidas puntuales de materia por disyunción, abrasión o golpes.

En el capitel existe una clara diferencia entre el grado de degradación que presentan la Cara Este y la Cara Noroeste debido a los factores de alteración que les afectan, propios de su ubicación a la intemperie.

La Cara Este está más expuesta a los agentes meteorológicos y ambientales (sol, lluvia, viento y aerosol marino) y presenta alveolización, erosión y arenización localizada en una de las figuras de los santos. [Figura 3]

La Cara Noroeste: más sombría y no tan expuesta, presenta estratos de suciedad acumulada en forma de costras y ataque biológico. La pérdida de detalles escultóricos y decorativos también es evidente aunque el grado de erosión es



Figura 4. Vista del capitel por la cara Noroeste, más sombría, con presencia de costra y biodeterioro



Figura 5. Vista de la cruz y el capitel desde el lado Noreste.

menor que el de la Cara Este y, a simple vista, no se aprecia arenización ni descohesión de la piedra. [Figura 4]

La Cruz, con un estado de conservación regular, presenta depósitos y costras superficiales y no se aprecian alteraciones que indiquen pérdida de cohesión de la piedra. [Figura 5]

Propuesta de conservación y restauración

Está prevista una fase previa de estudios con la que, a partir de unos análisis mínimos que faciliten la información imprescindible para la toma de decisiones y con un coste reducido, poder establecer los tratamientos necesarios para su conservación. A falta de los resultados de este estudio, los tratamientos que se proponen contemplan la estabilización y protección de la piedra, el saneamiento y la eliminación de los productos de alteración, así como un posterior control y seguimiento de los posibles agentes de degradación.

Los trabajos previstos consistirán en:

Desalación si los análisis confirman la presencia de sales solubles.

Preconsolidación antes de la limpieza en caso que exista un alto grado de descohesión de la piedra.

Limpieza. Como ya ha sido indicado, la agresión del ambiente sobre la cruz es diversa y depende tanto de la zona como de su orientación geográfica y espacial. Por ello, antes de iniciar la limpieza, se diferenciarán con mayor exactitud los diferentes grados de deterioro para poder seleccionar el método más efectivo y menos agresivo con el soporte pétreo. Para la eliminación de la suciedad y las costras se priorizará la limpieza manual y mecánica, con el uso de bisturí, micromotores o microproyección de abrasivos. Se realizará limpieza química cuando la limpieza mecánica no sea efectiva, previa realización de pruebas y catas.

Consolidación con producto inorgánico exclusivamente en las zonas que lo requieran y cuando el sustrato se muestre descohesionado.

Reintegración con mortero de cal hidráulica como medida preventiva; se realizará principalmente en las zonas con pérdidas volumétricas del capitel y del fuste. Su función será la de sellado para evitar la retención del agua y la erosión del viento.

Protección de la piedra con hidrofugante si al terminar la intervención se considera que la acción del agua de la lluvia puede incrementar su deterioro.

FUENTE DE MÁRMOL EN USO

La intervención en esta fuente de mármol, solicitada por el Museo Palau Mercader de Cornellá del Llobregat, tiene como objetivo recuperar su aspecto y función originales. Can Mercader es un palacio de estilo romántico construido en 1865 por la familia Mercader-Bell·lloc, perteneciente a la nobleza catalana. Los condes de Bell·lloc trasladaron allí las colecciones que tenían en sus otras residencias y las distribuyeron por las salas con una intención marcadamente expositiva.

El ayuntamiento de Cornellá del Llobregat adquirió la finca en 1974 y tras un período de rehabilitación, la abrió al público como museo en 1995. El Palau Can Mercader es hoy un museo que muestra las afinidades y los gustos artísticos de una familia aristocrática de finales del siglo XIX.

La fuente se debió construir al mismo tiempo que el palacio y está ubicada delante de la entrada principal del museo en el centro de un pequeño estanque.

Datos técnicos y estilísticos:

Nombre: Fuente
Material: Mármol blanco
Datación: hacia 1865
Medidas: 2,23 x 1,40 m
Ubicación: Parque público Can Mercader, Cornellá del Llobregat, Barcelona

La fuente consta de dos platos circulares decorados en la cara inferior con molduras y soportados por un eje formado por 3 tres balaustres, el inferior decorado con hojas y molduras, el central sólo molduras, el superior es liso y termina en surtidor de agua.

Diagnóstico del estado de conservación:

Presentaba una gruesa estratificación de concreciones calcáreas de diferentes durezas debido a la falta de limpieza durante más de 50 años. Es necesario remarcar que el agua que abastecía la fuente procedía de una mina, hasta que hacia el año 2000 pasó a suministrarse con la red de agua potable.

El grosor y peso de las concreciones, además de formar una cobertura exterior con musgo y plantas superiores que le dieron un aspecto parecido a un árbol, también ponían en peligro la estabilidad e integridad de la fuente. [Figura 6]

En 1999/2000 debido a problemas con el surtidor, se instaló un tubo de cobre externo, agujereando los dos platos de mármol y cubriendo el tubo con cemento rápido. Las concreciones calcáreas se dejaron intactas.



Figura 6. La fuente del Palau Mercader antes de la 1ª fase de la intervención

Proceso de intervención

Eliminación de las concreciones. En la primera fase de intervención se empezó eliminando manualmente la capa externa de musgo y vegetación. Debajo de esta aparecieron las raíces de musgo, con estratos arenosos de sedimentación muy compactos y concreciones calcáreas formadas por precipitación del carbonato cálcico del agua de mina, de durezas, formas y grosores muy diferentes; algunas de ellas, sobre todo las que cubrían el plato inferior, alcanzaban los 50cm de espesor. También se encontraron otros elementos vegetales fosilizados o carbonatados como hojas de plátano y estalagmitas con formas coralinas. [figura 7]

La retirada de todos estos recubrimientos calcáreos junto con otros elementos, como piedras y restos de materiales, se hizo manual y mecánicamente, utilizando martillos y escarpas en combinación con radiales y martillos neumáticos eléctricos [figura 8]. Una vez extraídos llenaron 1 saco y medio de escombros, lo que equivale a aproximadamente 1m³ de volumen y 1000Kg. de peso.

Cuando se alcanzaron las capas más internas y cercanas a la superficie del mármol se utilizaron micromotores eléc-



Figura 7. Elementos vegetales fosilizados o carbonatados



Figura 9. Estratos calcáreos en la superficie



Figura 8. La fuente del Palau Mercader durante la 1ª fase de intervención



Figura 10. La fuente del Palau Mercader después de la 1ª fase de intervención

tricos y micromartillos neumáticos de mayor precisión.

Por último, ya en contacto con la superficie del mármol, se identificaron cuatro estratos calcáreos muy finos [figura 9]. Para su eliminación se usaron bisturís y cepillos metálicos en combinación con apósitos de carbonato de amonio y EDTA al 10%, en intervalos de 10 minutos para reblandecer las capas. Con ello se consiguió una limpieza de la superficie del mármol hasta recuperar los volúmenes y formas decorativas. Además se pudieron identificar algunas de las juntas de unión de los elementos escultóricos, lo cual ayudó a entender su estructura y sistema de montaje.

En la parte superior de los platos se consiguió un grado de limpieza uniforme, aunque no exhaustiva, y parcialmente se llegó al nivel del mármol. Sin embargo, en la parte inferior de los platos y en las balaustradas no fue posible la eliminación total de las capas.

En el balaustre central, entre los dos platos, aparecieron dos pernos de hierro soldados que esconden una reparación anterior o una posible fractura de la pieza. Estos elementos metálicos se limpiaron con micromotor y se les dio un tratamiento antioxidante con ácido tánico como estabilizador y una protección antihumedad con dos capas de resina epoxi.

Una vez recuperada la visión de la fuente en su totalidad se observó que estaba mal montada; así como también desplazada del eje central y que el plato superior estaba ligeramente inclinado.

Por su complejidad, después de consensuarlo con los responsables del Museo y de la Diputación, se creyó conveniente interrumpir la restauración en esta primera fase dejando la fuente presentable al público e in situ. [figura 10] Tras este proceso queda pendiente una segunda fase en la cual se estudiará la posibilidad de desmontar la fuente y restaurarla en laboratorio para volverla a colocar en su ubicación original. Para ello será necesario localizar todas las juntas de unión de las diferentes piezas que componen la fuente y la naturaleza y grado de dureza y reversibilidad de las mismas. Se realizarán pruebas de eliminación que nos ayudarán a valorar la viabilidad o no del desmontaje completo.

Si esto fuera posible nos permitiría realizar la limpieza exhaustiva de todas las piezas y quizás recuperar el conducto original de canalización del agua; también se intentará extraer los pernos de hierro del balaustre reparado y valorar el estado de conservación del mismo.

Si esta intervención pudiera suponer algún riesgo para la fuente, deberán ser estudiadas otras opciones como, por ejemplo, desmontarla parcialmente o incluso no desmontarla y realizar in situ la restauración final.

Bibliografía

BASTARDES, A. (1983). *Les Creus al Vent*, Col·lecció Aire Lliure-1, Barcelona, Editorial Milla.

RICO VÁZQUEZ, M., ROIG LERONE, M. (2008). "El cementiri del Masnou, un museu a l'aire lliure (segles XVIII-XXI)". III Beca d'Investigació i de Recerca Local del Masnou, 2006. *Roca de Xeix*, número 27. Ajuntament del Masnou, Patronat Municipal



Núria AVECILLA PALAU
Diputació de Barcelona
avecillapn@diba.cat

Licenciada en Conservación-Restauración por la Universidad de Barcelona. Profesora de Restauración Arqueológica en la Escuela de Artes y Oficios de la Diputación de Barcelona (1988-2010). Imparte clases de Técnicas Artísticas en el Grado de Historia del Arte de la Universidad Autónoma de Barcelona. Técnica de la Oficina de Patrimonio Cultural de la Diputación de Barcelona. Conservadora Restauradora de Vidrio, Mosaico, Piedra y Pintura Mural Romana.



Marta Llach Berné
Diputación de Barcelona
llachbm@diba.cat

Licenciada en Historia del Arte por la Universidad de Barcelona. Diplomada en Restauración de Cerámica y Materiales Pétreos por l'Istitut per l'Arte e il Restauro Palazzo Spinelli de Florencia. Postgrado en Gestión de Empresas Culturales y en Gestión de Proyectos Culturales por la UOC (Universitat Oberta de Catalunya). Técnica de la Oficina de Patrimonio Cultural de la Diputación de Barcelona.



Manuel Ángel Iglesias Campos,
Universidad de Barcelona
manuel.iglesias@ub.edu

Doctor en Conservación-Restauración por la Universidad de Barcelona. Miembro de los grupos de investigación CETEC-Patrimoni (UAB-IQS) y Conservació-Restauració del Patrimoni (UB). Actualmente es profesor de la Secció de Conservació-Restauració de la Facultat de Belles Arts (Universitat de Barcelona). Su línea de investigación se centra en el tratamiento de materiales del Patrimonio Arquitectónico y Monumental.

Jornada sobre conservación de patrimonio Rosa M^a Esbert *In Memoriam* 16 de mayo de 2013



Intervención sobre el revoco decorativo de la muralla romano-medieval de León.

Aránzazu Álvarez Villalibre.

Resumen: En este artículo se presenta la restauración de un elemento singular por ser uno de los pocos ejemplos existentes conservados en la actualidad. La mayor parte de nuestro Patrimonio inmueble ha llegado a nuestros días con sus paramentos limpios, cuando, en realidad, estaban dotados de una epidermis que cumplía una doble función: protectora y decorativa. La desaparición de estos revocos ha conllevado la pérdida de elementos artísticos tanto pictóricos como escultóricos, y la desaparición de una valiosa información para el estudio histórico. Aunque hay algunos artículos referidos al revoco de la muralla, aún no se ha estudiado con la profundidad necesaria.

Palabras clave: Restauración, mortero, revoco, muralla, arquitectura, decoración, medieval.

Intervention on the wall decorative plastering roman medieval of León.

Abstract: The wayside cross in El Masnou and the Palau Mercader marble fountain in Cornellá de Llobregat are two on-site interventions on stone objects within the conservation and restoration program created by the Diputació de Barcelona as technical support in partnership and cooperation with the local municipal museums network. This article presents the beginning of on-site restoration work with our own Cultural Heritage Office staff, the purpose of which is to establish medium and long-term follow-up preventive conservation plans to control, maintain and preserve the local cultural heritage in the best possible conditions. These programs will allow degradation processes of the objects to be evaluated, and the efficiency of the treatments and materials used to be determined. At the same time, these programs should be viable and adapt to the existing available technical and economic resources.

Key words: Restoration, mortar, plastering, wall, architecture, decoration, Medieval

Introducción

La Muralla Medieval de León en su origen debía estar totalmente revocada. En la actualidad dicho revoco se conserva en contados puntos de la misma, ha desaparecido, en su mayoría, por su abandono y posterior deterioro o ha sido eliminado durante las intervenciones que ésta ha sufrido a lo largo del tiempo, por no considerarlo de la suficiente entidad e importancia.

Gracias a los esfuerzos de, entre otros, el arqueólogo Julio M. Vidal Encinas, con sus estudios y publicaciones referentes a este revoco, se le ha devuelto la importancia y relevancia que merece.

Con las obras de emergencia ya iniciadas sobre los cubos denominados E5 y E6 del tramo de la carretera de los Cubos de León se decidió sobre la marcha la conservación del revoco situado en el cubo E6, para lo cual la empresa adjudicataria de la obra me solicitó elaborar la propuesta de tratamiento.

Reseña histórica. Aspectos técnicos del revoco

Como ya es bien sabido por todos, desde la Antigüedad las arquitecturas se han cubierto con decoraciones de múltiples maneras y formas. Desgraciadamente, la mayoría de estos recubrimientos no han llegado hasta nuestros días

por diversas razones, con lo cual, nos hemos acostumbrado a ver los muros de los monumentos desnudos, con la piedra vista.

En los libros miniados la arquitectura es un tema constante, así que, gracias a los ejemplos que se conservan y al estudio de esas iluminaciones podemos conocer mucho mejor cómo eran esas ricas ornamentaciones.

La Muralla de León data de época romana, pero según consta en la documentación histórica se realizaron reconstrucciones a comienzos del siglo XIII. Para ello emplearon una fábrica de cal y canto rodado, que se diferencia al primer golpe de vista de la fábrica original romana con paramentos de *opus incertum* formados por bloques de cuarcita, caliza y arenisca. Además de cantos rodados, en el cubo, también colocaron grandes sillares de conglomerado, que en la zona del revoco se dejan totalmente vistos.

Es en ese momento del siglo XIII donde hay que situar este revoco decorativo. Se encuentra a unos 8 metros de altura [Figura 1]. Ocupa una superficie de 36 metros cuadrados, que rodea por completo el cubo, salvo por una gran laguna. Mide 19 metros de largo y 1.90 de ancho. No se han tomado muestras para analíticas pero a simple vista se aprecia que el mortero está básicamente realizado con cal y áridos de diferentes granulometrías, además de ladrillo machacado y cenizas de madera. Tiene un grosor variable entre 2 y 4 cm. Visto de cerca es un mortero de textura muy rugosa debido al grosor del árido, aunque por otro lado, es muy apropiado para el monumento en el que se encuentra por su función defensiva.

El revoco cubre casi en su totalidad la mampostería. La técnica que emplearon para la decoración fue la incisión

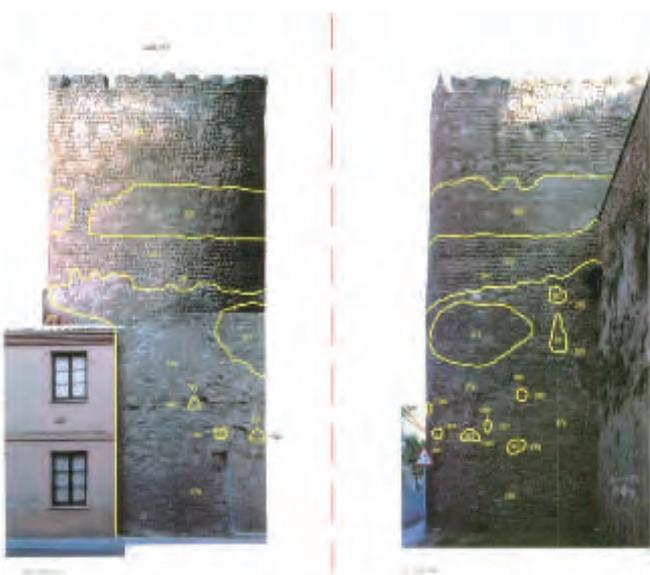


Figura 1. Revoco decorativo de la muralla

de una de sus herramientas de trabajo, probablemente la paleta, sobre el mortero aún fresco. La decoración es de tipo geométrico bastante sencilla. Se basa en una serie de líneas horizontales paralelas conformando bandas dentro de las cuales se hicieron otras líneas oblicuas que se intercalan entre los cantos rodados que han dejado descubiertos a propósito y que, con sus diferentes colores, lo enriquecen desde el punto de vista estético. La ejecución no es muy fina, tampoco demasiado regular, pero se consigue un gran efecto plástico, ya que se podría llegar a pensar al verla desde lejos que todas esas líneas conforman paralelepípedos oblicuos de piedra labrada, material de mayor categoría que el canto rodado.



Figura 2. Jornadas de trabajo o las tongadas

Las pérdidas de volumen del revoco dejan ver claramente las jornadas de trabajo o las tongadas [figura 2] que se suceden cada tres líneas horizontales o cada dos franjas. Lo fueron revocando de abajo hacia arriba, dejando un bisel curvado en la parte superior para que montara encima la siguiente tongada. Cada una de estas jornadas mide aproximadamente 43 cm de anchura; las dos bandas se reparten esos centímetros de forma desigual ya que la banda inferior tiene unos 25 cm de ancho, mientras que la superior es de 18 cm.

Además de cumplir una función decorativa, aportando una mayor riqueza y dignidad al monumento, el revoco tiene una función protectora, a modo de epidermis, aísla a la muralla de las condiciones climáticas adversas.

Estado de conservación

El revoco decorativo se encontraba en un estado de deterioro bastante grave y avanzado; con peligro de desprendimiento y pérdida de grandes zonas.

Desde el punto de vista estructural y material parece que no ha perdido gran parte de sus propiedades físicas, su

consistencia y dureza son más que aceptables, no se aprecia disgregación de los materiales constituyentes, salvo en zonas concretas.

Las alteraciones que se aprecian en el revoco son distintas en función de su ubicación en el cubo, siendo los factores ambientales determinantes.

El lado orientado hacia el Sur presenta una deformación plástica muy acusada [figura 3], existiendo un grave riesgo de desprendimiento por el combamiento del revoco. De hecho la gran laguna que existe en esta zona se ha desprendido por esta causa. Este lado del revoco ha sufrido en mayor medida las condiciones climáticas adversas, en este sentido las oscilaciones térmicas han sido cruciales para el desarrollo de esta alteración. León se caracteriza por tener contrastes de temperatura bastante acusados, helar durante la noche y a mediodía llegar hasta los 18°C. Teniendo en cuenta que el sol está incidiendo directamente sobre este lado del revoco durante casi todo el día, la temperatura que realmente tiene que soportar el mortero se multiplica. Además de las oscilaciones térmicas, otro factor que influye en el combamiento del revoco es el coeficiente de dilatación térmica, diferente para cada uno de los materiales que componen la muralla.



Figura 3. Lado orientado hacia el Sur

Otra de las alteraciones presentes en el revoco, aunque más acusada en este lado Sur es la ruptura del mortero [figura 4] en forma de grietas, fisuras, etc. Esta alteración es provocada por el agua de lluvia que penetra hacia el interior, con la bajada de las temperaturas el agua se hiela produciendo estas rupturas que cada vez van a más.

Este lado Sur, también sufre más la acción del viento, erosionando su superficie. Esto se manifiesta en alteraciones como estriado vermicular, picados y pérdidas de volumen superficiales.



