

Red Temática de Patrimonio

Histórico y Cultural

RTPHC



CSIC

6ª Reunión

Estudio del Patrimonio
mediante técnicas
de haces de iones

RESÚMENES

Índice

	<i>Página</i>
ABRUSCI, C. <i>et al.</i> Tratamiento láser de películas cinematográficas	4
ALMAGRO, A. y ORIHUELA, A. Restauración del Cuarto Real de Santo Domingo	6
AZA, S. <i>et al.</i> La Fábrica de Porcelanas del Buen Retiro. La época de Bartolomé Sureda	9
AZA, S. <i>et al.</i> Porcelana dura en las primeras épocas de la Fábrica del Buen Retiro	12
BENAVENTE, D. <i>et al.</i> Estudio mineralógico, petrológico, petrofísico y microclimático aplicado a la conservación de la Cueva Pintada de Galdar, Gran Canaria	15
BERNABEU, A. <i>et al.</i> Valoración petrofísica del granito de Zarzalejo (Sistema Central) para su utilización como piedra de pavimento en cascos históricos	17
CARMONA, N. <i>et al.</i> Caracterización arqueométrica de estados de corrosión avanzada en vidrios y grisallas de vidrieras flamencas del s. XV	20
CASTILLEJO, M. <i>et al.</i> Del laboratorio al andamio: validación de limpieza láser de policromías en elementos arquitectónicos y esculturas	22
DURÁN, A. <i>et al.</i> Estudio de las pinturas murales y yeserías policromadas de la antesala, oratorio y camarín de Nuestra Señora de las Aguas de la Iglesia Colegial del Divino Salvador de Sevilla	24
GARCÍA DEL CURA, M.A. <i>et al.</i> Castillo de Biar (Alicante). Un ejemplo de bioalteración del patrimonio arquitectónico en clima semiárido	27
MONTERO, I. y PEREA, A. Análisis PIXE de bronce	30
PASCUAL, C. <i>et al.</i> Estudio de los pavimentos para el embaldosado de la Casa del Labrador del Palacio de Aranjuez	31
PEREA, A. y MONTERO, I. Análisis PIXE de oros	34
VÁZQUEZ-CALVO, C. <i>et al.</i> Análisis de pátinas históricas del patrimonio arquitectónico por medio de un equipo portátil de Fluorescencia de Rayos X	35
GÓMEZ TUBÍO, B. <i>et al.</i> Medida de carga en la línea de haz externo del CNA	39
BENÍTEZ, J.J. <i>et al.</i> Estudio textural de una serie de piezas cerámicas vidriadas de interés arqueológico	41
ARJONILLA, M. <i>et al.</i> Proceso de restauración de una pintura mural de San Cristóbal, siglo XVIII, en el convento de Santa Paula (Sevilla)	43

Tratamiento láser de películas cinematográficas

Concepción Abrusci*
 Alfonso del Amo**
 Fernando Catalina***
 David Gómez-Varga***
 Mohamed Oujja****
 Esther Rebollar****
 Marta Castillejo****

* Departamento de Microbiología III, Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid, José Antonio Novais 2, 28040 Madrid