Figura 4. Alteraciones del revoco en forma de grietas, fisuras, etc

El lado que se orienta hacia el Norte, se encuentra más protegido del viento, tampoco sufre de grandes oscilaciones térmicas ya que no recibe los rayos solares, por lo que no adolece de estas patologías. En cambio sufre otra no menos grave, la costra negra, originada por la contaminación atmosférica de origen antropogénico. La muralla se encuentra pegada a una vía muy transitada, la acción de los contaminantes emitidos por el tráfico rodado, junto con las partículas y aerosoles en suspensión que contienen carbón, polvo, hollín sulfatos o nitratos ha formado depósitos muy adheridos a la superficie y de bastante dureza, que desembocan en la degradación del material ya que retienen la humedad y facilitan las reacciones químicas con el mortero y los contaminantes. El hollín, producto de la incompleta combustión de varios tipos de combustibles, contiene materias oleosas o alquitranadas que hacen que se adhiera a la superficie del revoco, que como además es bastante rugosa lo hace más fácil. El hollín también es portador de sustancias corrosivas como el ácido sulfúrico, por lo que se forman depósitos de suciedad ácidos y ennegrecidos. La costra negra se concentra en mayor medida sobre las zonas cóncavas, tanto de las incisiones que marcan la decoración del revoco como del mortero que rodea los cantos rodados [figura 5]. Otra razón de por qué la costra negra se concentra en esta parte pueden ser los vientos dominantes, que no llegan a esta zona por estar más protegida facilitando la acumulación de los depósitos.

Tratamiento realizado

Como ocurre en muchas ocasiones, para la realización de este trabajo hubo una serie de condicionantes. Por un lado el presupuesto con el que se contaba para la restauración del revoco era muy limitado. Como no se contemplaba su restauración en el proyecto inicial, se decidió destinar el dinero dedicado a toma de muestras y analíticas para realizar este trabajo. Aunque los estudios analíticos son de gran importancia la dirección facultativa optó por suprimirlos al disponer de estudios ya realizados en otras intervenciones



Figura 5. Costra negra se concentra en mayor medida sobre las zonas cóncavas, tanto de las incisiones que marcan la decoración del revoco como del mortero que rodea los cantos rodados

de la muralla. Por otro lado el tiempo del que se disponía para la realización de los trabajos era de tan sólo un mes. Ambos aspectos, pero sobre todo el económico, hicieron que la propuesta inicial planteada con respecto al método de limpieza (sistema mecánico asistido por abrasión con microchorro y árido) fuera modificada con la obra ya comenzada. Sin disponer de tiempo para plantear alternativas, se decidió utilizar un producto con el que no estaba conforme; su uso se justificó contando con la aprobación de la dirección facultativa al haberse empleado en otras fases de intervención sobre la muralla.

Para afrontar la limpieza del revoco con las suficientes garantías era prioritario comenzar por su consolidación estructural. Previamente se realizaron numerosas muestras de morteros con diferentes proporciones y áridos para elegir los más adecuados tanto para la inyección como para el sellado superficial.

Se han empleado dos tipos de cal diferentes según su finalidad:

- Cal en pasta grasa Decorchaux de la casa Naturalcal, para el sellado tanto de los huecos entre el revoco y los cantos, como de sus bordes perimetrales.
- Cal hidráulica NHL 3'5 de la casa Naturalcal, para el relleno de los huecos internos. Esta cal se caracteriza porque no necesita de la presencia de oxígeno para su fraguado. Endurece por reacción química con el agua.

Los áridos empleados son una arena de río lavada, mezcla de árido fino con pequeñas piedras; y un árido más fino de arena de sílice de Soto y Amío.

Se comenzó por sellar los huecos por donde se podría escapar el mortero de inyección, dejándolos a bajo nivel

ya que era un sellado provisional. Para el relleno de las zonas abombadas, se inyectó el mortero fluidificado con una jeringuilla grande acoplada a una cánula de plástico para poder acceder a las zonas más difíciles [figura 6]. En este paso es muy importante seguir un orden a la hora de rellenar, comenzando por las zonas más bajas para ir ascendiendo poco a poco, asegurándose de que todos los espacios internos queden rellenos. En los lugares en los que el espacio lo permitía se iba batiendo el mortero inyectado para facilitar su penetración y eliminar las posibles burbujas.



Figura 6. Inyección del mortero fluidificado con una jeringuilla grande acoplada a una cánula de plástico

En las zonas donde la separación del revoco era leve y apenas había hueco para la cánula se inyectó cal sin carga con la jeringuilla.

Una vez consolidado el revoco se procedió a la limpieza. El producto empleado fue Desichem Gel Piedra, un producto comercial de la casa Chempro diseñado para la limpieza de contaminación ambiental sobre piedra ornamental y mampostería.

El peligro de estos productos industriales es que la casa no da ninguna información sobre su composición y consecuencias. Es de composición alcalino-caústica, por lo que es un producto muy agresivo y del que se desconoce los efectos secundarios que puede tener a posteriori sobre los materiales de los que se compone el revoco y la propia muralla. Se insistió sobre este aspecto a la dirección facultativa en sus visitas de obra para que consideraran otras posibilidades de limpieza en posteriores fases de restauración de la muralla.

Antes de comenzar con la limpieza química se realizó una limpieza acuosa combinada con una limpieza mecánica

por medio de cepillos de cerda sintética de dureza media, ya que el estado del mortero así lo permitía. Con ello se ablandaron y eliminaron los depósitos de suciedad muy adheridos y se dejaba más a la vista los depósitos de costra negra.

Es entonces cuando se inicia la limpieza química. Previamente se realizaron pruebas para ver cuánto tiempo se tenía que dejar actuar el producto para que fuera efectivo y se vio que 20 minutos era suficiente. El producto se aplicó con un pincel haciendo una capa de cierto grosor y sólo se limitaba a las zonas negras; el área de aplicación se limitó a 1 metro cuadrado de cada vez, para evitar que el producto se secase y hubiera que repetir la aplicación [figura 7]



Figura 7. Área de aplicación

Una vez pasado el tiempo de actuación se frotaron esas zonas con cepillos de cerda sintética para finalizar con un lavado con agua a baja presión. Para tratar de eliminar lo máximo posible todos los residuos y sales solubles que pudieran aparecer consecuencia de esta limpieza se repitieron los lavados con agua a baja presión varias veces al día durante el tiempo que duró la limpieza y días posteriores. Esto ha sido bastante efectivo, aunque ha aparecido de manera puntual algún velo blanquecino producto de las eflorescencias.

Finalizada la limpieza sólo quedaba el sellado y rejuntado del revoco. La laguna grande no se ha reintegrado ya que estructuralmente no suponía peligro para la estabilidad del revoco conservado. Se han recrecido pequeños volúmenes que ayudaban a su conservación, siempre evitando el estancamiento y la penetración del agua, y los que han sido necesarios por motivos estructurales.

El mortero empleado en proporción 1:4 se tiñó con pigmentos minerales en polvo de la casa CTS, se hicieron las pruebas pertinentes hasta dar con el color apropiado.

Como el revoco tiene una pátina anaranjada de oxalatos no demasiado uniforme se decidió emplear dos tonos diferentes, uno más claro y otro más oscuro, en función de la zona donde se iba a aplicar.

Las grietas, oquedades y zonas picadas se han sellado dejándolas a nivel. Los bordes perimetrales del revoco se realizaron a bisel, al igual que el rejuntado de los cantos rodados en las zonas donde el revoco se había abombado y separado de los cantos rodados. Todo esto, con el fin de minimizar el daño que pudiera hacer el agua, evitando su estancamiento y tapando sus puntos de acceso [figura 8].

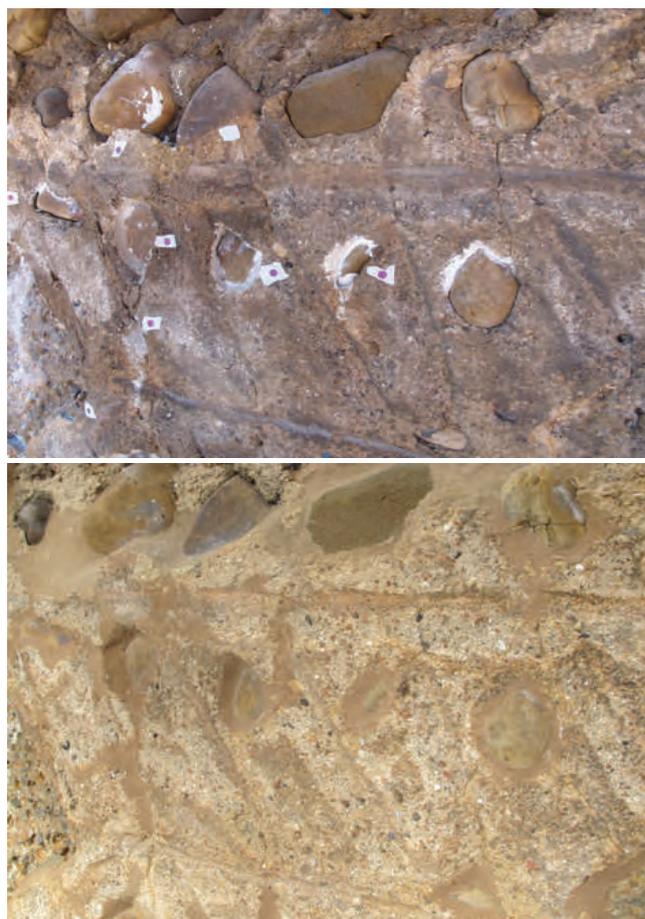


Figura 8. Grietas, oquedades y zonas picadas que se han sellado.

Conservación preventiva

Dentro del informe se aportaban una serie de recomendaciones encaminadas a la conservación preventiva del revoco y la muralla en general.

El seguimiento y mantenimiento de una obra al aire libre restaurada es primordial. En este caso la vigilancia o revisión periódica visual, sobre todo, para controlar el crecimiento de plantas y poder eliminarlas a tiempo, antes de que dañen más gravemente el revoco.

Las condiciones ambientales no se pueden modificar o controlar tan fácilmente como dentro de un espacio cerrado, pero sí que hay aspectos de su entorno que si se cambian pueden repercutir en el riesgo de deterioro.

Es el caso de la contaminación ambiental, lo más idóneo sería que se limitara el tráfico rodado por esta calle haciéndola peatonal.



Figura 9. Imágen de la muralla

Bibliografía

ALCALDE MORENO, M. y VILLEGAS SÁNCHEZ, R. (2003). "Indicadores de alteración de los materiales pétreos", Cuadernos técnicos, Nº8, pp. 168-193.

ALCALDE MORENO, M. y VILLEGAS SÁNCHEZ, R. (2007). Actas de la jornada técnica "Tratamientos de conservación aplicados a materiales pétreos". Cáceres. Junta de Extremadura.

CABRERA GARRIDO, J. M. (1996). "Estudios de recubrimientos de fachadas antiguas: la pátina de la piedra y el color de la arquitectura", en XI Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales: Castellón, 3, 4, 5 y 6 de octubre de 1996, pp. 869-877.

CAMPOMANES ALVAREDO, E. (2001). "Introducción al estudio estratigráfico murario de la muralla de León" Actas del IV Curso de Cultura Medieval seminario, La fortificación medieval de la Península Ibérica", pp. 351-360. Aguilar de Campoo: Fundación Santa María la Real, Centro de estudios del Románico.

ESBERT ALEMANY, R. M. y LOSADA ARANGUREN, J. M. (2003). "Criterios de intervención sobre materiales pétreos", Bienes Culturales, Nº2, pp.1-34.

FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, E. y GALVÁN FREILE, F. (2008). "Pintando arquitecturas/arquitecturas pintadas: las construcciones figuradas en el Códice Albeldense", De Arte, Nº 7, pp. 51-60. León: Universidad de León, Facultad de Filosofía y Letras.

FERRER MORALES, A. (1996). "Decoración de muros en castillos califales de Andalucía Oriental", Atrio, 8/9, pp. 3-18. Sevilla: Universidad Pablo Olavide. Disponible en: <http://www.upo.es/depa/webdhuma/areas/arte/atRIO8/1.pdf>

VIDAL ENCINAS, J. et al. (2002). "Un asunto superficial: el revoco decorativo del recinto amurallado romano-medieval de León", De Arte, Nº 1, pp. 11-20. León: Universidad de León, Facultad de Filosofía y Letras.

VILLEGAS SÁNCHEZ, R., BAGLIONI, R. y SAMEÑO PUERTO, M. (2003). "Tipología de materiales para tratamiento", Cuadernos técnicos, Nº8, pp. 168-193.



Aránzazu Álvarez Villalibre

Arancha.villalibre@gmail.com

Licenciada en Historia del Arte por la Universidad de León y Diplomada en Conservación y Restauración de B. C. en la especialidad de escultura por la E.C.R.B.C.de Madrid. Miembro del Grupo de trabajo de piedra del GEIC. Desde el año 2000 que finalizó sus estudios oficiales se ha dedicado por completo al campo de la restauración trabajando para diferentes empresas y desde el año 2010 de manera autónoma.

Jornada sobre conservación de patrimonio Rosa M^a Esbert *In Memoriam* 16 de mayo de 2013



Catedral de Tudela. Los problemas de conservación de la piedra campanil.

Alicia Ancho Villanueva

Resumen: La catedral de Tudela es uno de los edificios históricos más destacados de Navarra, tanto por el interés arquitectónico del templo y de sus dependencias, como por los bienes que contiene y por las dimensiones del conjunto. Muestra un magnífico repertorio escultórico románico distribuido entre sus edificaciones, especialmente rico en el claustro y en las tres portadas que dan acceso al templo. Actualmente la escultura monumental presenta graves problemas de conservación que no sólo encontramos en la catedral de Tudela. Está presente en todas las construcciones realizadas con el mismo tipo de piedra en la Ribera de Navarra y afecta a elementos tan lejanos de Tudela como el trasaltar de la Catedral de Burgos, por lo que nos encontramos con un problema de dimensiones y consecuencias para la conservación de nuestro patrimonio realmente de calado. El artículo se centra en el claustro, y presenta un resumen de su historia material, de los estudios previos realizados, los proyectos a desarrollar y las perspectivas de actuación para mejorar las condiciones de conservación de uno de los mejores conjuntos de escultura del siglo.

Palabras clave: Piedra caliza campanil, conservación preventiva, expansión por secado, estudios previos, escultura monumental, restauraciones antiguas, investigación, detector de metales.

Tudela Cathedral. The problems of conservation of stone campanile.

Abstract: The Tudela cathedral is one of Navarre more outstanding historical buildings, so much because of the temple architectonic interest and its dependencies, as for the architectural goods and the dimensions of the ensemble. The cathedral exhibits a magnificent Romanic sculptural repertoire distributed among its contractions. It is especially rich in the cloister and the three portals to access to the temple. At the present time the monumental sculpture displays serious conservation problems found not only in the Tudela cathedral. These problems are manifested in all the constructions made with the same kind of stone in the Navarre Ribera and they are affecting so distant sculptural elements as the trasaltar of Burgos cathedral. So we are facing a problem of big dimension and with dire consequences to the conservation of our patrimony.

Key words: Campanil limestone, preventive conservation, expansion by drying, previous studies, monumental sculpture, old restorations, investigation, metal detector.

La catedral de Tudela, uno de los primeros edificios de Navarra en ser declarado Monumento Nacional en el siglo XIX¹ ha sido objeto de gran valoración desde hace más de un siglo, y tanto por su riqueza patrimonial como por la alta valoración de que es objeto, se han realizado en ella desde entonces diversas obras de restauración y conservación. Su magnífica escultura románica presenta graves problemas de conservación, y no los encontramos sólo en la catedral de Tudela. Afecta en mayor o menor medida a todas las construcciones realizadas con el mismo tipo de piedra en la Ribera de Navarra, por lo que nos encontra-

mos con un problema grave, de enormes dimensiones y consecuencias para la conservación de nuestro patrimonio. [Figura 1]

Desde 2003 la Dirección General de Cultura/Institución Príncipe de Viana, viene realizando un seguimiento de la evolución de la escultura monumental del claustro de Tudela, que sufre un proceso de deterioro importante ya detectado a mediados del pasado siglo, pero que en los últimos años se muestra más agresivo en algunas zonas. [Figura 2 y 3]



Figura 1. Vista general de la catedral de Tudela e iglesia de la Magdalena desde el puente del Ebro.



Figuras 2 y 3. Comparativa de la evolución de daños en un mismo capitel entre 1960 y 2005.

La piedra se fractura por sí misma, dando el aspecto de una rotura mecánica, por compresión o por golpe, pero no existen tales detonantes. Hay elementos que presentan lesiones muy antiguas que no han progresado desde hace un siglo. Y encontramos otros elementos donde el deterioro es evidente de semana en semana: aparecen mi-

crofisuras, la grieta se va abriendo, y finalmente salta un fragmento por sí solo. La piedra continúa siendo dura, los filos de la fractura son cortantes, no hay material friable. Los fragmentos desprendidos pueden ser de unos pocos milímetros o de tamaño considerable y un peso de hasta varios kilos. El proceso generalmente no termina ahí.

Podemos retirar un elemento desprendido (por ejemplo una cabeza o un torso) y en unos meses ese fragmento puede convertirse en tres o cuatro, lo que dificulta su relocalización futura. En otros casos el elemento recogido no continúa fragmentándose, pese a estar guardado en el mismo entorno que el que sí lo hace.

Los estudios encaminados al conocimiento de las causas del deterioro que está sufriendo el claustro, de cara a plantear la intervención restauradora más correcta posible, son interdisciplinarios y muy exhaustivos, llevados a cabo por un equipo de especialistas, entre los que destacan Artelan, empresa de restauración que ha hecho las intervenciones de urgencia, estudios de estado de conservación y estudios previos y el equipo Arbotante, geólogos de la Universidad de Zaragoza dirigidos por Josep Gisbert, quien describió por primera vez la patología que presenta la piedra campanil con la que está construida la catedral de Tudela. El objetivo es concretar qué mecanismos operan para provocar el nivel de destrucción que padece la piedra y la forma adecuada de tratarla para evitar su avance. Pese a los años de estudio y los diferentes profesionales que están aportando sus conocimientos para salvar la escultura monumental tudelana, la solución no está clara todavía.

Paralelamente a los estudios, se han realizado varias campañas de intervención de urgencia para frenar la pérdida de escultura, pero el deterioro continúa. En ellas se actúa puntualmente asegurando mediante colocación de tiras de engasado las zonas afectadas por la patología activa para evitar su pérdida, o retirando los fragmentos con peligro de caída, o incluso protegiendo los capiteles con una malla para evitar mayores pérdidas. La empresa Artelan ha realizado cuatro campañas (en 2004, 2005, 2007 y 2013) presentando al finalizar cada trabajo un "Estudio del estado de conservación del claustro de la catedral de Tudela" correspondiente a cada año, cuyas fotos y gráficos corroboran la aceleración que vive el deterioro de la escultura monumental románica del claustro de la catedral de Tudela. Además, técnicos de la Sección de Bienes Muebles de la Dirección General de Cultura han intervenido de urgencia en varias ocasiones para asegurar puntos extremadamente frágiles o retirar elementos con alto riesgo de desprendimiento.

La Catedral de Tudela. Descripción.

La catedral de Tudela se construyó sobre el solar que acogía a la mezquita mayor. Entre 1180-1200 se levanta el claustro. Las obras empiezan en crujía norte y continúan por este y sur, finalizando en el lado oeste. Entre 1190 y 1195 se levanta la portada sur, y entre 1200 y 1204 se alza la portada norte. Finalmente entre 1200 y 1210 se levanta la maravillosa Puerta del Juicio, citada en documentación de la época como "puerta pintada".

El claustro se encuentra al sur del templo. La planta de

las arquerías es un rectángulo casi regular, con lados mayores orientados al este y al oeste. Las arquerías son de medio punto hay nueve en los lados menores y doce en los mayores y apean en triples y dobles columnas alternativamente, casi todas ellas repuestas en los años 40 por columnas lisas de arenisca. En el centro de los lados, marcando los ejes del jardín interior, hay pilares rectangulares con dobles columnas adosadas a cada intradós. En los ángulos del claustro también hay pilares, con columnas pareadas en sus frentes y semicolumnas en los chaflanes. En el interior de los ángulos hay otro orden de columnas a la altura de los arcos con algunas escenas en relieve en el ángulo sureste. Hacia el jardín las arcadas son sencillas, limitadas con una moldura de baquetón. Por el interior las arquivoltas se decoran con líneas geométricas y en los lados menores se desarrollan dientes de sierra adaptados al medio punto.

El verdadero interés de este claustro reside en los capiteles figurados que coronan las columnas. De los 58 capiteles que componían originalmente el claustro (42 en columnas y 16 en los pilares de esquina) han desaparecido completamente 16 y no tenemos referencia sobre las figuras representadas en ellos. Actualmente se encuentran en buen estado 24, y padecen daños de mayor o menor gravedad 18; 5 de ellos en estado tan grave que su lectura se va haciendo muy difícil. En los capiteles predominan las figuras robustas, de grandes cabezas y ojos marcados, vestidas con pesados plegados curvos que resaltan sus miembros. Sus cabellos y barbas son muy variados, detallados y minuciosos, con rizos y trenzados. Sus gestos muy expresivos. La figura principal suele aparecer en un ángulo, mientras que las otras se sitúan en los lados, dirigiéndose a ella, aunque en ocasiones el protagonista ocupa el centro de la cara del capitel. A las figuras se añaden fondos arquitectónicos, árboles o follaje que dan idea de un desarrollo paisajístico. Encontramos también volutas con follaje y frutos que recuerdan los clásicos elementos del capitel. A pesar de la importancia de la figura, en algunos capiteles el follaje y la decoración vegetal estilizada se hace predominante y también pueden aparecer junto al follaje seres monstruosos o animales. Los cimacios mezclan motivos vegetales y entrelazos geométricos.

En cuanto a la iconografía, desarrollan fundamentalmente escenas bíblicas y neotestamentarias, aunque también hay representaciones de la vida de la época, como la carcería del jabalí, y otras escenas simbólicas con animales y seres fantásticos². Los capiteles todavía conservan restos de policromía en ojos y cejas, e inscripciones relativas a los personajes representados. Las arquerías del claustro están construidas con piedra caliza campanil, denominada así por la especial sonoridad que produce al golpear un fragmento con otro. También hay algunos elementos de arenisca, pero son los menos (sólo los tres primeros capiteles). Todas las piezas introducidas en la restauración de 1940 son de piedra arenisca, precisamente para evitar sufrir los problemas de la campanil.



Figura 4. Vista general del claustro desde el huerto, en 1916

El Claustro a través de los siglos. Historia material.

Las obras en el claustro han sido relativamente pocas en sus más de ocho siglos de existencia, pero hay dos intervenciones, la del siglo XVI y la del XX que han sido cruciales para entender su situación hoy en día. En síntesis, estos son los datos conocidos:

S. XVI

— Remodelación del claustro. Se cubre con bóvedas de ladrillo y yeso, que sustituyen a la cubierta original. Cada tres arcos románicos se levanta un arco al interior y un contrafuerte al exterior, ambos de ladrillo. Se cierran las arquerías. En el lado oeste se levanta un sobrepiso de ladrillo. En el lado sur se construye una galería – solana³ [Figura 4]

1879

— Se construye una galería perimetral sobre el claustro.

1941 - 1950

— Restauración del claustro:

— Desmontado del claustro y de las edificaciones que tenía encima y posterior montaje conforme a su disposición original. Cimentado, reposición de arquerías, introducción de basas, columnas, capiteles y arcos desaparecidos o deteriorados en piedra arenisca. Las arquerías fueron completadas hacia arriba con tres hiladas de sillares lisos de arenisca de escaso grosor y relleno de hormigón. Las cubiertas se hicieron nuevas. [Figura 5]

1953 - 1954

— Pavimentación del claustro con losa de piedra arenisca y rectángulos de canto rodado, y arreglo del jardín con aceras enlosadas y plantación de cuatro cedros.

1975

— Sustitución del ruego del pavimento por ladrillo.

1980

— Aplicación de *Poimate SIL-19* como consolidante. En documentación consta que se aplicó en las portadas, pero debió darse también en los capiteles del claustro



Figura 5. Proceso de desmontaje en 1940.

porque se ha encontrado en los análisis de películas de revestimiento. Al parecer el tratamiento consistió en una limpieza ácida, lechada de yeso, tratamiento con silicato potásico y aplicación de Poimate, producto con propiedades hidrofugantes.

1982 y 1989

Limpieza de cubiertas. Las cigüeñas y palomas obligan al mantenimiento constante, pero no siempre se cumple. En el 89 se talan los cedros del jardín del claustro porque sus raíces y ramas dañaban la estructura.

1997 - 1998

- Rehabilitación del Palacio Decanal.
- Sustitución del cañizo que soportaba las tejas en la cubierta oeste del claustro por tabla.
- Estudio del clima por TSA.

2003

- Estudio del terreno por Antonio Aretxabala, de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Navarra.
- Estudio de la piedra por Arbotante, de la Universidad de Zaragoza. Descripción de la EPS. Litologías, cartografía de sales, síntesis documental, estudio comparativo de fotos históricas, geoquímica, mineralogía de sales y caracterización del comportamiento de la roca.

2004

- Estudio y tratamiento de urgencia (sujeción y protección de los capiteles del claustro) por Artelan. Colocan contramoldes parciales a tres capiteles con grave riesgo de desprendimiento y malla ventilada en cuatro capiteles para evitar caídas de piedra.
- Fijaciones puntuales de capiteles por técnicos de Pa-

trimonio Histórico.

2005

- Nuevo tratamiento de urgencia y estudio de la evolución del deterioro de los capiteles del claustro por Artelan. Retirada de los contramoldes y colocación de malla ventilada a un capitel más.
- Fijaciones puntuales de capiteles por técnicos de Patrimonio Histórico.
- Análisis de material de escorrentía en capiteles y fustes por Artelab.

2006

- Fijaciones puntuales de capiteles por técnicos de Patrimonio Histórico.
- Se repasan algunas goteras del claustro.

2007

- Inicio de estudios previos Artelan – Arbotante de cara a la redacción del proyecto de intervención en el claustro. Nuevas fijaciones de urgencia, pruebas de limpieza y de desalación.

2008

- Presentan el estudio y conclusiones Artelan y Arbotante.
- Se plantea reparar la cubierta y comprobar estado de la fábrica y el sistema de montaje de los capiteles mediante catas, pero no se lleva a efecto.

2009

- Arbotante desarrolla en laboratorio y presenta un protocolo de extracción de sales.

2012

- Se convoca una jornada de trabajo de especialistas en Tudela para avanzar en la solución, ante las dudas que plantea la redacción del proyecto. La jornada de trabajo se desarrolla in situ, y asisten a ella:

Concha Cirujano Gutiérrez. Restauradora de materiales pétreos. IPCE

José Vicente Navarro. Geólogo. IPCE

Pedro Pablo Pérez García. Geólogo.

Javier Sancho Domingo. Arquitecto. IPV

Alicia Ancho Villanueva. Restauradora. IPV

Violeta Romero Barrios. Restauradora. IPV

Berta Balduz Azcárate. Restauradora. Museo de Navarra

Diana Pardo Gil. Restauradora. Diputación Foral de Álava

Cristina Escudero Remirez. Restauradora. CyL

Pep Gisbert. Geólogo. Universidad Zaragoza. Arbotante

Raquel Sanz Falcón. Restauradora. Arbotante

Javier Latorre Zubiri. Restaurador. Artelan.

2013

- Técnicos restauradores y arqueólogos del Servicio

de Patrimonio Histórico, realizan un estudio con detector de metales para localizar los elementos metálicos existentes en el claustro. A la vista de los resultados, se descarta desalar o desmontar el claustro.

— Encuentro del Grupo de Piedra del GE-IIC en Oviedo, con motivo del homenaje a Rosa Esbert. Se presenta el tema del claustro de Tudela y la piedra campanil. La opinión general de los geólogos presentes es que el problema está en la propia piedra, pero hay que dar con el mecanismo de activación.

— Estudio y tratamientos de urgencia de los capiteles por Artelan, previo a la instalación de protecciones de cara a las obras de reparación de cubierta y ampliación del alero del claustro.

— Sustitución de la cubierta de 1940, conservando la estructura de madera, ampliando el alero y mejorando el sistema de evacuación de aguas.

— Programa de colaboración con el Museo de Navarra, donde Arbotante lleva a cabo más estudios sobre elementos esculpidos en piedra campanil, que pese a estar en un entorno de museo, seguro y controlado, presentan los mismos daños que la escultura monumental in situ, y la patología se encuentra muy activa.

Metodología de estudios previos.

En el archivo de Patrimonio Arquitectónico se conservan planos de la restauración de 1940-50 del claustro (estado previo y restauración). En la última década se ha realizado el levantamiento de planos de la catedral, que incluye plantas del claustro, secciones de todas las crujías y alzados de las arquerías desde el jardín. Todos esos alzados y secciones cuentan con representación detallada de las arquerías y los capiteles. Estos planos han servido para marcar las litologías, estudios de distribución de sales, patologías e intervención, y van a servir de base para un próximo proyecto de estudio de insolación.

Conservamos fotografías históricas⁴ de las galerías y del jardín (huerto en este caso), anteriores a las obras de 1940 y de la propia obra, que constituyen unos datos muy valiosos, dada la poca documentación del estado previo y de las obras. Hay vistas generales del claustro desde 1916, y una serie completa de los capiteles, cara por cara, una vez terminada la restauración del siglo pasado. Otra serie completa es la constituida por el fondo del Catálogo Monumental de Navarra, publicado en 1980. De fechas recientes hay series fotográficas completas de los capiteles, realizadas con cámara digital para los estudios del estado de conservación y para el levantamiento de planos. Estamos trabajando en un proyecto de colaboración con el Departamento de Ingeniería de la Universidad Pública de Navarra – Campus de Tudela para el escaneo de los capiteles y elementos escultóricos en 3D. Factum Arte escaneó en 2012 dos capiteles y realizó la reproducción en escayola de una de las caras de un capitel⁵.

Se ha establecido un sistema de siglado único de los ele-

mentos del claustro, que facilite la localización de cualquier elemento y permita a todos los especialistas implicados trabajar con la documentación generada, ya que el claustro es muy complejo y resulta evidente que avanzaremos mejor si todos hablamos el mismo idioma. Sirve para la identificación, descripción y localización de capiteles, arcos, pilares, fustes, basas y zócalos del claustro.

A lo largo de estos años han pasado por el claustro varios equipos de restauradores, que han recogido los datos de estado de conservación de los elementos escultóricos. Todos ellos debían conocer y utilizar el mismo lenguaje para referirse a las patologías presentes en la piedra o en las películas de revestimiento. Por ello se fijó un glosario ilustrado de las patologías encontradas, que han ido manejando, y en ocasiones ampliando, los sucesivos equipos. Cada patología cuenta con una breve descripción, una fotografía que la identifica claramente, y la trama elegida para su representación gráfica sobre plano. Hay diversos deterioros: fisuras, fracturas, pulverización, descamación, picoteado, escorrentías y pátinas de enmugrecimiento. Tiene especial importancia la que el equipo de geólogos ha denominado patología de expansión por secado (EPS), que ha sido estudiada con detalle.

Estudios previos específicos

1.-El terreno de la catedral de Tudela⁶

La catedral de Tudela se asienta junto al lecho del Ebro, de cuyo cauce actual se encuentra relativamente cerca. Los terrenos atravesados son rellenos antrópicos, arcillas marrones con gravas y gravillas, gravas redondeadas en matriz arenosa, y a más de 10 m margas grises y formaciones arcillosas impermeables al paso del agua. Hay agua a partir de 6 m de profundidad, asociada al cauce del Ebro a través del estrato de gravas. En momentos puntuales de inundación, que pueden llegar a ocurrir anualmente en otoño y/o primavera, el nivel varía poco más de 20cm, por lo que la afección en el claustro es inapreciable.

2.-La piedra de la catedral de Tudela: caracterización de la patología EPS⁷

En 2003 el arquitecto del Servicio de Patrimonio Histórico, Javier Sancho, solicita un estudio que explique determinadas patologías que presenta la catedral de Tudela, aparentemente con aspecto de problemas de cargas, pero que no pueden explicarse por este motivo. El estudio se realizó sobre los materiales pétreos del interior de la catedral y del claustro, con algunas observaciones sobre las portadas. En la catedral encontramos caliza campanil, arenisca utilizada en la construcción y arenisca utilizada en las restauraciones del siglo XX. La primera es la más abundante y su deterioro más grave, por lo que requiere más atención. Se efectuó la caracterización de la piedra campanil y su

comportamiento en laboratorio. Se realizaron mapas de distribución de sales de las arquerías del claustro y esto se combinó con el estudio del deterioro in situ. La patología más evidente se manifiesta en fracturas debidas a expansión de la piedra, que se origina en condiciones de secado extremo generalmente en presencia de sales de magnesio, aunque no siempre. La patología es antigua y en algunos puntos ha llegado a un punto de estabilización o latencia. El aumento de los efectos de esta patología en los últimos decenios parecía en principio debida a la lluvia ácida y al magnesio aportado por la arenisca y el cemento Pórtland introducido en la restauración, pero como iremos viendo esto no justifica todos los casos. En la piedra arenisca la degradación se debe a un mecanismo diferente, de arenización y desintegración granular, causada por la baja calidad de la piedra. Es una patología habitual de este tipo de piedra que no da mayores problemas a la hora de plantear tratamientos de conservación-restauración, por lo que no nos referiremos a ella en este trabajo.

La piedra campanil es una caliza lacustre de color blanco. Los términos litológicos varían desde wackstone hasta packstone bioclástico; variaciones que indican oscilaciones ambientales en el contexto lacustre, correspondiendo los términos wackstone a zonas más cercanas a la orilla del lago respecto a los términos packstone. El porcentaje medio de residuo insoluble es del 2,44%, por lo que se trata de calizas muy puras. En el residuo soluble se encuentran al menos dos tipos de materia orgánica, una de las cuales corresponde a restos carbonosos visibles con lupa de mano. La comparación de resultados de los ensayos muestra que los sillares con mayor contenido de materia orgánica son los que presentan un peor comportamiento frente a la patología EPS. Se ha estudiado la configuración del sistema poroso por porosimetría de inyección de mercurio. Los ensayos de absorción, succión capilar y desorción indican un sistema poroso bien comunicado que permite un movimiento rápido del agua en su interior. La rápida desorción indica una baja permanencia de la humedad en su interior.

La patología EPS se caracteriza por provocar el agrietamiento de sillares y el desprendimiento de numerosos fragmentos. En función de la orientación del sillar y de la pieza litológica puede tener distinta expresión: en un sillar colocado con la estratificación vertical aparecen desprendimientos de escamas planas paralelas a la superficie del sillar; en un sillar colocado con la estratificación horizontal la fisuración afecta a todo el cuerpo del sillar; en capiteles y motivos escultóricos la fisuración afecta a los elementos en relieve con planos de rotura y desprendimiento paralelos al núcleo de la pieza. Pero se ha comprobado que también existen elementos de este tipo (capiteles, cimacios) conservados desde hace mucho tiempo exentos, que desde hace pocos años han empezado a mostrar desprendimientos en la cara superior, permaneciendo intacta la zona labrada. En casos más graves se ha observado la fractura completa en horizontal del elemento, quedando en dos mitades, ambas con un peso considerable. No siempre se ven eflorescencias donde se rompe la piedra y no se dis-



Figura 6. Capitel expuesto en el Archivo Municipal de Tudela, fractura horizontal abierta hace 3 años.

grega la piedra al tacto. [Figura 6]

La patología existió siempre en la catedral, como muestran las fotografías antiguas y reseñan los proyectos de reparación de finales del siglo XIX. Pero desde comienzo de los años 70 parece existir una generalización e incremento del deterioro. Este aumento puede ser consecuencia del uso del cemento Portland en las reparaciones, al menos desde 1930, y de la intercalación de sillares de arenisca en paramentos de caliza, dado que son dos fuentes de magnesio, cuyas sales provocan de forma especial la patología, por encima de otras sales que ya estaban presentes por lixiviados de guano, etc. La repetición de los ciclos de humectación y secado crea una fatiga en la roca que desencadena la fisuración del material.

Con independencia de su viabilidad en la práctica, el estudio de Arbotante proponía ampliar el alero del claustro para protegerlo del impacto directo de la lluvia, colocar un toldo que reduzca la insolación en la parte N, NE y NW, estudiar un sistema de humidificación que evite el secado extremo, sustituir los fustes de arenisca y piezas del mismo material próximas a la parte decorada por otros de caliza, retirada de morteros Portland, desmontar y desalar los elementos de mayor valor artístico: piezas escultóricas, capiteles, etc. Una vez desalados, tomar las medidas oportunas para que no se mojen ni sufran nuevas intrusiones salinas. También labrar y sellar juntas de 5-8 cm de profundidad que hagan de barrera a la difusión superficial de sales y realizar perforaciones rellenas con cartucho de resinas de intercambio que capturen cationes divalentes, especialmente magnesio. Además presentó el documento *Protocolos para desalar la caliza campanil afectada por patología EPS*, que aborda tanto la desalación en piezas desmontadas y sin desmontar. Se trata de procesos complejos y delicados, sobre todo los segundos, porque la piedra afectada por esta patología experimenta importantes cambios de volumen tanto al hidratarse como al deshidratarse, cambios que pueden fisurar la roca y desprender fragmentos. Por ello requieren un estudio y una evaluación mayores.



Figuras 7, 8 y 9. Proceso de destrucción de elementos escultóricos. Capitel de San Andrés entre 2007 y 2012, y fragmentos recuperados de la malla.

Además los ensayos realizados hasta ahora tras procesos de desalación no demuestran que detenga por completo la evolución de la patología.

3.-Estudio sobre el estado de conservación del claustro ⁸

El estudio, realizado al mismo tiempo que un tratamiento de consolidación de urgencia, consistió en la realización de fichas individuales en las que se detalla el estado de conservación de cada uno de los capiteles. Se llevó a cabo

un proceso de recogida de datos, desarrollo de cartografía adecuada y normalización de descripciones de patologías presentes, siendo actualizado y ampliado posteriormente con el resto de elementos arquitectónicos: arcos, pilares, fustes, basas y zócalos. El primer tratamiento de urgencia se aplicó en 2004 en capiteles que presentaban riesgo de desprendimiento. En ellos se eliminó mecánicamente la suciedad superficial, se fijaron los fragmentos que amenazaban desprendimiento mediante tiritas de engasado adheridas con un homopolímero acetovinílico (*Vinavil 59*[®]) y resina acrílica en dispersión acuosa (*Acril 33*[®]) al 50%. Se realizaron contramoldes de espuma de poliuretano aislada de la superficie pétreo con *papel Japón* y *Tyvek*[®] para adaptar las fijaciones rígidas al capitel, y se instaló una malla ventilada recogiendo el contorno del capitel.

Un año más tarde la Institución encargó la revisión y actualización del Estudio, se realizaron nuevas fichas de cada elemento y se plasmó el avance del deterioro. La retirada de las protecciones provisionales rígidas colocadas el año anterior sirvió para comprobar que no habían aumentado los daños en las zonas protegidas por contramoldes. Se decidió mantener la red para la recogida de los fragmentos que pudieran desprenderse. Además se comprobó la buena reversibilidad de los engasados realizados en 2004 y se realizaron nuevos engasados junto con la revisión de los anteriores. [Figuras 7, 8 y 9]

En 2007 la Institución encargó un trabajo de Documentación y actuaciones previas en el claustro de la catedral, y

una nueva intervención de urgencia. Este nuevo trabajo debería servir como estudio previo de cara a la redacción de un proyecto de intervención para acometer la restauración del claustro. Nuevamente se eliminó la suciedad superficial se colocaron más engasados de sujeción y se revisó la eficacia, el estado de conservación y la reversibilidad de los engasados realizados anteriormente, viendo que el sistema seguía siendo apropiado. Por último se reinstaló la malla ventilada.

Se realizaron pruebas de eliminación de juntas y reconstrucciones de cemento, y ensayos y pruebas de limpieza de la superficie de la piedra, tanto original como de reposición. En cuanto a la retirada de reconstrucciones con cemento, se observó un claro riesgo, ya que muchas de las zonas de reconstrucción están entre fragmentos originales o los sujetan, por lo que su eliminación podría conllevar la pérdida de soporte original. Se localizaron espigas metálicas incluidas en los morteros reforzando la unión entre la piedra original y la reconstrucción y complicando la retirada de las reconstrucciones.