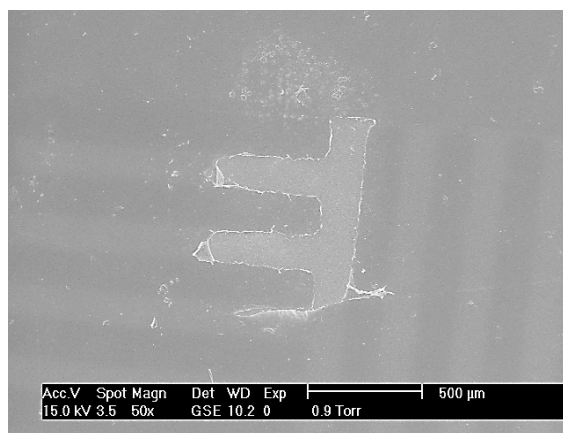
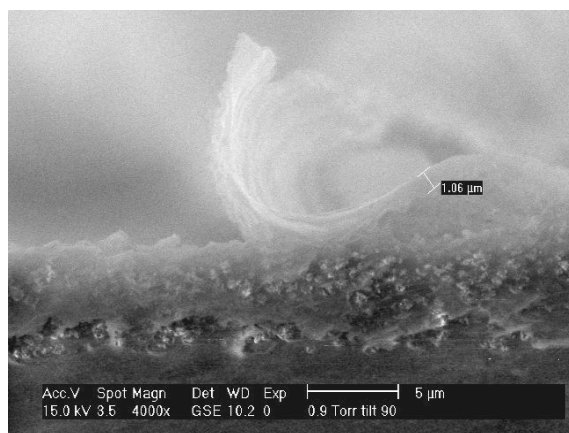
** Filmoteca Española, Magdalena 10, 2812 Madrid

*** Departamento de Fotoquímica, Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, CSIC, Juan de la Cierva 3, 28006 Madrid

**** Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC, Serrano 119, 28006 Madrid

El material depositado en los archivos cinematográficos constituye una importante parte del patrimonio histórico y cultural de nuestro país. La conservación del legado cinematográfico requiere condiciones medioambientales adecuadas de conservación, temperatura y humedad. En particular el control de la humedad resulta crucial, ya que el crecimiento de microorganismos en la gelatina a humedades relativas superiores al 60% es un importante factor de deterioro de la imagen (Kodak pub. AE-22).

La eliminación de suciedad superficial mediante láser pulsado es un procedimiento de conservación adecuado para cierto tipo de materiales. Las técnicas de limpieza tradicionales pueden alterar la composición o estructura de la superficie como consecuencia del contacto físico entre la herramienta de restauración y el sustrato. La limpieza láser, además de resolución espacial micrométrica, ofrece ciertas ventajas para materiales de condición física frágil o químicamente sensibles. La limpieza láser ha sido aplicada con anterioridad a sustratos orgánicos incluyendo papel, pergamino y tejidos (Stirlić et al. 2003, Kennedy et al. 2004, Rudolph et al. 2004). Sin embargo, no existen antecedentes en el caso del patrimonio fotográfico o cinematográfico, a excepción de ensayos de limpieza láser aplicada a daguerrotipos del s. XIX (Golovlev et al. 2000).



Imágenes de microscopía (microscopio electrónico de barrido ambiental Philips (ESEM), modelo XL30) mostrando, izquierda: la eliminación de la capa de gelatina sobre la emulsión fotográfica con láser de KrF (248 nm), derecha: ablación selectiva de la capa de gelatina en regiones de la película fotográfica carentes de plata (zonas blancas).

En este trabajo se presentan los primeros resultados de un estudio encaminado a la eliminación con láser del ensuciamiento, en particular bioensuciamiento, que ocasiona la adherencia de microorganismos sobre la superficie de películas cinematográficas. La película cinematográfica es un sistema complejo multicomponente. Sobre un soporte tradicionalmente celulósico (hasta el año 2000) y actualmente de polietilentereftalato (PET), de unas 100 μm de espesor aproximadamente, se extiende una capa de emulsión fotográfica (de 15-20 μm), que a su vez está recubierta de una capa de material de gelatina de 1 μm de espesor y que no contiene componentes fotosensibles. Es sobre esta superficie externa donde inicialmente se adhieren y desarrollan los microorganismos (hongos y bacterias) formando un biofilme y que son los causantes del posterior biodeterioro de la imagen. En medidas preliminares con láser de excímero de KrF (248 nm) se observa la eliminación selectiva de la capa superficial de gelatina (figura izda). Además se ha observado que a la longitud de onda del láser de KrF se produce la ablación selectiva de la gelatina en las zonas transparentes de la emulsión y, por tanto, sin contenido de plata. La presencia de plata en la emulsión, zonas en negro, parece conferir mayor estabilidad al material frente a la irradiación. Estos efectos mencionados se ilustran en la foto adjunta (derecha).