Las pruebas de limpieza se realizaron con microproyección sobre los arcos, utilizando distintos áridos. Se llegó a la conclusión de que el más adecuado era el de piedra pómez, sobre todo en las piezas más erosionadas. También se realizaron pruebas de limpieza con carbonato de amonio en distintos tiempos sobre soporte original de caliza campanil, con la conclusión de que no era un sistema adecuado porque la actuación era mínima e irregular, a causa de la variabilidad de la capa de suciedad, así como por la dificultad de controlar la neutralización del producto y el problema de trabajar en húmedo en una roca muy sensible. Finalmente se realizaron pruebas de desincrustación fotónica en los capiteles con un equipo Art Laser®, con resultados muy satisfactorios.

Otros estudios

En 1998 se había realizado un estudio del clima⁹. No es completo al registrar poco más de medio año, no ha quedado constancia de los puntos de colocación de los sensores, ni hay una valoración de resultados. No obstante, hemos podido comprobar que tiene más importancia el estudio de modelos de insolación y corrientes de aire que el del clima específicamente. En Tudela el clima es mediterráneo de estepa. La mayor parte de las lluvias proceden de temporales con viento del Sureste, y aportaciones de tormentas de finales de primavera y principios de otoño, alcanzando en total unos 400mm. La temperatura media anual ronda los 14°C, (31°C de media máxima y 2°C de media mínima), con más de 120 días despejados al año, y predominio de viento racheado del Noroeste (Cierzo). Hay una media de 25 días de helada y no llegan a tres los de nevada. Un fenómeno atmosférico importante en Tudela es la niebla típica del valle del Ebro. Se da en invierno, y aparece en condiciones de gran estabilidad atmosférica (anticiclón y ausencia de vientos), lo que da lugar a fenó-

menos de inversión térmica. El ambiente húmedo del Ebro provoca una intensa condensación, produciéndose la niebla. La orografía de la zona hace que el fenómeno sea muy persistente, pasando días enteros y consecutivos bajo la niebla. En Tudela dicen que la niebla "arroja", es decir, moja. Esto es importante, ya que supone una vía de humedad a tener muy en cuenta, con aportación de agua micronizada difícilmente controlable.

Tras una fuerte tormenta advertimos unas llamativas manchas blancas de escorrentía tanto en el exterior como en el interior de las arquerías. En un primer momento parecía que el agua había arrastrado arena o polvo blanco. Pero una vez examinadas de cerca las zonas afectadas pudimos comprobar que no era una sustancia que ensuciaba la piedra, si no que algo arrastrado por la lluvia había lavado la piedra. En los fustes de las columnas se aprecia un rebaje microscópico: el agua se había llevado la pátina dejando la piedra desnuda. Esto era muy preocupante, porque además de dejar la piedra sin protección, afectaba a la escultura monumental de capiteles y arcos, que todavía conservan restos de policromía original. El tejado se encontraba en malas condiciones y ocupado por un palomar incontrolado, con la consiguiente acumulación de palomino. Este material orgánico se removía durante las tormentas y era arrastrado por el agua, escurriendo por el claustro. El guano contiene ácido nítrico, úrico y fosfórico, altamente agresivos. Los estudios de laboratorio¹⁰ confirmaron arrastre de estas sustancias y por consiguiente la urgencia de atajar estos factores de riesgo.

En 2012 se celebró en el Palacio Decanal una jornada de especialistas, con el fin de avanzar en el conocimiento de las posibles causas y soluciones al problema de la piedra campanil. Durante todo el día comentamos la situación del claustro y portadas, los estudios realizados y se realizaron nuevas propuestas. Fue un paso importante, ya que el círculo de profesionales implicados en el tema se abrió a otras experiencias y puntos de vista, lo que siempre es enriquecedor. Entre los asistentes había restauradores, geólogos, y el arquitecto responsable de las obras. Hubo nuevas preguntas que no nos habíamos planteado antes o que se podían contemplar desde otra perspectiva, y constituyó una ventana de aire fresco. Nuevas vías de investigación quedaron abiertas. La jornada se recogió en un acta donde quedaron plasmadas las dudas planteadas y sus respuestas desde varios puntos de vista, cuestiones pendientes, posibles soluciones y actuaciones. Algunas se han acometido, otras están en proyecto.

En 2013 se realizó por técnicos del Servicio de Patrimonio Histórico un estudio¹¹ de la estructura interna de los elementos constructivos del claustro que supuso un cambio importante en cuanto a las posibilidades de intervenir en el claustro. Los estudios de Artelán dejaban constancia de la existencia de varillas de hierro que afloraban en varios capiteles. Sin embargo nunca había surgido la posibilidad de estudiar en qué elementos exactamente se emplearon vástagos de hierro en el montaje de la década de 1940.

Acababa de volver de un curso de especialización en conservación de piedra policromada, organizado en Madrid por el Instituto de Patrimonio Cultural de España. En él Isabelle Pallot-Frossard, del Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques de Francia presentó una ponencia sobre el proyecto de intervención en la portada de la catedral de Senlis. Explicó cómo habían conseguido distinguir las cabezas originales góticas de las reposiciones del siglo XIX utilizando un detector de metales para localizar vástagos de hierro colocados en las esculturas mutiladas durante la Revolución Francesa. Esta información me sugirió la posibilidad de emplear la misma técnica para “ver” cómo montaron el claustro de Tudela y hasta qué punto las varillas de hierro que se aprecian en los capiteles más dañados se encontrarían también en otros elementos.

Solicitamos colaboración a nuestros compañeros de la Sección de Arqueología y para mayor garantía el aparato lo manejó Jesús García Gazólaz, técnico arqueólogo, que conoce bien su manejo. En una mañana comprobamos todos los elementos del claustro. El estudio aporta datos hasta ahora desconocidos que condicionan cualquier intervención mecánica que se pretenda llevar a cabo en la estructura arquitectónica del claustro. Quedó en evidencia que el claustro está literalmente cosido con vástagos de hierro, y que embutida en la parte superior hay una estructura metálica interna que ata las cuatro arquerías. Con estos datos consideramos inviable realizar un desmontaje para proceder a su desalación o a su sustitución por réplicas. La piedra caliza de la catedral se denomina “campanil” por su especial sonoridad, es decir, transmite muy bien el sonido, y por ende cualquier vibración. Emplear cualquier herramienta de corte sería peligrosísimo dada la capacidad de transmitir vibraciones de esta piedra, las fisuras no tardarían en aparecer, abrirse y reventar la piedra a un ritmo aún mayor de lo que ya ocurre. [Figura 10]

En 2013 también se mantuvieron reuniones con el Departamento de Química y Edafología de la Universidad de Navarra¹² y la colaboración puntual del Departamento de Química Orgánica y Farmacéutica de la misma universidad con el objetivo de caracterizar la materia orgánica existente en la piedra, cuestión que hasta la fecha no se había podido resolver en los diversos estudios realizados y se considera un punto clave para poder comprender el comportamiento del material pétreo en el desarrollo la patología EPS descrita por Arbotante. Se han realizado varias pruebas usando técnicas de solubilidad con espectroscopía infrarroja y resonancia magnética nuclear.

La Universidad Pública de Navarra¹³, colabora desarrollando un proyecto de escaneado y digitalización 3D de los capiteles de todo el claustro, así como un estudio de deformación de materiales y estructuras, y estudios complementarios de insolación, aplicando tecnología punta empleada en las estaciones fotovoltaicas. El escaneado en 3D tiene como objetivo documentar exhaustivamente el estado actual del claustro, lo que nos permitirá realizar comparaciones muy precisas de su evolución en los próximos

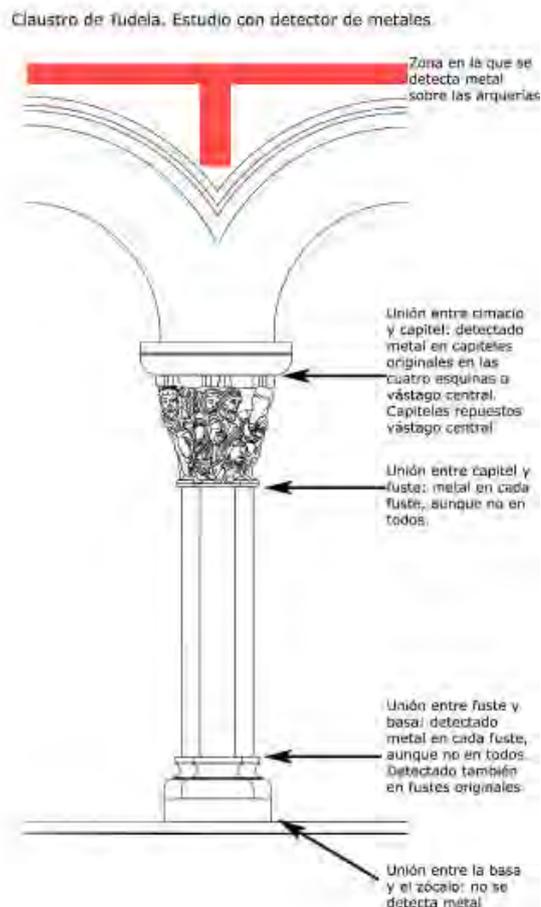


Figura 10. Gráfico mostrando la colocación de varillas de hierro.

años, servirá para documentar los capiteles más dañados ya que todavía no sabemos cómo detener su deterioro, y permitirá crear réplicas en un futuro. Descartamos la posibilidad de retirar los capiteles dañados y sustituirlos por réplicas por los problemas que su extracción podría producir en aquellos en buen estado, y porque hemos comprobado que trasladar este tipo de elementos con patología activa a un entorno seguro de museo no garantiza su conservación: los problemas continúan dentro.

¿La excepción confirma la regla?

El desarrollo de la patología en las portadas de Tudela (las tres de la catedral y la de la Iglesia de la Magdalena) coincide claramente con puntos de creación de corrientes de aire, escorrentía de agua por mal funcionamiento de los sistemas de evacuación de pluviales, y zonas de insolación vespertina. Este último agente resulta muy evidente, puede trazarse una línea recta coincidente con la línea de sol y sombra por la tarde en verano. Donde incide el sol se concentran los mayores daños, en el resto no es tan grave el deterioro o actúan otros agentes. La zona de incidencia del sol matutino no desarrolla EPS, la piedra guarda la frescura y humedad de la noche y resiste mejor el calentamiento.

Por la tarde el sol incide sobre la roca ya seca y templada a lo largo del día, generando problemas.

Sin embargo en el claustro las cosas no están tan claras. El mapa general de patologías a simple vista es un caos donde no se observan patrones de sol y sombra, norte o sur, mojado o seco. La distribución de los daños parece absolutamente aleatoria. No se observa mayor deterioro en unas galerías u otras, por mayor efecto del viento o dependiendo de la orientación, por estar junto a piezas de arenisca o con cemento Pórtland, por estar en zonas muy secas o muy húmedas, con escorrentías de cubierta o en zonas de corriente. No obstante hay que buscar el detonante y las condiciones que lo provoca, y a ser posible qué hizo que en algunos elementos las lesiones entrasen en letargo o el deterioro parase por completo. Si la alteración de la piedra fuese únicamente debida a su propia naturaleza, el claustro habría desaparecido hace mucho tiempo.

Las imágenes del Archivo Mas muestran detalles de los capiteles embutidos en los muros de cierre, quedando exentas las caras interiores, hacia las galerías cerradas, y las exteriores, hacia el huerto. No hay diferencias entre las caras interiores, las embutidas o las exteriores, por ese lado no podemos establecer diferencias. Y hay que tener en cuenta que los capiteles permanecieron en aquellas condiciones más de 300 años. Encontramos capiteles en muy buen estado en todas sus caras independientemente de su orientación y situación mientras duró el claustro cegado.

Vamos acotando agentes muy poco a poco. Comparando las imágenes de antes de la intervención de 1940 con las actuales y con los planos de patologías, vemos claramente la explicación a la desaparición de 6 de los capiteles que ya fueron repuestos en 1940. Su ubicación coincide con los contrafuertes de ladrillo colocados en el siglo XVI, por lo que pudieron desaparecer entonces. En esas mismas imágenes se observa el claustro convertido en huerto, con jaulas para aves y conejos adosadas a las arquerías ya cegadas que producirían acumulaciones de excrementos que a su vez servirían para abonar el huerto. Esto constituye una fuente de sales extra que podría explicar porqué no se conserva más que una basa original y ningún fuste.

Hay imágenes de 1916 que muestran daños claros por EPS y hoy el área afectada sigue siendo la misma, no ha habido evolución, y las lesiones tienen aspecto de viejas. En otros casos se observa una mínima evolución. En cambio hay otros que parecen abocados a su desaparición.

En cuanto a la coexistencia con sillares de arenisca de reposición, en la esquina NW se colocó un sólido capaz sustituyendo a la mitad de un capitel que en 1940 estaría muy dañado, y actualmente su situación es estable, presenta lesiones viejas inactivas, y no parece afectarle negativamente el contacto con la arenisca. [Figura 11]

Se ha estudiado cómo rompe la roca en cantera, ya que en algunas piezas se ven fracturas que se explican por el pelo



Figura 11. Lesiones antiguas estables en un capitel colocado con sólido capaz de arenisca en 1940.

de la piedra. Sale mucho material desechable, piezas que se cortan un día al siguiente (o poco más tarde) se han partido solas. No obstante en los estudios que se han hecho sobre probetas cuesta mucho reproducir la EPS en piedra de cantera, y poco hacerlo en piedra procedente de la catedral, lo que le hace pensar a los geólogos que hay una implicación de la fatiga acumulada.

Nos preocupa la evolución de elementos que desde hace décadas se encuentran en el interior de edificios y que en un momento dado han empezado a fracturarse, sin que las condiciones hayan variado sustancialmente. Es como si la piedra tuviese un periodo de garantía que una vez sobrepasado se desencadene el desastre. La esperanza está en que hay elementos en los que por algún motivo se ha detenido el avance de la patología. Ahí estará la solución.

Estudios pendientes

En estos años hemos avanzado mucho, pero queda mucho por hacer, y continuamente surgen nuevas posibilidades que abren nuevos campos. Actualmente trabajamos para completar el estudio de las fuentes documentales, y siguen abiertos los campos de investigación con las universidades. La jornada de especialistas celebrada en 2012 nos deja como tareas aún pendientes:

- Monitorización por sonido de las microfracturas para prevenir nuevas pérdidas, análisis microsísmico.
- Estudios de corrientes de aire, ya que hay más daños en las esquinas.
- Mapas de insolación tanto actuales como según las construcciones derribadas en el 40 y la disposición del arbolado entre 1950 y 1989.
- Termografía del claustro, especialmente interesantes los cambios interestacionales (hay más desprendimientos en octubre) y variaciones día/noche, por lo que se necesitan 2 tomas diarias durante muchos meses.
- Relacionar todos los mapas que se van realizando

(insolación, termografías, humedades, evaporímetros...)

— Buscar casos similares fuera de nuestras fronteras.

No se ha hecho un estudio de biodeterioro para descartar contaminantes en los macroporos ya que el equipo de geólogos descarta que pueda existir. Tampoco se han hecho análisis de cementos, hay innumerables reparaciones con cementos diferentes, y tampoco parecen ser determinantes en el desarrollo de la patología.

Situación actual

El claustro de la catedral de Tudela tiene desde otoño de 2013 una nueva cubierta que aprovecha la estructura de madera de la anterior. Se ha prolongado el alero considerablemente y en las tormentas acaecidas en estos meses se ha comprobado que no se mojan los capiteles, por lo que la protección funciona bien a nivel de agua de lluvia. También es mayor la protección del sol, pero aún así hay horas de exposición directa. Este problema se intentará paliar con la colocación de un toldo de sombreo y arbolado de crecimiento controlado y hoja perenne que ayude a mantener sombra y un cierto grado de humedad en el claustro. Se ha proyectado una intervención de conservación y restauración que contempla la limpieza según las pruebas realizadas en los estudios previos, y la fijación de elementos con riesgo de caída, reponiendo todos aquellos de los recogidos en los últimos decenios que sea posible. Se tratarán los hierros expuestos al aire y se retirará todo el cemento que sea posible sin dañar a la piedra original. Se van a ensayar morteros de cal como cierre de superficies muy fragmentadas. Hemos visto que este tipo de soluciones, que se aplicaron con éxito hace décadas, puede minimizar los daños.

Sabemos que con esta intervención no termina nuestro trabajo en Tudela. Volveremos a intervenir el año próximo, pues no hemos dado con la solución y el caso no está cerrado. Seguimos investigando.

Bibliografía

BLANCO, M., COLUCCI, F., GISBERT, J. y LOPEZ P. (2009). *Modelo de distribución de sales en materiales pétreos porosos*. Universidad de Zaragoza. <http://zaguan.unizar.es/record/4325/files/ART-2009-111.pdf>

GISBERT AGUILAR J. (2012). "Piedra y patrimonio: patologías de la piedra campanil en la catedral y claustro románico de Tudela", en *Románico: Revista de arte de amigos del románico*, nº. 14, págs. 68-75.

GISBERT AGUILAR J., O. BUJ, F. COLUCCI (2007). "Automatización de los ensayos de absorción y desorción en materiales pétreos consolidados con el objetivo de valorar las variaciones en su sistema poroso. (Póster)", en *La conservación infalible: de la teoría a la*

realidad, págs. 383-386.

GISBERT AGUILAR, J., MATEOS ROYO, I. y SOMOVILLA DE MIGUEL, I.A.. "Morteros de restauración", *Zabaglia* 14, Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Huesca <http://www.catvalencia.es/articulos/2012/VIR02126.pdf>

MELERO MONEO, M L. (1997). *Escultura románica y del primer gótico de Tudela*, Tudela, p. 33-161

VV.AA. (1980). *Catálogo Monumental de Navarra*, v. I, p. 238-290

VVAA. (2002). *El arte románico en Navarra*, p. 223-231 y p. 371-378

VVAA. (2006). *La catedral de Tudela*, p. 159-189 y p. 191-223 y p. 399-417

VVAA. (2010). "Estudio y cartografía de sales en paramentos pétreos: innovaciones tecnológicas con este propósito", en *La ciencia y el arte: ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*, Vol. 2, págs. 162-170.

Notas

[1] Declarada Monumento Nacional por Real Orden de 16 de Diciembre de 1884.

[2] VV.AA. *Catálogo Monumental de Navarra*, Pamplona 1980, v. I, p. 238-290.

[3] Julio Segura, archivero de Tudela, retrasó esta intervención hasta el siglo XVII.

[4] Archivo Mas, Archivo Institución Príncipe de Viana, Fondo Uranga.

[5] Actuación promovida por la Asociación de Amigos de la Catedral de Tudela.

[6] Se redactó en marzo de 2003 por el geólogo Antonio Aretxabala, del Laboratorio de Edificación de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Navarra, por encargo de la Institución Príncipe de Viana.

[7] Redactado por el equipo de investigación Arbotante, del Departamento de Geología de la Universidad de Zaragoza, dirigido por Josep Gisbert Aguilar, en mayo de 2003.

[8] Redactado por Artelan, en el año 2004, ampliado y actualizado en 2005, 2009 y 2013.

[9] Estudio encargado a TSA, S.L.

[10] Estudio encargado a Artelab S.L.

[11] Estudio inédito redactado por Violeta Romero Barrios-Técnico Superior Restauradora.

[12] Profesores Dr. Adrián Durán Benito y Dr. José Ignacio Álvarez Galindo

[13] José Ramón Alfaro, ingeniero, vicerrector del Campus de Tudela



Alicia Ancho Villanueva

aanchovi@navarra.es

Licenciada en Bellas Artes, especialidad en Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universidad Politécnica de Valencia, 1994.

Trabajó como restauradora en empresa particular y como autónoma entre 1994 y 2003, fecha de ingreso en el Servicio de Patrimonio Histórico del Gobierno de Navarra. En la Administración ha ocupado desde 2003 plaza de Técnico Superior Restauradora y desde 2011 es Jefa de la Sección de Bienes Muebles y Registro del Patrimonio. Su labor se centra en la autorización de intervenciones en bienes tutelados, la redacción de Pliegos Técnicos y Proyectos de Conservación y Restauración, Dirección de obra, gestión de subvenciones y asesoramiento técnico a particulares, parroquias, ayuntamientos y otras entidades, realización de intervenciones de urgencia previas a la restauración y difusión de las actividades de la Sección: conferencias, sensibilización en localidades donde se interviene, redacción y coordinación de textos para su publicación.

Jornada sobre conservación de patrimonio Rosa M^a Esbert *In Memoriam* 16 de mayo de 2013



Aspectos relacionados con el Valle Salado de Añana: Sistemas constructivos de la eras, su evolución en el tiempo y criterios de conservación..

Azucena Prior Santamaría y Ángel Luis García Pérez

Resumen: El Valle Salado de Añana es una explotación minera a cielo abierto situado en la provincia de Álava. Destaca su sorprendente arquitectura, su interés histórico y arqueológico y su especial valor paisajístico y medioambiental. En el momento álgido de su actividad, en 1960, se explotaban en el valle salado unas 5000 eras para producción de sal, mientras que en el año 2000 apenas quedaban ya 42. Este vertiginoso ritmo de degradación, llevó a la Diputación Foral de Álava a impulsar la recuperación del conjunto patrimonial, para lo cual, se puso en marcha un Plan Director. Ártico, empresa especializada en la recuperación de patrimonio monumental, lleva participando en los trabajos de recuperación del Valle de forma prácticamente continuada desde el año 2010, consolidando en unas ocasiones y en otras construyendo los entramados de madera, eras, muros de contención, pozos, almacenes..., siempre los antiguos sistemas constructivos,, los mismos materiales tradicionales y con un respeto escrupuloso a las tipologías formales y constructivas existentes..

Palabras clave: Salinas de Añana, Paisaje Cultural, recuperación integral, materiales de acabado para las eras

Aspects related to the Salt Valley Añana: Construction Systems eras, its evolution over time and conservation criteria.

Abstract: Añana Salt Valley is a traditional opencast salt mine located in Álava, northern Spain province. This site stands out for its amazing architecture, its historical and archaeological interest and their special scenic and environmental value. At the height of its activity, in 1960, 5000 pools for salt production called eras, were exploited in the salt Valley, while in 2000 there were just 42. This rapid rate of degradation, led to the Álava Provincial Council to promote the recovery of this unique industrial heritage, for which a Master Plan was launched. Ártico which is a company specialiced in heritage recovery has been working steadily in the recovery efforts of mining structures since 2010, with works to consolidate structures, wooden palisades, walls, wells and storage places, always following the traditional building methods and materials and keeping a scrupulous respect for existing typologies.

Key words: Añana Salt Valley, Cultural Landscape, Integral restoration, Salt farm building materials

Introducción

El Valle Salado de Añana - actualmente candidato a Patrimonio Mundial dentro de la categoría de Paisaje Cultural de la UNESCO - está situado en la provincia de Álava, a 30 km al oeste de Vitoria.

El emplazamiento actual de las salinas estuvo cubierto hace más de 200 millones de años por un gran océano que,

al secarse, dejó una capa de sal de varios kilómetros de espesor. Con el paso del tiempo, esta capa se fue cubriendo con nuevos estratos que la ocultaron definitivamente.

La explotación de estos filones se realiza aprovechando los manantiales de agua salada (salmuera) que se crean tras el paso de corrientes de agua dulce por las capas de sal sólida. Estos manantiales suministran la muera a las eras a través de canales de madera y a nivel de superficie, de manera natural y continua, lo que permite su empleo sin

necesidad de realizar perforaciones ni bombeos. Existe un gran número en el Valle Salado y su entorno, pero sólo cuatro de estos manantiales son aprovechables, pues su caudal es permanente y su grado de salinidad está cercano a la saturación (entre 210 y 250 gr. de sal por litro), aproximadamente 7 veces la concentración del mar. Proporcionan diariamente en torno a 260.000 litros de salmuera.

Haciendo un breve repaso a su historia, comentaremos que las primeras huellas de asentamiento en las cercanías de estos manantiales de agua salada, se remontan a hace unos 5.000 años, habiéndose descubierto vestigios de la Edad del Hierro, romanos y altomedievales, en cuyos textos se denominó el Valle de Haniana. En torno a 1114, Alfonso I el Batallador otorgó al valle el primer fuero real del País Vasco. En el siglo XIV estuvieron bajo el dominio del Monasterio de las Huelgas de Burgos y después bajo la autoridad de familias nobiliarias.

A mediados del siglo XVI Felipe II decretó el monopolio de la sal. Durante este periodo de control estatal, la corona obligó a los salineros a cambiar el sistema de producción empleado tradicionalmente. Esto provocó una profunda transformación de todo el valle salado, perteneciendo a esta época la mayor parte de las estructuras que hoy podemos contemplar. Por fin el Estado puso fin al monopolio y los productores recuperaron el control completo de la explotación, pero a mediados del siglo XX se inicia la decadencia de esta explotación salinera, debido entre otros factores, a la introducción de mejoras en la producción de

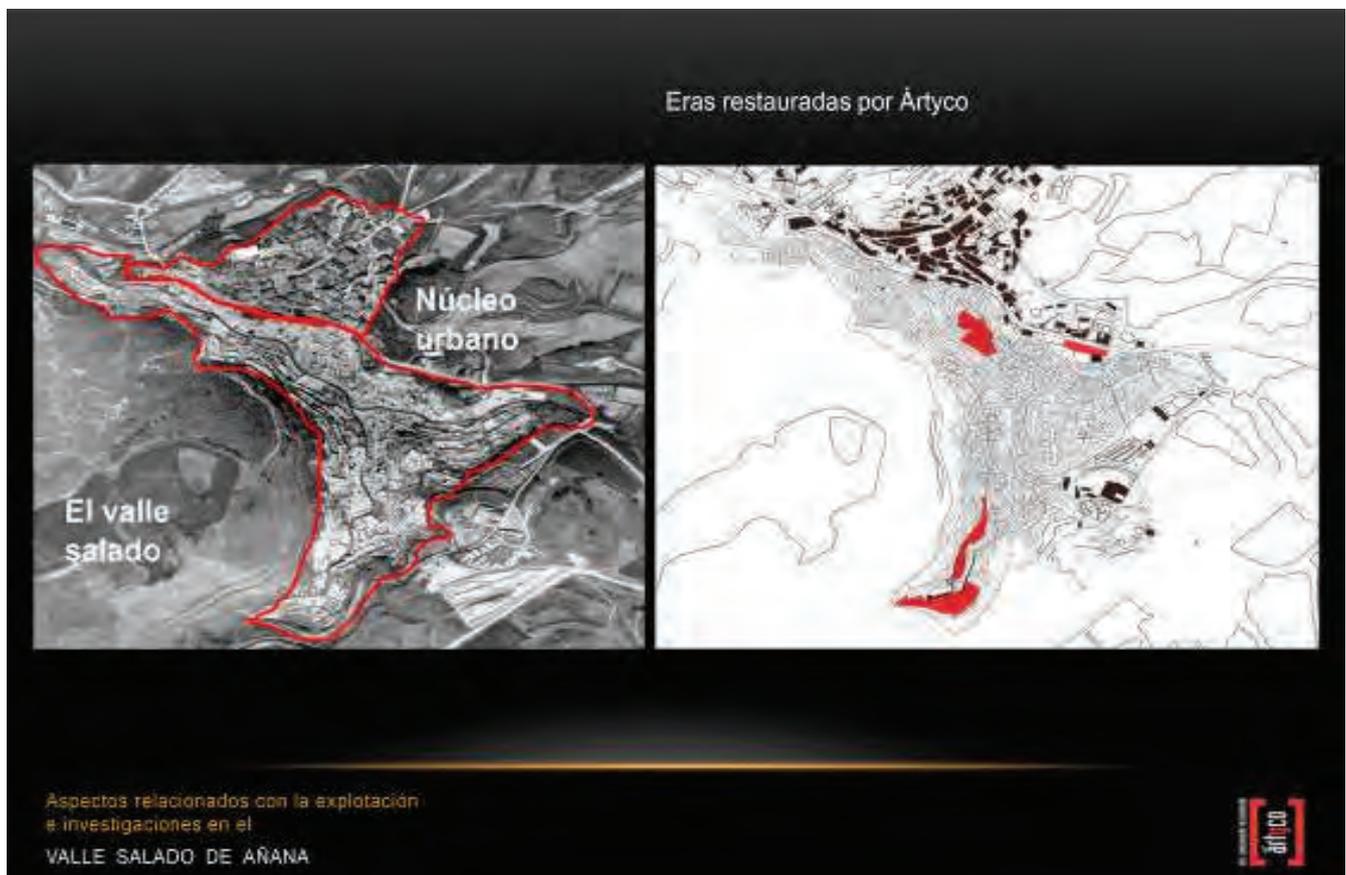
las salinas costeras.

La recuperación del valle

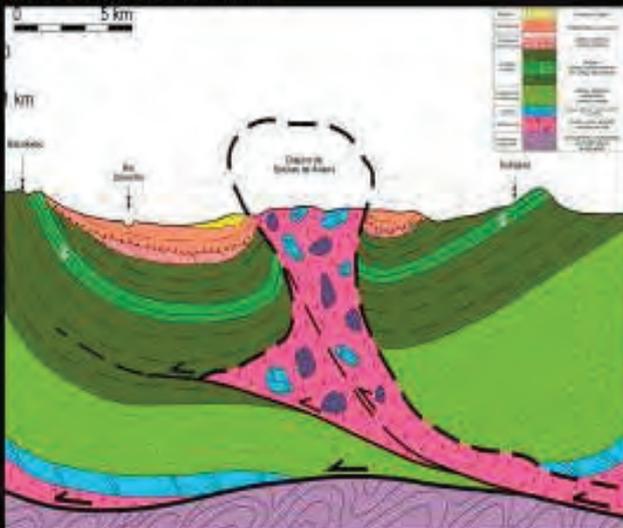
La iniciativa y el interés de recuperación integral del Valle, se debió a su sorprendente arquitectura, su interés histórico y arqueológico, su gran valor paisajístico y su particular biotopo, con especies de animales y plantas únicas en estos ecosistemas.

En su momento álgido, en 1960, habían funcionado en el valle salado unas 5000 eras de hacer sal, y en el año 2000 apenas quedaban ya en explotación 42. Este vertiginoso ritmo de degradación, llevó a la Diputación Foral de Álava a impulsar la recuperación del conjunto patrimonial. Para ello, se puso en marcha un Plan Director cuyo principal objetivo era diagnosticar los problemas que ocasionaban la ruina del valle e indicar la forma y el modo más adecuados para rescatarlo del olvido al que había sido sometido durante los últimos cuarenta años, preservarlo, mantenerlo, cuidarlo, y, a través de su uso y explotación, garantizar su pervivencia.

Restaurar un complejo de estas características supone sumergirse en un modo de construir diferente, caracterizado no tanto por la complejidad técnica de las soluciones constructivas, sino por el carácter empírico de una arquitectura práctica, rural y tecnológicamente sencilla, que es fruto de una perfecta adaptación del hombre al medio que le rodea



Diapiro de Salinas de Añana



Aspectos relacionados con la explotación
e investigaciones en el
VALLE SALADO DE AÑANA



Inicio s. XX



Finales s. XX



Inicio s. XXI

Aspectos relacionados con la explotación
e investigaciones en el
VALLE SALADO DE AÑANA



Los canales



Los muros



desarrollada durante miles de años. Es por ello por lo que es tan importante conocer la evolución histórica y arquitectónica de las salinas desde sus orígenes.

Ártyco lleva participando en los trabajos de recuperación del Valle de forma prácticamente continuada desde el año 2010, consolidando en unas ocasiones y en otras construyendo entramados, eras, muros de contención, pozos, almacenes..., siempre con los antiguos sistemas constructivos, con los mismos materiales tradicionales y con un respeto escrupuloso a las tipologías formales y constructivas existentes.

Los criterios generales de las actuaciones realizadas son por un lado respetar y asegurar la conservación de los elementos originales manteniendo los factores que determinan el carácter monumental del Valle y por otro trasladar y poner en uso una infraestructura productiva y de ocio. La mínima intervención, el respeto de todos los elementos en buen estado de conservación y la conveniencia de reutilizar al máximo los diferentes materiales existentes, son los objetivos y directrices del Plan Director para la recuperación de todas las estructuras y entramados originales.

Elementos constructivos del valle

Ni los elementos constructivos ni los materiales utilizados han variado apenas a lo largo de la historia del Valle. El contacto de los materiales con esa alta concentración de salinidad impide la introducción de nuevos materiales más modernos como los metales, que podían agilizar los procesos constructivos y los de explotación.

Así pues, el listado de materiales utilizados en el Valle ha sido y es muy reducido: madera de pino silvestre, mampuesto de la zona para los muros, canto rodado para la superficie de las plataformas y barro, utilizado como capa impermeable de pozos y eras, y NUNCA elementos metálicos.

Los canales

El transporte del agua salada desde los manantiales por gravedad se realiza a través de una red de canales llamados royos -con más de tres kilómetros de longitud total-. Si bien en origen gran parte de ellos eran simples zanjas excavadas en el terreno, con el tiempo fueron sustituidos por troncos de madera horadados, generalmente de pino

Los pozos

El agua de los canales se vierte en los pozos (actualmente 848), que son el corazón de las granjas de sal. La morfología de los pozos es muy variada, los hay exteriores, los de boquera bajo las eras, los calentadores..., pero todos ellos tienen la función de reservar la muera hasta que el sol y el calor permita la distribución de esta agua en las eras. Es-

tos pozos están contruidos exclusivamente con una capa de arcilla compactada. El barro y la propia muera impermeabilizan la superficie.

Las eras

La obtención de la sal en Añana se basa en la evaporación del agua contenida en la salmuera por medios naturales. Para conseguirlo, se vierte el agua salada en unas superficies horizontales llamadas eras cuya superficie varía entre doce y veinte metros cuadrados. Los grupos de eras trabajadas por un mismo propietario se denominan granjas. Éstas se van adaptando a la compleja topografía del lugar, tanto en forma como en altura, dando lugar esta particular e inimitable fisonomía del Valle.

Los muros

Esta superficie de las eras se obtuvo inicialmente mediante desmontes del terreno, aterrazando las laderas del valle para formar planos horizontales donde recoger la salmuera y facilitar su evaporación. Los muros de contención de tierras se realizan con piedras sin labrar de la zona de distintas variedades, pero resistentes a la sal (ofitas, tobas,), manejables por uno o dos hombres y colocadas unas sobre otras en seco, sin mortero de ningún tipo. Suelen tener cierto desplome hacia las tierras a contener y pueden alcanzar alturas hasta de cuatro metros

Las plataformas y los entramados

Con objeto de mejorar la productividad y aumentar la superficie de eras que proporcionaban los desmontes del terreno, se construyeron multitud de entramados de madera de pino, que servían de base para la construcción de nuevas eras, de nuevos pozos de almacenamiento de muera y para la construcción de almacenes de sal, una vez evaporada y recogida la "cosecha".

Todos estos entramados están contruidos con madera de pino silvestre, aprovechando troncos, vigas con secciones más o menos regulares y tablas, unidos todos los elementos entre sí por medio de ensambles de caja y espiga, media madera..., siendo todos ellos fijados con espigas de madera.

Almacenes de sal

Estos almacenes contruidos de madera y de piedra permiten guardar y proteger la sal hasta el momento de su transporte a los almacenes públicos situados en el exterior de la explotación. Este tipo de estructuras se sitúan principalmente bajo las eras, aprovechando los huecos existentes entre los muros de las terrazas y las plataformas de evaporación. Esta técnica constructiva facilita en gran medida su llenado, pues la sal es simplemente vertida por unos pequeños huecos abiertos en la superficie de las eras

llamados boqueras.

Plataformas

Lo que más cambios ha experimentado es el acabado de la superficie de las eras: en un primer momento el acabado de las eras consistía en un perímetro con tablas de madera, a modo de encofrado y en su interior una regularización y compactación de la superficie con arcilla o greda, como se llama allí. Con este sistema se recogía una sal "sucía", así que se optó por añadir sobre la greda una capa de canto rodado. De este modo se consigue una sal más limpia, pero todavía, a través de los cantos rodados, ascendía algo de arcilla y ensuciaba la sal.

El siglo XX y la introducción del hormigón en la nueva arquitectura hizo que los salineros incorporaran este material en el Valle, así que sobre el canto rodado ya instalado, se cubría la superficie con cemento, así se creaba una superficie continua, horizontal y resistente, e impedía que la greda aflorara a la superficie. El resultado era una sal BLANCA.

Pero este último sistema ha generado muchos problemas de mantenimiento y de "desescombro" del material, que se agrieta y necesita renovación continua, y por su rigidez y peso es muy difícil deshacerse de él. Esto genera graves problemas ya que los accesos del Valle son muy limitados y reducidos, y es muy difícil extraerlos. Durante mucho tiempo

se consideró el sistema idóneo y prácticamente TODAS las eras del Valle acabaron recubiertas por esta capa.

En la actualidad y definido en el Plan Director se plantea introducir otro sistema de construcción de acabados de eras que permita recoger una sal tan blanca como con el acabado de cemento, y se ha optado por el enlosado. El planteamiento es introducir un material pétreo nuevo, extraído fuera del Valle pero compatible y coherente con el entorno y con los materiales de origen, modulado en pequeñas losas de forma cuadrada instaladas sobre la arcilla, generando una superficie continua, como el hormigón, pero compartimentado, de manera que los trabajos de mantenimiento y sustitución de elementos se pueda llevar a cabo de forma individual.

Sin embargo, el nuevo planteamiento de acabado de eras plantea la introducción de un nuevo material –la piedra– un material tan variable que es necesario controlar su comportamiento en este medio tan particular para escoger el más apropiado. Por ello, antes de introducirlo en un sistema alternativo al tradicional y de forma general en todo el Valle, se decide ponerlo en práctica en unas zonas, para experimentarlo in situ y realizar análisis y estudios de eficacia e idoneidad, tanto del sistema constructivo como del material que ha de elegirse. Para cumplir con estos objetivos la Fundación Valle Salado, a través de Artyco, encarga estas investigaciones a la empresa GEA asesoría geológica.

Eras y entramados



Almacenes de sal



TIPOS HISTÓRICOS DE ERA

Tipo Siglo XIX. Base de Arcilla y Acabado de Canto Rodado



TIPOS HISTÓRICOS DE ERA

Tipo Siglo XX Base de Arcilla y Acabado de Cemento sobre Canto Rodado



TIPOS HISTÓRICOS DE ERA

Tipo Siglo XXI. Base de Arcilla y Acabado de Piedra





Azucena Prior Santamaría

Artyco
artycorestaura@gmail.com

Restauradora, licenciada en Bellas Artes por la Facultad de Bellas Artes de Barcelona en 1993 con la especialidad de Restauración. Interviniendo en obras de restauración de patrimonio desde el año 1993. Administradora de la empresa Ártico desde el año 2005



Ángel Luis García Pérez

Artyco
artycorestaura@gmail.com

Restaurador, diplomado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales por la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid en el año 1989 con la especialidad Arqueología.

Interviniendo en obras de restauración de Patrimonio desde el año 1987. Administrador de la empresa de restauración Ártico desde el año 2005



Ártico s.l.

c/ Pintorería 41, bajo. 01001 VITORIA – GASTEIZ /ÁLAVA, Tfs: 945235239 / 652870034 / 652870035
artycorestaura@gmail.com

Empresa nacida en Vitoria en 2005, dedicada a la Restauración del Patrimonio Cultural.

Algunas obras destacadas: Portada de Campanilla en la Catedral de Sevilla; Capilla del Cristo y la bóveda del presbiterio de la Catedral de Vitoria; Recuperación de estructuras en el Valle salado de Añana; Lienzos de José María Sert en la iglesia del Museo de San Telmo de San Sebastián; Zócalos del Salon de los Reyes, Cubiertas y Artesonado del Oratorio del Partal en la Alhambra de Granada; Colección de Escultura Ibérica del Museo Arqueológico Nacional.

Jornada sobre conservación de patrimonio Rosa M^a Esbert *In Memoriam* 16 de mayo de 2013



Aspectos relacionados con el valle salado de Añana: Investigaciones para la selección de materiales pétreos como acabado de eras.