Tras la obtención de estos prometedores resultados, se está realizando en la actualidad un estudio sistemático para identificar las condiciones óptimas de irradiación láser que podrían conducir a la eliminación de la capa de gelatina, sobre la que se instalan los microorganismos causantes del biodeterioro, sin alterar el substrato más profundo de emulsión fotográfica. Para ello se está analizando el efecto de la longitud de onda y de la fluencia de irradiación sobre la película no contaminada y sobre zonas afectadas por el biodeterioro. Los ensayos se realizan con irradiación láser del UV al visible, utilizando la radiación fundamental y los armónicos de un láser de Nd:YAG (*Q-switched*).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con el Proyecto MCYT BQU2003-08531-C02-01. MO y ER agradecen a la Red Temática del CSIC Patrimonio Histórico y Cultural la concesión de un contrato y una beca predoctoral respectivamente. CA agradece la concesión de su beca predoctoral a Filmoteca Española y a la empresa Fotofilm Madrid, dentro del convenio de colaboración UCM-CSIC-FE-Fotofilm.

Referencias

- Golovlev, V.V., Gresalfi, M.J., Miller, J.C., Romer, G. y Messier, P. (2000). Laser characterization and cleaning of nineteenth century daguerreotypes. *Journal of Cultural Heritage* 1: 139s.
- Kennedy, C.J., Vest, M., Cooper, M. y Wess, T.J. (2004). Laser cleaning of parchment: structural, thermal and biochemical studies into the effect of wavelength and fluence. *Applied Surface Science* 227: 151.
- Kodak Publication AE-22 "Prevention and Removal of Fungus on Prints and Films".
- Rudolph, P., Ligterink, F.J., Pedersoli Jr., J.L., Scholten, H., Schipper, D., Havermans, J.B.G.A., Aziz, H.A., Quillet, V., Kraan, M., van Beek, B., Corr, S., Hua-Ströfer, H.-Y., Stokmans, J., van Dalen, P. y Kautek, W. (2004). Laser-induced alteration of contaminated papers. *Applied Physics A* 79: 941.
- Strlič, M., Kolar, J., Šelih, V.S. y Marinček, M. (2003). Surface modification during Nd:YAG (1064 nm) pulsed laser cleaning of organic fibrous materials. *Applied Surface Science* 207: 236.

Restauración del Cuarto Real de Santo Domingo

Antonio Almagro
Antonio Orihuela

Escuela de Estudios Árabes, CSIC

En el año 1990 el Ayuntamiento de Granada adquirió la propiedad del Cuarto Real de Santo Domingo, monumento de excepcional interés declarado Bien de Interés Cultural en 1919. Tras la compra, el Ayuntamiento entró en contacto con la Escuela de Estudios Árabes del CSIC, con el fin de que dirigiera los estudios conducentes a la restauración y puesta en valor de esta joya del arte nazarí. A lo largo de estos años se han firmado dos convenios de colaboración que han dado como fruto final la restauración de la *qubba*, ultimada en febrero de 2004. Queda aún pendiente la recuperación del jardín medieval y desembarazar el monumento de adherencias sin valor, cuya solución definitiva está pendiente del beneplácito de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

Historia

El Cuarto Real de Santo Domingo fue una posesión de los monarcas nazaríes de Granada, llamada la Huerta Grande de la Almanjarra. Los Reyes Católicos lo cedieron a la Orden de Santo Domingo para la fundación del Convento de Santa Cruz la Real. La antigua propiedad fue sufriendo sucesivas mermas, acentuadas tras la Desamortización de los bienes eclesiásticos del siglo XIX. En ese momento, la parte de la finca no ocupada por el convento pasó a manos privadas. El Cuarto Real y un resto de la huerta fueron adquiridos por el Ayuntamiento de Granada en 1990.