Luis Valdeón Menéndez. Araceli Rojo Álvarez. Félix Javier Mateos Redondo. Verónica Fernández Cuesta

Resumen: El desarrollo de labores de restauración en las salinas para producción de sal del Valle Salado de Añana¹ se complementó con la realización de una serie de investigaciones sobre materiales pétreos comerciales que se estaban probando como material de acabado para las eras de producción. Se llevaron a cabo dos líneas de investigación complementarias, ambas tendentes a conocer las litologías más apropiadas para las condiciones ambientales tan extremas de este entorno salino. La primera fase, se desarrolló en el laboratorio y se sometieron muestras de varios tipos de piedra a ensayos de envejecimiento artificial acelerado relacionados con las condiciones ambientales de las eras. En la segunda fase se experimentó el comportamiento real de tres calizas cristalinas en las propias eras de producción. Las muestras quedaron emplazadas durante todo un año y se fueron extrayendo muestras para su análisis en momentos clave de la explotación. Los primeros ensayos permitieron descartar varios tipos de calizas y gabros y en la fase final se concluyó que las piedras comercializadas como *Gris Baztán* y *Gris Deba* mostraron un comportamiento idóneo para esta aplicación.

Palabras clave: Salinas de Añana, Paisaje Cultural, deterioro de materiales, durabilidad, piedras

Aspects related to the Añana Salt Valley: research for the selection of stone materials as surface pools salt production material.

Abstract: The restoration works at salt production pools in Añana Salt Valley¹ were linked to research works on stone materials needed for surfaces of exploitation. Two lines of research have been developed to select the proper materials able to withstand this salted extreme environment. The first line was performed only by means of laboratory aging tests testing selected to match Añana Valley environmental conditions. Complementary, samples from selected stone types under observation were extracted directly from pools in precise moments of a whole year of activities. These combination of tests proved to be useful to reject some kind of stones and finally find the most appropriate for these exigent purpose, the commercial limestone *Gris Deba* or *Gris Baztán*.

Key words: Añana Salt Valley, Cultural Landscape, materials deterioration, durability, stones

En el artículo anterior¹ se han expuesto las distintas soluciones constructivas que se han ido probando en la restauración de las superficies de las eras de producción, desde modelos históricos hasta el modelo actual: base de arcilla con acabado de piedra. Desde el momento en que se contempló el uso de materiales pétreos ya se planteó la realización de pruebas experimentales con estos materiales, de cara a buscar las litologías más idóneas para este uso tan particular. Efectivamente, las condiciones a las que va a estar sometido cualquier material que se emplee en el acabado de las eras son de extrema dureza debido a la ac-

ción destructiva de la sal sobre ellos. De modo resumido, la sal -propiamente los iones salinos de una solución acuosa salina-, al pasar a estado cristalino experimenta modificaciones físico químicas que comporta, entre otros aspectos, un aumento de volumen. Si la solución salina penetra en el interior de los materiales y además lo hace cíclicamente, se crearán fuertes tensiones mecánicas que tienden a deteriorar gravemente esos materiales por la pérdida progresiva de cohesión mecánica de sus componentes y posible destrucción. A la acción de las sales hay que sumar las variaciones térmicas tan acusadas -estacionales o diarias-

que se dan en el valle de Añana, que sumadas a la persistente humedad suman nuevos procesos de deterioro.

Por todo ello se plantearon ensayos experimentales que pudiesen a prueba diversos tipos de piedra teniendo en cuenta las condiciones ambientales, el entorno salino y la repetitividad de los ciclos extractivos y poder así descartar variedades, o por el contrario tenerlas en cuenta como material de acabado. Se partía de la premisa de usar materiales oscuros por su mayor capacidad de absorción de calor. Consecuentemente se seleccionaron una serie de materiales pétreos, oscuros y poco porosos, dentro de la disponibilidad del mercado de piedra natural, para poder caracterizarlos y someterlos a ensayos de resistencia ambiental. Se concibieron dos fases experimentales bien diferenciadas, primero, ensayos en el laboratorio: deterioro inducido, para una primera criba de materiales y una segunda fase de experimentación in situ: deterioro natural, con observaciones experimentales en laboratorio de piedras expuestas durante todo un año en las eras salinas, tanto en época productiva (verano) como de reposo y mantenimiento. La metodología y resumen de resultados se exponen a continuación.

Fase de ensayos de laboratorio: Deterioro inducido

1) Preselección de litologías: propiedades petrofísicas.
 Dentro de la oferta comercial actual se escogieron siete litologías en función de las propiedades petrofísicas y de durabilidad que ofrecía cada casa comercializadora. Además se incluyeron otras dos calizas que ya estaban en fase de experimentación en las eras y otra caliza que se había contemplado con anterioridad. En total nueve litologías con las que se efectuaron los primeros estudios. Se evaluaron petrografía, porosidad, densidad, parámetros porométricos y resistencia mecánica. Correlacionando los valores obtenidos se efectuó una primera preselección de materiales y se descartaron los menos apropiados.

2) Selección final mediante ensayos de envejecimiento.



Figura 1. Aspecto general de probetas de todas las variedades antes del ensayo de alterabilidad de hielo-deshielo.

Después del primer corte se escogieron varias litologías entre las más aptas y se sometieron a ensayos de durabilidad o envejecimiento artificial acelerado y observar su comportamiento. Sus resultados darían las rocas más aptas para el fin propuesto.

Se utilizaron los siguientes ensayos de durabilidad teniendo presente las condiciones ambientales de las salinas [Figura 1]:

- A.- Ensayo de heladicidad. 100 ciclos de hielo-deshielo.
- B.- Ensayos de cristalización de sales con 100 ciclos y dos modalidades:
 - Ciclos de cristalización/hidratación con cloruro sódico
 - Ciclos de cristalización/hidratación con sulfato sódico decahidratado

La evaluación de cada ensayo se determinó del siguiente modo (basado en la normativa UNE y ampliado): Modificaciones aspectuales: Desarrollo de formas de alteración, cambios de color y modificaciones físicas: Variaciones de masa y de velocidad ultrasónica. También se experimentó la inmersión continua en solución saturada de cloruro sódico durante varios meses, evaluando modificaciones aspectuales.

Las litologías con las que se experimentó fueron las siguientes:

Nº Y NOMBRE COMERCIAL	TIPO LITOLÓGICO	PROCEDENCIA
1: GRIS LIMAO	Caliza	China
2: ABSOLUTE BLACK o SHANXI BLACK	Gabro	China
3: NEGRO SUDAFRICA	Gabro	Sudáfrica
4: NEGRO ZIMBAWE	Gabro	Zimbawe
5: AÑANA ACTUAL x2 (CALIZA DE DEBA)	Caliza	País Vasco
6: CALATORAO	Caliza	Zaragoza
7: NEGRO VILLAR	Diabasa	Badajoz
8: CALIZA NEGRO	Caliza	País Vasco
9: CALIZA "GRIS MARQUINA"	Caliza	País Vasco

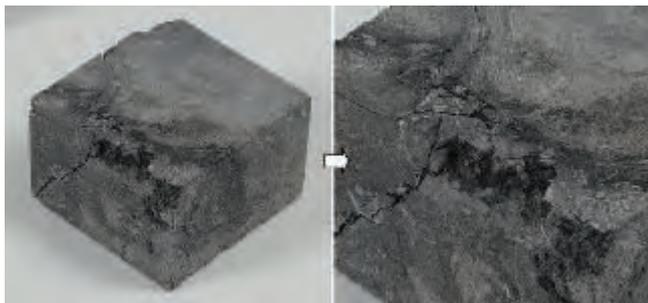


Figura 2. Concatenación de fisuras que lleva a la pérdida de pequeños fragmentos en la caliza de Calatorao.

Durante la fase de preselección se excluyeron en principio las rocas con menos de 1000 kg/cm² de resistencia a la compresión y con porosidades comunicadas por encima del 1%. Se excluyeron las variedades nº 4 y nº 6 y las nº 5 y la nº 9 quedaron en el límite pero se incluyeron en los ensayos por su accesibilidad comercial y precio competitivo.

Durante las evaluaciones se utilizó como principal factor discriminante la observación del desarrollo de lesiones tipo fisura sobre la mera pérdida de masa, ya que se comprobó que frecuentemente en estas rocas se daba apertura de fisuras sin *pérdida de masa* medible. Sólo ocasionalmente la concatenación de fisuras degeneró en pérdida de pequeños fragmentos, como se aprecia en la figura 2.

Se comprobó que esta tendencia de deterioro quedaba reflejada en las variaciones de velocidad ultrasónica, lo que ayudó a discriminar bien el estado de las piedras después de los ensayos. Abajo se muestran las variaciones relativas de velocidad ultrasónica después de los ensayos de alterabilidad: hielo/deshielo, cristalización de la sal sulfato sódico y cristalización de cloruro sódico [Figura 3]. Las menores variaciones indican mejores comportamientos, como en el caso de la nº 7, Negro Villar, aunque la valoración final tiene en cuenta toda la información acumulada.

Al final, las litologías evaluadas como más idóneas frente a deterioros como los que puedan presentarse en las salinas fueron, de más a menos idóneas (nombres comerciales): Absolute Black (gabro procedente de China), Negro Villar (diabasa extremeña), Gris Limao (caliza cristalina China) y algo menos aceptable pero con buen comportamiento una variedad de Gris Marquina –no confundir con la Negro Marquina- (calizas cristalinas vizcaínas).

Presentados nuestros trabajos en la primavera de 2011, por diversas razones, entre ellas, las económicas, en un momento dado se seleccionan para iniciar la recuperación y explotación de las eras, tres tipos de calizas cristalinas locales (de las que la Fundación *Valle Salado de Añana* encargó en su momento realizar una caracterización petrográfica). A resultados de esta situación en las eras, ya se planteó realizar la segunda fase de investigación in situ, cuyos resultados se resumen a continuación.

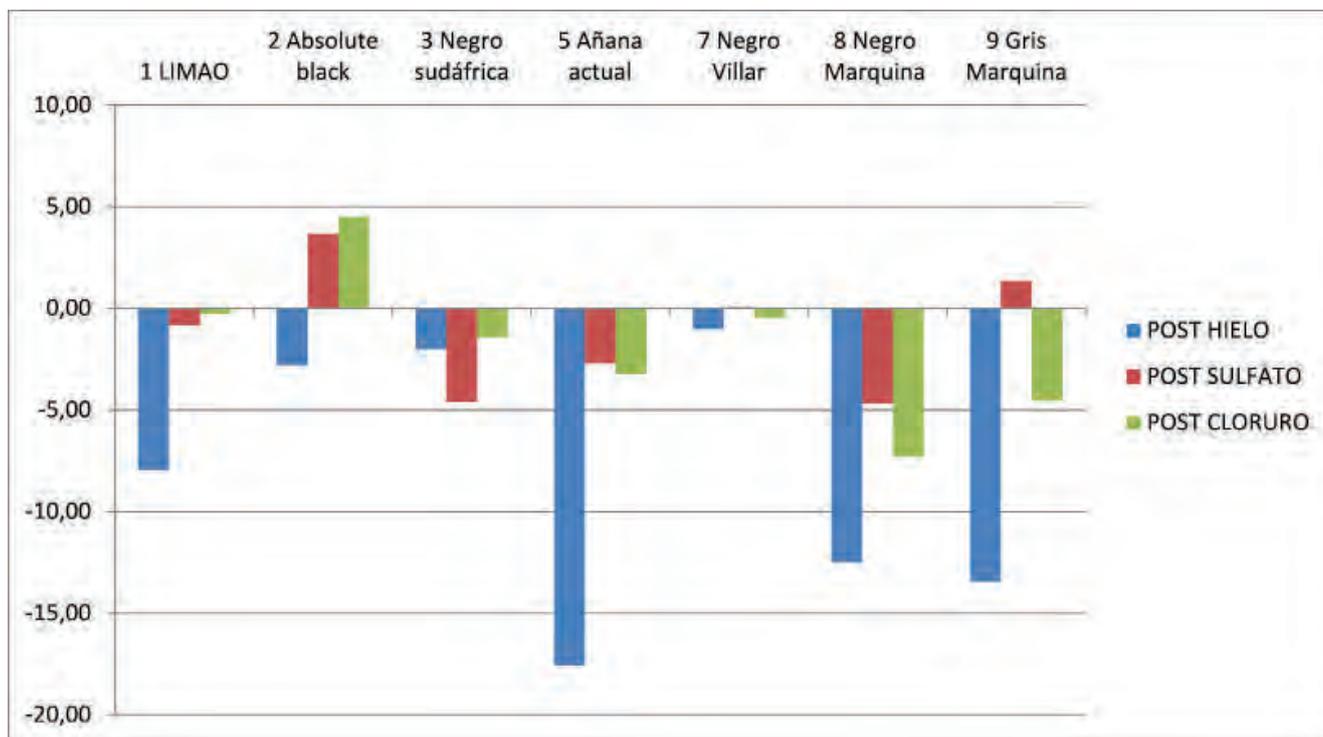


Figura 3. Variación de velocidades ultrasónicas tras los ensayos de alterabilidad mencionados. Las variaciones más negativas frente a un proceso suelen indicar pérdida de propiedades mecánicas del material.

Experimentación en las salinas: Deterioro natural

Se evaluó el desarrollo de daños en las propias salinas de las tres litologías en experimentación, durante sus ciclos naturales de mantenimiento y explotación. Se acotaron tres momentos diferentes y se fueron separando las muestras correspondientes, en este caso fragmentos de las losetas: A, momento inicial sin alterar; B, al final de la etapa de mantenimiento, en primavera-verano, donde las losetas han permanecido a la intemperie con las condiciones ambientales de la temporada fría y sin labores de explotación; C, al final de la etapa de explotación, inicio de otoño, cuando las losetas ya han experimentado las consecuencias de las labores de explotación, con procesos cíclicos de inundación de las eras y posterior secado y cristalización de la sal seguida de su retirada.

En la figura 4 se muestra la secuencia de procesos desde la ubicación de la era con las losetas de un tipo hasta los fragmentos destinados a los estudios.

Las evaluaciones del deterioro en el laboratorio se realizaron del siguiente modo y con la aplicación de las siguientes técnicas:

Observaciones visuales. Valoración de daños en ubicaciones controladas de ciertas losetas (por ejemplo, esquinas, vértices, centro de losetas) partiendo del estado inicial de las losetas de control.

Cuantificación del deterioro por medio de la medición directa de características y propiedades físicas con probetas de roca extraídas de las losetas en cada una de las 3 fases señaladas:

- 1) Visualización y cuantificación de las modificaciones de las superficies. Técnicas de cuantificación semi automatizada de la topografía superficial o rugosidad de las superficies en cada momento A, B y C en que se han extraído las probetas. La técnica exige partir de imágenes de un *estéreo microscopio óptico*, en este caso un Leica M205FA, que captura imágenes secuenciales en la vertical de superficies topográficas, y la aplicación del software Leica Map, que calcula los parámetros de topografía superficial que se están generando, en este caso debido a la agresión ambiental en las eras.

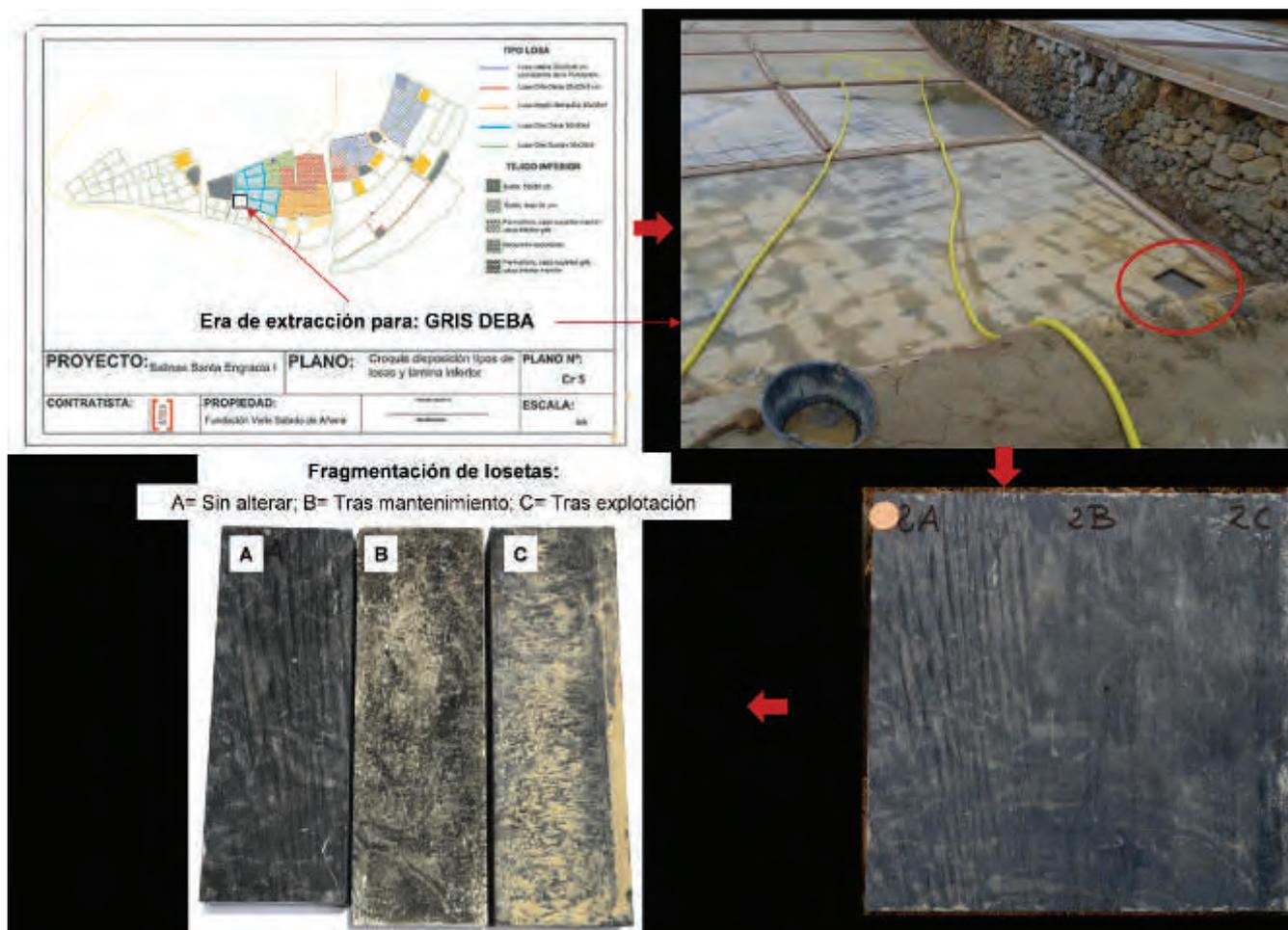


Figura 4. Localización y zona de extracción progresiva de fragmentos: 1º inalteradas (A), después del mantenimiento (B) y después de la fase de extracción (C), de una de los tipos de piedra, en este ejemplo de la caliza Gris Deba.

2) Cuantificación del contenido en sal en el interior de la loseta, al menos a 2 profundidades desde la superficie de evaporación, 2mm –cerca de la superficie- y 20mm, en el corazón de la probeta. Se mide la conductividad eléctrica de cada zona.

3) Estudio de porosidad mediante porosímetro por inyección de mercurio. Se espera discriminar la evolución de la porosidad y la posible variación del tamaño de los poros durante los procesos.

Las características petrográficas básicas de las tres litologías en experimentación en las salinas y que ahora se evalúan son:

- GRIS DEBA: Caliza cristalina gris oscura muy coherente, con dos zonaciones texturales de límites muy irregulares, una formada por cristales de calcita tamaño esparita y otra por cristales de calcita tamaño microesparita. Porosidad 1,6%.

- GRIS BAZTÁN: Caliza cristalina muy coherente de aspecto brechoide con colores grisáceos y bandeados rojizos. Presenta una mezcla de dos texturas, la formada por restos fósiles recristalizados y vetas, constituidos por cristales de calcita tamaño esparita, de tonalidades más claras, y la textura formada por cristales de calcita tamaño microesparita de color oscuro que constituye la fase de unión. Porosidad 1,1%.

- NEGRO MARQUINA: Caliza cristalina gris oscuro y coherente. También con dos texturas diferenciadas. La formada por restos fósiles recristalizados (normalmente valvas) y vetas, constituidos por cristales de calcita tamaño esparita, zonas de color claro (30 %), y la formada por cristales tamaño micrita, de color más oscuro (70 % del volumen total) que constituye la fase de unión de esta roca. Porosidad 1,8%.