La antigua Huerta Grande de la Almanjarra comprendía un área de huertas con un jardín y diversas edificaciones entre las que destacaba una *qubba* o salón de protocolo, ubicada dentro de un torreón de la muralla del Arrabal de los Alfareros. La *qubba* estuvo precedida de un pórtico con una fuente y una alberca octogonal que ocupaban uno de los frentes del jardín. Esta disposición se mantuvo hasta mediados del siglo XIX, a juzgar por los testimonios gráficos y literarios que nos han llegado.

Al pasar la propiedad a manos privadas en la segunda mitad del siglo XIX, la *qubba* quedó rodeada por las nuevas edificaciones de una vivienda que provocaron la desaparición del pórtico, de la fuente y de la alberca. El antiguo jardín se enterró subiéndose su nivel y dando paso a otro nuevo. La *qubba* primitiva fue objeto de diversas restauraciones muy poco científicas y quedó incorporada como salón de la casa. A lo largo del siglo XX la casa adosada a la *qubba* sufrió cambios en su aspecto, destacando los del extremo oeste, con la sustitución de una terraza abierta por un mirador cubierto y, desde 1966, por una pérgola de hormigón.

Restauración

En el año 1995 se iniciaron diversos trabajos para conocer la forma y organización primitivas del Cuarto Real. Las excavaciones arqueológicas sacaron a la luz la cimentación del pórtico, la alberca y los andenes del jardín. Otras investigaciones permitieron establecer la forma primitiva de la *qubba* y las necesidades de restauración que presentaba el monumento.

En el año 2001 se iniciaron las obras de restauración, comenzando por la cubierta, cuya estructura, renovada hacia el siglo XVIII, presentaba un estado de gran deterioro, por lo que ha sido rehecha para garantizar la protección de la bella armadura que cubre la sala por su interior. Esta obra de carpintería decorada se encontraba en un relativo buen estado.

El edificio ha sido reforzado mediante zunchos de madera anclados a los muros, procurando devolverle su primitiva disposición estructural que había sido muy seriamente alterada al eliminar las paredes que separaban entre sí los distintos espacios y habitaciones laterales de la *qubba*. En la obra se ha procurado utilizar siempre materiales compatibles con los tradicionales y respetar el sistema estructural. Por este motivo se han reconstruido los antiguos muros de partición y eliminado diversos elementos de refuerzo puestos modernamente y que impedían la recuperación de los espacios originales.

La limpieza y restauración de la rica decoración que cubre el interior de la *qubba* ha sido una de las tareas más laboriosas. Se han tenido que eliminar gruesas capas de cal y numerosos añadidos poco respetuosos con la ornamentación original, frutos de malas intervenciones de comienzos del siglo XX. Entre ellas destaca la cubrición de una amplia zona de yeserías originales con placas de escayola para disimular el desplome de la pared del lado derecho. El criterio de actuación adoptado ha consistido en recuperar y dejar visibles las partes originales, hacer reconocibles las restauraciones anteriores de interés y recomponer sólo las líneas generales en las zonas desaparecidas.

Interpretación

El Cuarto Real de Santo Domingo es un monumento singular de enorme interés, no sólo desde el punto de vista histórico y artístico, sino también tipológico. Su condición de pabellón regio en medio de un jardín que aún se mantiene y su datación temprana, pues es seguramente el edificio nazarí de carácter residencial más antiguo que se conserva, así obligan a considerarlo. En él perduran rasgos estéticos almohades como la presencia de amplios paños de pared sin decoración, que en el período de esplendor del arte nazarí se ven enteramente cubiertos.