Como se ve, las tres son calizas cristalinas compactas, coherentes y de tonos grises o negros, con baja porosidad y además muy microporosas. Las escasas diferencias entre ellas las ocasionan la leve disminución del tamaño de grano de la textura más fina de la piedra Negro Marquina, que también presenta una porosidad ligeramente mayor.

Algunos resultados de los estudios se resumen a continuación en la tabla I. En ella se han reflejado la magnitud de las variaciones de parámetros físicos entre las probetas tras las etapas de mantenimiento y explotación en relación a las probetas inalteradas. En este caso se presentan: dos parámetros de las variaciones topográficas de las superficies pétreas originadas por el deterioro, diferencias de porosidad y diferencias de grado de salinidad. Respecto a la cuantificación de las variaciones topográficas (1) se han escogido para esta tabla dos parámetros estadísticos resultantes del rastreo y aplicación de software de análisis definido en la norma ISO 25178:

Sa: Media aritmética de la rugosidad de una superficie.

Sv: Distancia entre el plano medio de una superficie y el valle más profundo.

Además se han tenido en cuenta las variaciones aspectuales de las probetas. Tras los análisis se puede comentar lo siguiente de cada piedra evaluada:

Gris Deba

Durante la evolución anual en las eras, no se detectaron variaciones superficiales significativas por observación visual directa y por otro lado, la cuantificación instrumental de la rugosidad tras cada etapa es muy moderada. Se han detectado variaciones topográficas medias de menos de diez micras, con saltos verticales máximos ocasionales del orden de 90 micras (apenas una décima de milímetro en

Nombre comercial	PROBETAS: A= INALTERADAS; B= TRAS ETAPA MANTENIMIENTO; C= TRAS ETAPA DE EXPLOTACIÓN -					
	Variaciones probetas B / A			Variaciones entre probetas C/A:		
	PARÁMETROS DE TOPOGRAFÍA SUPERFICIAL					
	Sa (µm): Media aritmética de desviaciones verticales	Sv (µm): Distancia vertical máxima	Sa (µm): Media aritmética de desviaciones verticales	Sv (µm): Distancia vertical máxima	Porosidad (%)	Grado de salinidad (µS/cm)
GRIS DEBA	x1	x1,1	x4,3	x4,7	x1	x3,6
GRIS BAZTÁN	x10,2	x3,5	x16,7	x6,1	x1,5	x2,2
NEGRO MARQUINA	x13,5	x8,9	x15,6	x6,4	x0,4	x1,5

Tabla I. Factor de variación de los parámetros físico topográficos, de porosidad y de grado de salinidad entre las probetas evaluadas tras las etapas de mantenimiento y explotación en relación a las inalteradas.

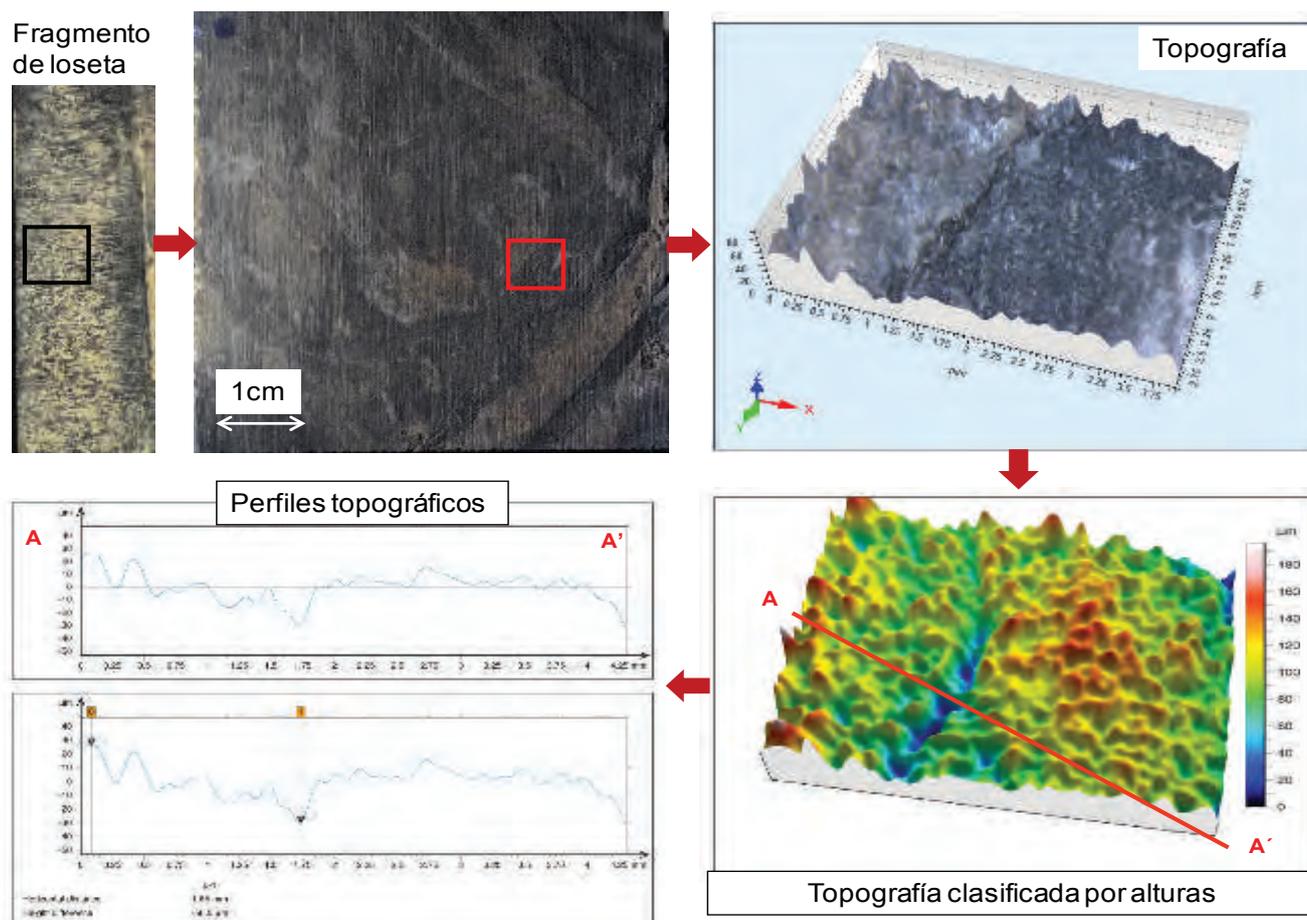


Figura 5. Análisis de las variaciones topográficas de las superficies del fragmento C, obtenido tras la etapa de explotación en la caliza Gris Deba. La rugosidad superficial provocada por la actividad en las salinas nunca llega a una décima de milímetro.

el peor de los casos). Es decir se pueden haber creado unos resaltes del orden de 4,3 veces superiores a las muestras sin alterar, pero siguen siendo mínimos. Por otra parte, la variación de porosidad es prácticamente nula y la de salinidad ha crecido unas 3 veces en las superficies sometidas a explotación, pero continua siendo muy baja. El comportamiento alterológico global tras el ciclo anual en las salinas puede considerarse muy bueno [figura 5]. El aspecto manchado de los fragmentos de esta loseta, por ejemplo en la parte superior izquierda de la figura 5 se reduce a la mera superficie, es aparente, sin que trasciendan cambios significativos hacia el interior, de ahí su buen comportamiento.

Gris Baztán

En este caso, se han producido sutiles, pero perceptibles variaciones topográficas generadas por la actividad en las salinas, que incluso ya se generan tras la etapa de mantenimiento y por ello la magnitud de los parámetros físicos crece significativamente en todos los casos

[Tabla I]. Por ejemplo la variación aritmética media S_a , crece 10 veces tras la etapa de mantenimiento y al final ha crecido casi 17 veces. Sin embargo hay que resaltar que la coherencia integranular se mantiene perfectamente, así como el grado de compacidad global de las probetas.

Lo que ha ocurrido es que se produce un comportamiento diferencial de las dos texturas dominantes en la roca, ya que las zonas más finas, o de calcita microesparítica quedan ligeramente deprimidas respecto a las más cristalinas (calcita esparita) y esto es lo que ha detectado la técnica de cuantificación de rugosidad [Figura 6].

Por ello la apariencia de las muestras después de un año es la de presentar un cierto relieve cuando se contemplan con luz rasante, como ocurre en el ejemplo de la figura. Por otra parte la porosidad y la salinidad han crecido visiblemente respecto a las zonas inalteradas, pero se parte de valores realmente tan bajos que no son valores significativos.

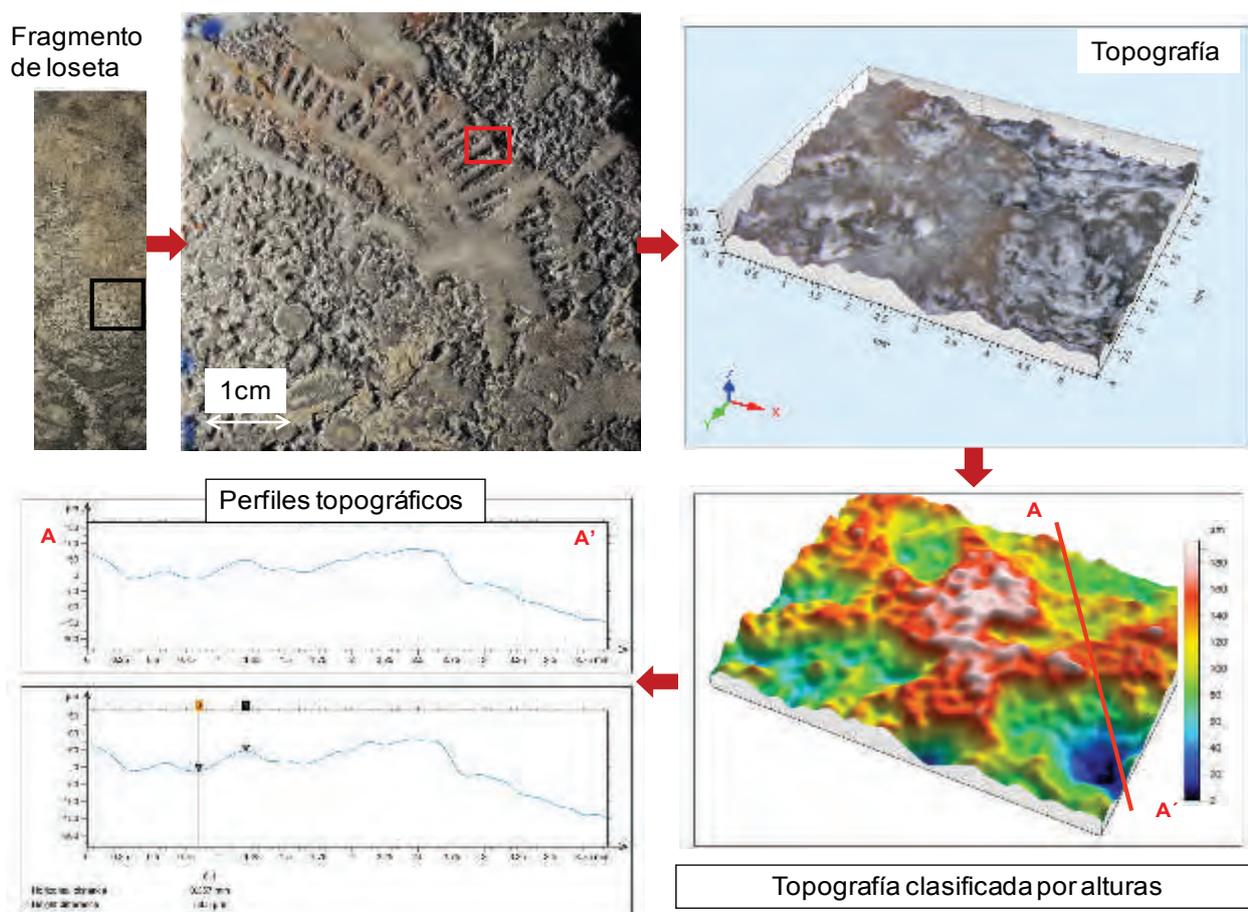


Figura 6. Análisis de las variaciones topográficas de las superficies del fragmento C, obtenido tras la etapa de explotación, en la caliza Gris Baztán. Se detecta un ligero aumento de la rugosidad provocada por la actividad salinera, pero no progresa con la actividad extractiva.

Negro Marquina

Ha sido la roca que más ha resultado afectada en las eras. En efecto, las variaciones topográficas originadas por las diferentes texturas son sólo ligeramente mayores que las que afectaron a Gris Baztán [Tabla I] y la apariencia de las muestras con luz rasante muestra esos resaltes [Figura 7].

Pero hay que añadir un factor determinante: se ha detectado que además se empiezan a producir pequeñas saltaciones de fragmentos que en las otras dos piedras nunca llegan a producirse (ver parte inferior izquierda de la probeta de la figura 8). Esta diferencia, independientemente de la magnitud de los resaltes topográficos medidos va acentuarse por el contacto cíclico con la sal y sólo por eso esta es la piedra, entre las ensayadas, que menos puede recomendarse para la actividad en las salinas.

Consideraciones finales: recomendaciones de selección

Entre una serie de piedras comercializadas se han seleccionado mediante diversos ensayos aquéllas más idóneas para utilizar como material de acabado de las eras de producción de las salinas históricas del Valle Salado de Añana.

En una primera tanda de ensayos en laboratorio se ha encontrado un buen comportamiento alterológico en piedras comercializadas internacionalmente como Absolute Black (gabro procedente de China), Negro Villar (diabasa extremeña) o Gris Limao (caliza cristalina China) y algo menos aceptable pero con buen comportamiento una variedad de Gris Marquina.

En una segunda fase de experimentación in situ con calizas cristalinas locales: Gris Deba, Gris Baztán y Negro Marquina se encontraron como más idóneas las dos primeras, siendo menos recomendable para utilizar en las condiciones de estas salinas, la caliza Negro Marquina.

Fragmento de loseta

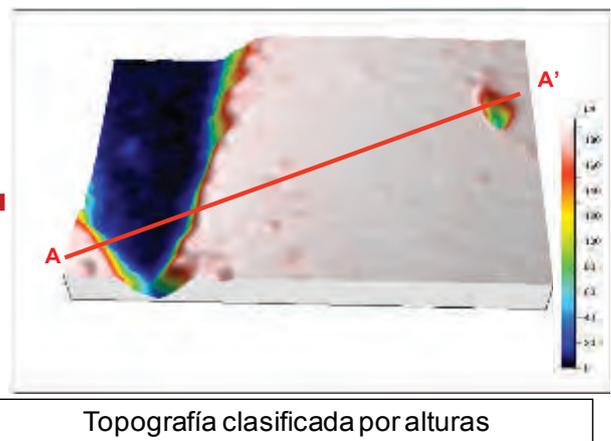
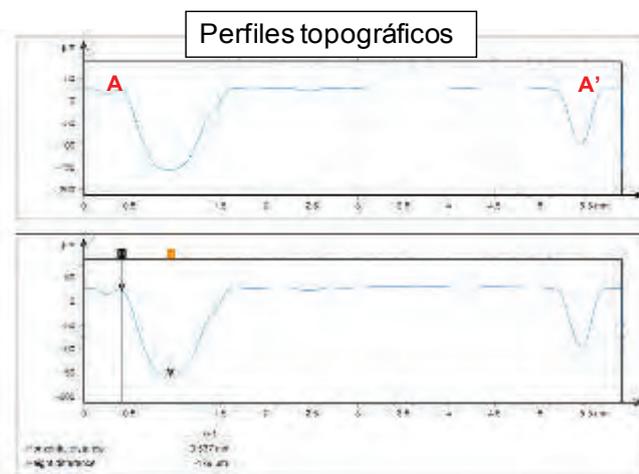
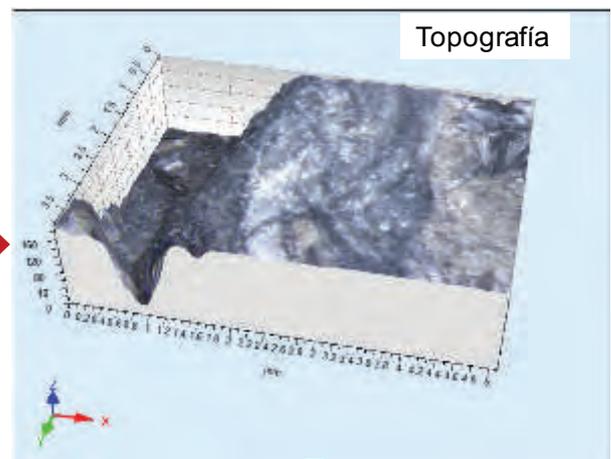
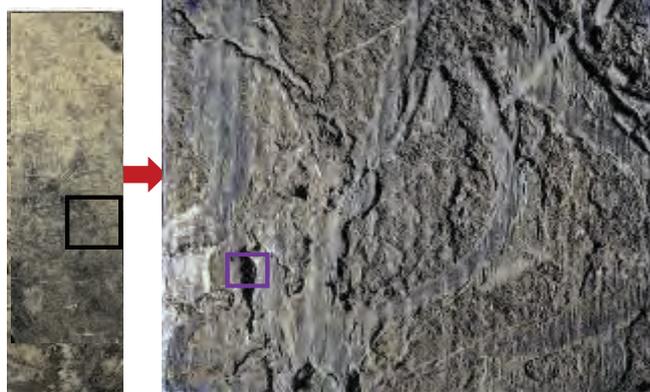


Figura 7. Análisis de las variaciones topográficas de las superficies del fragmento C, obtenido tras la etapa de explotación, en la caliza Negro Marquina. La rugosidad provocada por la actividad se incrementa, pero además se desprenden pequeños fragmentos como el señalado a la izquierda de la probeta.

La elección de una u otra litología puede venir determinada por diversos factores, como el económico, pero ahora se conoce mejor cada comportamiento de las piedras ensayadas.

Notas

[1] Artículo en este mismo número de la revista: Aspectos relacionados con la explotación en el Valle Salado de Añana: Las labores de restauración, por Ángel Luis García Pérez y Azucena Prior Santamaría.



Luis Valdeón Menéndez

GEA asesoría geológica
correo@geaasesoriageologica.com

Luis Valdeón ha desarrollado toda su carrera profesional en el ámbito de la conservación de patrimonio histórico-arqueológico y evaluación de materiales pétreos, combinando una completa base de formación científico-técnica con una dilatada experiencia profesional a pie de obra. Tras doctorarse en Geología en la Universidad de Oviedo en 1989, realizó estudios postdoctorales en el Imperial College de Londres (1989-2001) donde se especializó en la aplicación de técnicas no destructivas a materiales pétreos. En estos ámbitos posee más de cuarenta publicaciones en congresos y revistas nacionales e internacionales. Ha realizado cientos de trabajos en intervenciones de patrimonio monumental o estudios previos a las mismas, investigando asimismo el comportamiento de materiales constructivos y ornamentales en, por ejemplo, excavaciones arqueológicas, como las del yacimiento de Contrebia Leucade (La Rioja), o sobre bienes declarados patrimonio de la Humanidad, como el prerrománico asturiano (Monumentos de Oviedo y del Reino de Asturias), o Monasterio de Yuso (La Rioja), así como en catedrales, capillas y monumentos civiles de todo el país.

Desde 2001 es socio fundador, de la empresa GEA asesoría geológica especializada en estudios sobre Conservación y Restauración de Patrimonio y la caracterización de todo tipo de materiales. Es miembro activo del Grupo Español del International Institute for Conservation (GE-IIC) en donde ha formado parte de los comités científicos del grupo de trabajo "piedra".



Araceli Rojo Álvarez

GEA asesoría geológica
correo@geaasesoriageologica.com

Ha obtenido su licenciatura en la Geología en 1996 y su grado (Tesis de licenciatura) en el año 2000, ambas por la Universidad de Oviedo, habiendo realizado los cursos de doctorado entre los años 1996 - 1998. Ha participado en 9 proyectos de investigación, ha publicado 26 documentos científicos en revistas nacionales e internacionales y ha asistido a 12 congresos relacionados con diversos aspectos de la geología. Ha realizado labores docentes impartiendo clases prácticas de Petrología Aplicada y Rocas Industriales en la Facultad de Geología de la Universidad de Oviedo durante los años 1997 - 2000. Ha participado en 4 cursos de verano de la Universidad de Oviedo (2003, 2005, 2006 y 2012), llevando la dirección/coordination del organizado en 2012. Ha impartido docencia en un curso experto de la Universidad de Oviedo (2007 - 2008) y en 3 másteres organizados por la Fundación Laboral de La Construcción de Asturias (2011 - 2012).

Es uno de los socios fundadores de GEA asesoría geológica, desarrollando su actividad profesional en esta empresa desde 2001, con una experiencia de 12 años en diversos campos de geología como la petrofísica, la caracterización de materiales, la restauración, la geotécnica, el I+D+i, y la formación. Como miembro de esta empresa ha participado en más de 200 proyectos ligados a la caracterización de materiales aplicados al patrimonio arquitectónico, la construcción e ingeniería.



Félix Javier Mateos Redondo

GEA asesoría geológica
correo@geaasesoriageologica.com

Licenciado y Doctor en Ciencias Geológicas por la Universidad de Oviedo (1995-1999; 2011), en el año 1999 comienza su andadura profesional como investigador contratado dentro de los grupos de "Alteración y Durabilidad" y "Petrofísica" del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, donde durante más de una década (1999-2010) ha participado en numerosos proyectos de investigación de ámbito internacional (CONNET, ALIANCE, McDUR, CURRIC, FUNMIG, I-STONE, EPISCON..) y nacional (INTERFASE, NANOROCK, PERDURABLE..), así como decenas de contratos de investigación y/o servicios con empresas, fundaciones y organismos públicos.

Paralelamente a su actividad universitaria, en el año 2001 pasa a formar parte como Socio Fundador de la empresa GEA asesoría geológica, con sede en Oviedo, consultora especializada en campos como la conservación del patrimonio histórico-artístico, caracterización de materiales y petrofísica.



Verónica Fernández Cuesta

GEA asesoría geológica
correo@geaasesoriageologica.com

Licenciada en Geología por la Universidad de Oviedo (2010). Durante el segundo ciclo de la licenciatura ya fue becaria en la Universidad de Oviedo en diversos proyectos, como por ejemplo INTERFASE y I-STONE, así como becaria en la empresa GEA asesoría geológica. Al obtener la licenciatura fue becada por La Fundación Universidad de Oviedo para iniciar trabajos de laboratorio en la empresa GEA asesoría geológica, donde está contratada en la actualidad.

En esta empresa realiza estudios de caracterización, diagnosis y conservación de todo tipo de materiales constructivos pertenecientes al patrimonio histórico y arqueológico, así como actuales. Asimismo se ocupa de la puesta a punto y mantenimiento del equipamiento instrumental de laboratorio.

Jornada sobre conservación de patrimonio Rosa M^a Esbert *In Memoriam* 16 de mayo de 2013



Intervención de consolidación en el monolito de Sorbituaga-Arriataga en Busturia (Bizkaia)

M^a Dolores Sanz Gómez de Segura (Petra S.Coop.)

Resumen: El monolito de Sorbituaga-Arriatara, o hito medianero, está compuesto por dos bloques de piedra arenisca de diferente tamaño. Se encuentra ubicado en el monte de Busturia, y su estado de conservación era grave, debido a una gran rotura transversal que presentaba uno de los dos bloques de piedra que lo componen había sufrido las inclemencias del tiempo a lo largo de los años, las altas temperaturas de los últimos incendios en la zona, lo que había provocado la rotura transversal, además del desnivel del terreno en el que se encontraba, por todos estos motivos se solicitó la colaboración por parte de la empresa Petra, para realizar su consolidación.

El proyecto fue dirigido por el arqueólogo Juan Carlos Quintana y la intervención fue supervisada por Mikel Unzueta, técnico del Servicio de Patrimonio de la Diputación Foral de Bizkaia, y se contó con la colaboración de Santiago Tamayo Jefe del Laboratorio General de la Diputación Foral de Álava, para el asesoramiento y puesta a punto del empleo de lechadas y morteros fluidos.

Palabras clave: Monolito de piedra, arenisca, restauración, uso de lechadas y morteros de inyección.

Intervention of consolidation in the Sorbituaga-Aarriatara monolith (Busturia, Bizkaia)

Abstract: The Sorbituaga-Arriatara monolith, a dividing landmark, is made up of two different size sandstone blocks. It was located in Mount Busturia, and it was in a bad state of preservation. One of the two stone monoliths presented a deep transversal tearing, caused by severe weather along the years, the effect of diverse fires in the area, as well as by the specific characteristics of the uneven land where it was located. For all these reasons, the intervention of the restoration firm PETRA was required.

The project was led by archaeologist Juan Carlos Quintana, and the intervention was supervised by Mikel Unzueta, technician of Heritage Service of the Provincial Council of Bizkaia. Santiago Tamayo, Chief of the General Laboratory of the Provincial Council of Alava, collaborated in the project, providing advice and help regarding the use of grouts and fluid mortars.

Key words: Stone monolith, sandstone, restoration, use of grouts and fluid mortars.

Introducción

El monolito de Sorbituaga-Arriatara (Busturia) está ubicado en la ladera Sur del monte Añetu (367 m), sobre un rellano conformado entre los caseríos Arriatara y Sorbituaga. Se trata de un gran bloque de arenisca alzado, con 2,12 m de altura, 0,92 m de anchura y 0,25 m de grosor máximo, presentando en los bordes de la parte superior

sendas entalladuras laterales. [Figuras 1,2 y 3]

La primera noticia referente al monolito de Sorbituaga-Arriatara se debe a Enrike Arzubiaga (1983), del caserío Larrago. En la primera referencia publicada (López Quintana y otros 1989, 1992), fue interpretado como un menhir antropomorfo relacionado con el episodio megalítico, bien documentado este último en el entorno próximo.



Figuras 1 y 2. Distintas vistas del monolito

Los incendios de 1989 afectaron al monolito fracturándolo longitudinalmente, por lo cual se programó una intervención arqueológica de urgencia (Pujana 1990). La directora de la excavación definió el yacimiento como un cromlech encuadrable en los inicios de la Edad del Hierro y el final el Bronce final.

Pese a las hipótesis planteadas, la ausencia de un contexto arqueológico neto impide, hoy por hoy, precisar la cronología y el significado de esta sugestiva pieza del Patrimonio Cultural de Urdaibai.

La intervención realizada en el monolito de Sorbitzuaga-Arriatarara abarcó cuatro fases:

- (1) Desbroce de la vegetación que afectaba al monolito y del sendero de acceso;
- (2) Retirada de los restos de plásticos y maderas con los que se había protegido el monolito tras la intervención arqueológica de 1990 (estos elementos, en un avanzado estado de deterioro, interferían en la percepción del monumento y en su integración en el paisaje);
- (3) Creación de un anillo de protección del monolito a través de la intervención en el entorno vegetal;

- (4) Señalización del monumento con el hito oficial del Dpto. de Cultura del Gobierno Vasco;
- (5) Elaboración de itinerario didáctico apoyado con una edición de carácter divulgativo: Urdaibaiko Kultur Ondarea zabaltzeko programa: Sorbitzuaga-Arriatarako monolitoa (Busturia, Bizkaia) / Programa de difusión del Patrimonio Cultural de Urdaibai: el monolito de Sorbitzuaga-Arriatarara (Busturia, Bizkaia).

- (6) Intervención de consolidación a base de lechadas y morteros fluidos que se van a describir.

El estado de conservación que presentaba el menhir antes de la intervención de consolidación era el siguiente; las causas principales de los deterioros que presentaba el menhir habían sido provocadas por la naturaleza de la piedra, su exposición a todos los fenómenos atmosféricos (agua de lluvia, viento, heladas y horas de insolación), el paso del tiempo y los daños producidos por un incendio, además de los desniveles y asentamiento del terreno en el que se encontraba, por otra parte la superficie de ambos bloques de piedra presentaba colonización biológica y excrementos de ave y nidos de insecto, pequeñas fisuras transversales, desplazaciones en toda la superficie del menhir, debidas a la constitución propia del soporte y erosión generalizada. Presenta también una grieta longitudinal de gran tamaño, producida en los incendios de 1989.

Esta grieta que atravesaba longitudinalmente el menhir con un espesor de unos centímetros, era el problema principal de conservación, ya que cada año aumentaba de tamaño debido a la ubicación del menhir y la constante filtración de aguas de lluvia y el desnivel del terreno. [Figuras 4,5,6 y 7]

Tras el estudio del problema de la grieta longitudinal que ponía en peligro la integridad del conjunto del monolito se decidió, junto con la Dirección Facultativa de Juan Carlos López Quintana, el apuntalamiento del terreno del menhir con tierra y la consolidación de la grieta con lechadas y morteros sin la introducción de pernos, dada la fragilidad de la roca y por un criterio de intervención no invasivo.

Antes de la introducción de las lechadas se eliminó de manera puntual la presencia de colonización biológica superficial, ya que nuestra experiencia en casos similares, había constatado que en las zonas en las que no se eliminaba previamente la presencia de colonización biológica los morteros de cal no se adherían correctamente y acababan desprendiéndose. No se llevó a cabo una intervención drástica, se incidió sobre todo en las zonas en las que se iban a colocar morteros, ya que dada su ubicación, la presencia de la colonización biológica, era inevitable que se iba a volver a reproducir.

Antes de la inyección de las lechadas y morteros fluidos se procedió a la colocación de un mortero perimetral de cal hidráulica y arenas lavadas y a la colocación de cinchas para evitar roturas en la fase líquida de la aplicación de los mismos.

Tal y como nos indicó el Laboratorio General de la Diputación Foral de Álava, se respetaron los tiempos necesarios para que tanto los morteros de cierre como la aplicación de las lechadas entraran en carga y adquirieran la resistencia necesaria. Durante la realización de los trabajos de consolidación en el menhir, se pudo constatar un problema de asentamiento del mismo, por lo que para llevar a cabo correctamente el proceso de consolidación de la grieta longitudinal se realizó la operación de consolidación, teniendo en cuenta las resistencias a flexotracción-compresión de la cal hidráulica NHL 3,5 gris que se iba a emplear. Se aplicó la formulación de lechada fluida ensayada y recomendada por el Laboratorio General de la D.F.A.

Primero se inyectaron lechadas hidráulicas según formulación del Laboratorio General de la D.F.A para rellenar hasta los huecos más pequeños, posteriormente se inyectaron morteros fluidos. La primera inyección de consolidación se realizó el 16 de mayo, la segunda el 30 de mayo, la tercera el 7 de junio y la cuarta el 16 de agosto de 2012.

Este tipo de materiales (cal hidráulica NLH -3,5 gris) adquieren su resistencia máxima a edades tardías, tras 2 años de curado, por lo que se consideró necesario dejar sobre el menhir las medidas de protección y sujeción (las cinchas) que se colocaron durante los trabajos, por espacio mínimo



Figuras 3 y 4. Distintas vistas del monolito



Figuras 5 y 6. Distintas vistas del monolito

de 6 meses, hasta diciembre de 2012, para evitar posibles movimientos mientras se completaba el correcto fraguado de la cal y se adquiriera una resistencia aceptable, para garantizar su estabilidad. La aplicación tanto de las lechadas como de los morteros fluidos se llevó a cabo de abajo a arriba.

Además de la consolidación se realizó también un fijado puntual de las lascas de piedra, pero se ha constatado que al ser lascas propias de la naturaleza de la piedra se han vuelto a producir, ya que el menhir se encontraba ubicado en el exterior, y se colocaron morteros de cierre en las grietas.

Tras la realización de la intervención de consolidación, al año siguiente se llevó a cabo una revisión del estado de conservación de la grieta, y como el terreno ya estaba asentado se sellaron las nuevas pequeñas fisuras aparecidas, para garantizar la conservación del conjunto. Después de este tipo de intervenciones, es necesario llevar a cabo controles periódicos de mantenimiento, ya que al encontrarse expuesto el monolito a los agentes atmosféricos, las variables de conservación son poco previsible.

Actualmente la Dirección Facultativa, el arqueólogo J.C López Quintana, realiza visitas periódicas anuales y se encarga del mantenimiento del mismo junto con una asociación cultural de Busturia, lo que garantizará la conservación en el tiempo del mismo, ya que se realizan labores de elimina-

ción de plantas superiores cercanas al Menhir y se verifica la estabilidad del terreno. [Figuras 8, 9,10 ,11, 12 , 13 y 14]

Datos técnicos relativos a la intervención de consolidación:

- **Tratamiento de eliminación puntual de la colonización biológica,** se llevó a cabo mediante la aplicación del biocida, Botín T diluido en agua al 3% pulverizado, se realizaron cuatro aplicaciones con intervalos de más de una semana, realizándose entre éstas un cepillado en seco de la superficie en las zonas en las que se colocaron los morteros, con cepillos de cerdas sintéticas en función de la dureza de los restos a eliminar. Se realizó también un lavado de la superficie con agua pulverizada. Sólo se eliminó la colonización biológica, en el menhir y en el hito medianero estrictamente en las zonas en las que se iban a colocar morteros.

- **Tratamiento de fijado de lascas,** tras la limpieza de la colonización biológica de la superficie con lascas, se colocaron unos morteros de cierre de baja granulometría para favorecer su aplicación en las fisuras.

- **Tratamiento de colocación de morteros definitivos,** para ello se realizaron pruebas de coloración, granulometría y textura. Las pruebas se llevaron



Figuras 7, 8, 9, 10. Procesos de colocación de morteros de cierre, eliminación puntual de la colonización biológica y consolidación mediante inyecciones de lechadas hidráulicas.

a cabo con morteros de cal hidráulica NHL 3,5 gris y áridos de diferente granulometría y color con la dosificación cal: árido (1:3), confeccionados por nosotros. Antes de la colocación de los morteros definitivos se seleccionaron los más adecuados junto con la Dirección Facultativa.

• **Tratamiento de colocación de morteros de fondo en la grieta longitudinal.** Se colocaron morteros de fondo con cal hidráulica NHL 3,5 gris y áridos de gruesa granulometría con la dosificación cal: árido (1:3), confeccionados por nosotros. Estos morteros se pusieron para permitir la inyección de lechadas y morteros en el

proceso de consolidación.

• **Tratamiento de consolidación de la grieta longitudinal,** tras el estudio de la grieta longitudinal que atravesaba y dividía en dos al menhir se optó, junto con la Dirección Facultativa por la realización de la consolidación de la misma mediante inyección de lechadas y morteros fluidos de cal hidráulica.

Las lechadas de inyección de la cal hidráulica NHL 3,5, no adquieren una resistencia mínima hasta pasados 28 días (ver tabla), por lo que fue necesario realizar una pausa de 28 días entre cada inyección realizar una pau-



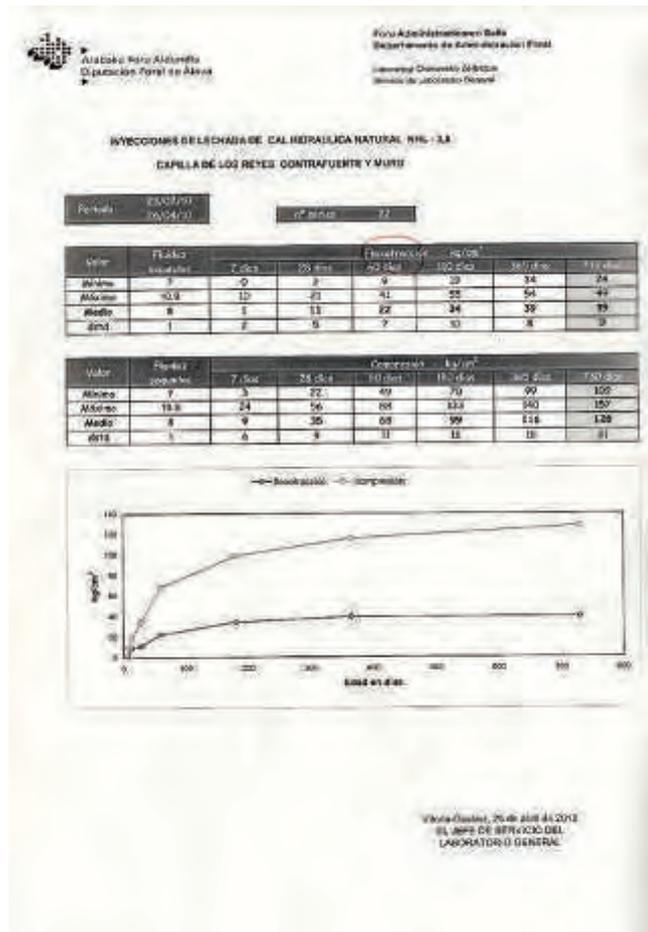
Figuras 11, 12, 13. Colocación de sistemas de sujeción, mientras se produce el correcto fraguado de la cal.

sa de 28 días entre cada inyección para desarrollar correctamente los trabajos de consolidación y garantizar su estabilidad en el tiempo. Además se colocaron las sujeciones correspondientes mediante colocación de cinco cinchas en torno al menhir para evitar los movimientos de flexo-tracción y la aparición de grietas en las fases húmedas y líquidas de inyección.

• **Tratamiento de sellado y micro-sellado de grietas y fisuras**, para el cierre de grietas y fisuras y de acabado final, tras la realización de las pruebas previas, se fabricó un mortero de cal hidráulica gris NHL 3,5 y arenas lavadas de diferente color y mármoles de colores de diferente granulometría, con el fin de conseguir un mortero lo más similar posible en color y textura a la piedra. La proporción cal/carga fue de 1:3. Para el sellado de la grieta principal se preparó un mortero de mayor granulometría para favorecer la adhesión entre capas y aumentar la resistencia. En cuanto al micro-sellado de las fisuras se creó un mortero de menor granulometría para favorecer la adhesión y la penetración en las fisuras.

En el hito medianero se colocaron morteros en las grietas y fisuras tras la eliminación puntual de la colonización biológica.

(*) Para evitar el rápido secado de los morteros, dadas las altas temperaturas existentes en el momento de su colocación, favorecer el correcto fraguado de los mismos y evitar grietas y fisuras, se cubrieron con trapos húmedos.



INYECCIONES DE LECHADAS DE CAL FORMULADAS POR EL LABORATORIO GENERAL DE LA D. F.A.

Proporciones de las lechadas de cal empleadas:
 - La cal hidráulica NHL 3,5 grs de talcoemulsi: 1500 g.
 - Agua: 4365 ml.
 - Con las siguientes proporciones de aditivos:
 Aditivo 1: (MEYCO MS-825 BASF-Menosilíceo): 135 ml.
 Aditivo 2: (DEVOLCRETE STABILIZER E.BASF-Retardante): 3,5 g.

EN OBRA, CON LA MEZCLA YA PREPARADA:
 1500 gr de cal + 5000ml de la mezcla

SOLADOS, ZAPATAS:
 35Kg de mezcla + 1,6 L de cal NHL 3,5

Tabla 2. Propoción de las lechadas de cal empleadas

Dosificaciones empleadas en los morteros:
 Mortero de fondo. Dosificación; (1:3), cal y áridos.
 Mortero de fisura. Dosificación; (1:3), cal y áridos.

Bibliografía:

BELL, O.; CÁMARA, L.; FERNÁNDEZ, M. Del C. ;GARCÍA, F. , GUA-RAS, B., KOROSO, I. y IGNACIO J. (2012). *La inyección de cales en la consolidación de fábricas. Investigación aplicada*. Santa María Katedrala Fundazioa - Fundación Catedral Santa María.



M^a Dolores Sanz Gómez de Segura , (Petra S.Coop.)

info@petrarestauracion.com
www.petrarestauracion.com

Diplomada en Restauración y Conservación de Bienes Culturales, especialidad escultura, Madrid, 1992; licenciada en B.AA., especialidad restauración de pintura, UCM 1996; becada por la Academia de España en Roma en la especialidad de Bienes Muebles, trabajo en los laboratorios del ICCROM bajo la dirección de Ernesto Borelli, 1992-1994. Actualmente está realizando su tesis doctoral en la UPV: "El color en la escultura pétreo y su secuencia en la diócesis de Vitoria, fines S. XV - S. XVIII"