La interrelación entre la *qubba* y el jardín era un valor primordial en el concepto arquitectónico al que responde el edificio. El salón constituía un lugar de disfrute del espacio circundante, formado por las huertas que se extendían hasta la ribera del río Genil y por el jardín plantado en su frente, lugar de inmediato solaz de los usuarios de la *qubba*. El pórtico, la fuente allí existente y la alberca, proporcionaban la adecuada protección medioambiental a la sala. Las dos alhanías laterales abiertas con grandes arcos, eran los lugares destinados al reposo y las cuatro pequeñas habitaciones a modo de armarios o alhacenas servirían para guardar enseres. La destrucción del pórtico, el enterramiento de la alberca y la interposición del edificio construido en el siglo XIX alteraron de modo drástico el carácter del edificio, haciéndole perder gran parte de sus primitivos valores.

Las dos alhanías laterales del salón están hoy divididas por alfarjes, seguramente contruidos por los dominicos para disponer de dos pequeños coros. La ventana existente sobre la puerta de entrada es un elemento añadido hacia 1930, con posterioridad a la edificación de la vivienda decimonónica. Es una burda imitación de la decoración original, introducida sin consideración hacia la composición primitiva de la *qubba*. Ambos elementos se han conservado por haberlo así acordado la Comisión Provincial de Patrimonio Histórico.

EQUIPO TÉCNICO

DIRECCIÓN:

ANTONIO ALMAGRO GORBEA, arquitecto, CSIC.
ANTONIO ORIHUELA UZAL, arquitecto, CSIC.
JOSÉ MANUEL LÓPEZ OSORIO, arquitecto técnico.

COLABORADORES:

VÍCTOR MEDINA FLÓREZ, asesor en restauración.
ANA GARCÍA BUENO, asesora en restauración.
CARMEN RALLO GRUSS, estudios previos de restauración.
EDUARDO RODRÍGUEZ TROBAJO, análisis de dendrocronología.
ENRIQUE NUERE MATAUCO, asesor en estudio de la armadura.
FRANCISCO MARTÍN PEINADO, caracterización de materiales.
JUAN A. GARCÍA GRANADOS, arqueólogo.
PABLO CASADO MILLÁN, arqueólogo.
JULIO NAVARRO PALAZÓN, asesor en arqueología, CSIC.

ALBERTO DOMÍNGUEZ BLANCO RESTAURACIÓN MONUMENTOS, S.A.

Francisco Castellano Gómez, Jefe de Obra.

Francisco Muñoz Entrena, Encargado de Obra

EL TALLER DEL ARTISTA C.B.

Susana Rodríguez Martín, Restauradora.

SIGLOS, CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN.

VORSEVI, S.A. INGENIERÍA Y CONTROL DE CALIDAD.

La Fábrica de Porcelanas del Buen Retiro. La época de Bartolome Sureda

S. de Aza
F. J. Valle
E. Criado
A. H. de Aza
R. Martínez
P. Recio
C. Pascual

Instituto de Cerámica y Vidrio. CSIC. Canto Blanco, Cº de Valdelatas, c/Kelsen s/n. 28049 Madrid

La introducción de la porcelana china (porcelana dura) en Europa a lo largo del siglo XVIII supuso una revolución científica, tecnológica y cultural en todas las cortes europeas. Su fabricación significó el primer paso del estudio empírico al tratamiento científico en el área de los materiales cerámicos. El Reino de España no fue ajeno a dicha revolución y su implicación se concretó en la creación por Carlos III de la Real Fábrica del Buen Retiro. Su actividad, desarrollada entre 1759 y 1808, estuvo marcada por una serie de circunstancias que condicionaron su evolución. El precipitado e inesperado final de la Fábrica, como consecuencia de la guerra de la Independencia, ocasionó entre otros desastres, la pérdida de la mayor parte de la documentación, envolviendo su historia en una densa nebulosa, sólo alumbrada por algunas aportaciones aisladas. Un equipo multidisciplinar apoyado por la Comunidad de Madrid y coordinado por el Instituto de Cerámica y Vidrio del CSIC ha abordado el estudio integral de su historia, estableciendo las condiciones humanísticas, técnicas, científicas y económicas así como el entorno histórico en que se desarrolló la actividad productiva de la Real Fábrica de Porcelanas del Buen Retiro.

En este trabajo se presentan los resultados del estudio físico-químico, mineralógico y microestructural realizado sobre tres piezas, procedentes de las excavaciones arqueológicas realizadas en el lugar que ocupó la Real Fábrica del Buen Retiro, atribuidas al periodo de Bartolomé Sureda (1803-1808) por la marca M con una corona real sobrepuesta, típica de dicho periodo.

Una de las muestras es un fragmento de una taza policromada, esmaltada y dorada con una pareja de pescadores (Muestra P8); otra es un fragmento de un jarrón (Muestra P9) y la tercera es un fragmento de un plato o de una fuente (Muestra P11). Todas ellas han sido sometidas a las siguientes determinaciones y estudios:

Análisis químico: Fluorescencia de rayos X (XRF); Fotometría de llama (F.P); Espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-AES) y Microsonda electrónica (EPMA).

Análisis de fases: Difracción de rayos X; Microscopía de luz reflejada; Microscopía electrónica de barrido (MEB) con microanálisis mediante espectrómetros dispersivos de energía (EDS) y/o dispersivos de longitud de onda (WDS).

Análisis de propiedades físicas: Densidad aparente y Porosidad.

En todas las muestras, los componentes mayoritarios son: sílice, alúmina, óxido de magnesio y en mucha menor proporción los óxidos alcalinos ($K_2O + Na_2O$). Las concentraciones de los diferentes componentes no varían, de una a otra muestra, en más del 1 o 2% en peso. Si se tiene en cuenta que, según Pérez-Villamil en su libro “Artes e Industrias del Buen Retiro” (Madrid 1904, pág. 50), el componente fundamental y diferenciador, utilizado por Sureda en la formulación de su porcelana, era una “arcilla magnesítica” procedente del Cerro de Almodovar entre Vicalvaro y Vallecas, confirmándose, en una primera aproximación, que las piezas estudiadas debían pertenecer, sin duda alguna, al mencionado periodo, como consecuencia del elevado contenido en MgO de las muestras.

Análogamente, todas las muestras, desde el punto de vista mineralógico, están constituidas por: α -cuarzo, α -cristobalita, protoenstatita y una fase vítrea, variando sus proporciones respectivamente entre: 8-15, 6-21, 14-20 y 55-58 % en peso. Su representación en el sistema: sílice – forsterita – leucita justifica el que dichos materiales tengan, lo que se denomina, un amplio margen de coacción.

En todas las muestras estudiadas se han puesto de manifiesto unos “aglomerados cristalinos”, donde se han encontrado localizados los cristales de protoenstatita y de cristobalita. Los microanálisis promedio de los mismos, en las distintas muestras, expresados en los componentes mayoritarios. sílice, alúmina y óxido de magnesio coinciden estrechamente con el análisis promedio de la actual sepiolita, calcinada a $1100^\circ C$, explotada por la empresa Tolsa y situada en el Cerro de Almodovar entre Vilcavaro y Vallecas, justificando así mismo el que gran parte de la misma se calcinara previamente a su utilización a alta temperatura.

Mención aparte merecen los vidriados empleados por Sureda en las muestras estudiadas. En todas ellas, se pudo deducir, de los respectivos análisis, que los vidriados parecen estar constituidos fundamentalmente por un feldespato sódico potásico. Este hecho confirma, el que Sureda siguió, en principio, para los vidriados, las composiciones aprendidas en París, pues, en su citado Cuaderno de Notas Sobre Cerámica y en la página 91 escribe: “Espato fusible es la cubierta de la porcelana dura[...] en paris ponen un poco de marne”. Entendiéndose por “Espato” el feldepato, tal como se deduce de la expresión: “Ce qu’on emploie ordinairement en france pour le même but, est le feld-spath ou spath fusible, et [...]?” que aparece en la página 130 del citado Cuaderno de Notas.

Ahora bien, cabe preguntarse ¿qué tiene de novedoso dicha porcelana? Composiciones de porcelanas con elevados contenidos de MgO se producían en Europa en fechas (~1745) anteriores a las producciones de Sureda. En su producción se utilizaba fundamental, como materia prima, un material denominado por los ingleses “soapstone” y por los ceramistas españoles como esteatita, y conocido también comúnmente como jabón de sastre, cuyo componente principal es el talco ($M_3[Si_2O_5]_2[OH]_2$), silicato magnésico hidratado del grupo de los silicatos laminares tri-octaédricos.

Así pues, la primera gran diferencia entre las porcelanas de Sureda y las porcelanas europeas de la época conteniendo cantidades elevadas de MgO, está en que Sureda no empleó el talco como materia prima suministradora del MgO si no la sepiolita ($Mg_5[Si_8O_{20}][OH]_2[H_2O]_4 \cdot 4H_2O$). Este hecho, ya de por si, hace a las porcelanas de Sureda únicas en su género. Otro hecho diferenciador es la diferente composición analítica que presentan dichas porcelanas, pues además emplear altos contenidos de MgO, empleaban

cantidades elevadas de PbO y aquellas que lo contienen en menor proporción incluyen cantidades apreciables de óxido de calcio.

La diferente constitución analítica se traduce, por otra parte, en una diferente constitución mineralógica. Finalmente otro hecho distintivo fundamental está en el proceso de fabricación. Mientras que Sureda sigue un procedimiento análogo al de las denominadas “hard porcelains” (porcelanas duras) excepto que chamota una porción de la sepiolita, las denominadas “soapstone porcelains” (porcelanas de esteatita) siguen un proceso análogo al de las denominadas “soft-paste or glassy porcelains” (porcelanas blandas), donde previamente se hace una frita vítrea con parte de la composición, la cual posteriormente se mezcla con el resto de la esteatita y la arena de cuarzo o el “flint”.

Así pues, a la vista de los resultados obtenidos, se puede afirmar que Bartolomé Sureda obtuvo, después de muchos ensayos, “una nueva composición de porcelana”, que al decir de Pérez-Villamil, pudiera llamarse “porcelana de Madrid”.

Porcelana dura en las primeras épocas de la Fábrica del Buen Retiro

S. de Aza
F. J. Valle
E. Criado
A. H. de Aza
R. Martínez
P. Recio
C. Pascual

Instituto de Cerámica y Vidrio. CSIC. Canto Blanco, C° de Valdelatas, c/Kelsen s/n. 28049 Madrid

La destrucción de La Real Fábrica del Buen Retiro (1812), en el reinado de Fernando VII, hizo desaparecer cualquier vestigio físico de su instalación así como de su documentación. De las cuatro épocas en que se divide la actividad de la Real Fábrica, los autores han establecido, en unos primeros estudios, cual fue el proceso de fabricación y la constitución mineralógica de las porcelanas del último periodo correspondiente a Bartolomé Sureda.

En este trabajo se presentan los resultados del estudio físico-químico, mineralógico y microestructural realizados sobre una pieza, procedente de las excavaciones arqueológicas realizadas en el lugar que ocupó la Real Fábrica del Buen Retiro, atribuida a las primeras épocas de la fábrica (1760-1803) por la marca de la flor de lis, en azul cobalto, presente en la misma.

El análisis químico del soporte, expresado en sus componentes mayoritarios: SiO_2 (76,2%), Al_2O_3 (18,8%) y alcalinos ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$) (1,75%) parece corresponder al de una porcelana de pasta dura. Su representación en el sistema ternario SiO_2 - Al_2O_3 - K_2O esta localizada dentro del triángulo de composición: cuarzo (SiO_2)-feldespato potásico ($\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$)-metacaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$), dentro del cual se localizan las denominadas porcelanas triaxiales clásicas, al estar todas ellas formuladas por proporciones variables de las mencionadas materias primas. Su localización, al mismo tiempo, dentro del campo primario de cristalización de la mullita, fase característica de las denominadas porcelanas duras clásicas, confirma, por otra parte, los resultados de difracción de rayos X, habiéndose determinado que está constituida por: 21,7% de mullita, 41,9% de cuarzo, 1,8% de cristobalita y 34,6% de fase vítrea.

De su localización dentro del mencionado triángulo de composición, parece deducirse, en un principio, que la muestra ha sido formulada como las porcelanas chinas clásicas, es decir, a base de: cuarzo, feldespato y caolín.

El estudio microestructural puso de manifiesto que se trata de un material con una microestructura muy homogénea, bien sinterizado, con baja porosidad y constituido por muy pequeños cristales de α -cuarzo y típicos cristales prismáticos de mullita primaria, es decir, mullita formada por transformación directa de la caolinita. No pudo observarse, sin embargo, la presencia de cristales de mullita del tipo de aguja, correspondientes a la denominada mullita secundaria formada en los relictos de origen feldespático y cuya presencia es típica de las porcelanas duras clásicas.

La ausencia de cristales de mullita secundaria, en la microestructura de la muestra, parece indicar que no se utilizó feldespato alguno en su formulación. Por otro lado, la muy uniforme microestructura del soporte nos conduce a la conclusión de que, muy probablemente, se ha utilizado en su fabricación un solo tipo de arcilla, a la que se le ha añadido como desengrasante una cierta cantidad de cuarzo de un tamaño muy fino ($\leq 25 \mu\text{m}$).

De todos los posibles materiales ensayados entre 1784-1803 tratando de localizar arcillas aptas para su utilización en la fabricación de la porcelana, el único material que pudiera haberse utilizado, tal cual, en la formulación de la pasta de porcelana, es la denominada arcilla Garlitos. Dicha arcilla puede considerarse como representativa de las denominadas tierras blancas, utilizadas desde antiguo para enjalbegar las casas. Dichas arcillas se encuentran en diversos depósitos de Sierra Morena (Zarza de Alanje, Alanje, Monterrubio de la Serena, El Rosal, Hinojosa del Duque, Almuradiel, etc.), siendo en general extensas formaciones pizarrosas meteorizadas, de muy pequeño tamaño de partícula, con contenidos muy variables de caolinita, una mica potásica (sericita), y pirofilita, pudiendo constituir por sí solas una buena masa cerámica, como ha sido puesto de manifiesto por diversos autores.

Dos muestras tomadas recientemente de la zona de Garlitos, durante el desarrollo del proyecto, por M. Regueiro y L. Céspedes, están constituidas por caolín y cuarzo como minerales principales, sericita como mineral secundario y trazas de esmectitas. Sus análisis promedio caen dentro del triángulo de composición: metacaolín-sericita-pirofilita, típica zona de las denominadas tierras blancas o arcillas sericíticas.

El que se haya podido obtener una porcelana dura, durante la etapa final de la primera época de la fábrica del Buen Retiro, utilizando un solo tipo de arcilla y cierta cantidad de cuarzo como desengrasante, no es de extrañar. Es comprensible que se llevaran a cabo ensayos individuales, con los diferentes tipos de tierras blancas, para estudiar sus comportamientos a la cocción, como componentes potenciales de las formulaciones de las porcelanas. La observación de la textura, aparte de otros ensayos adicionales, después de los ensayos de cocción preliminares, induciría, en el caso de la tierra blanca de Garlitos, a su utilización como tal controlando su contracción con la adición de cierta cantidad de cuarzo.

Así pues, a finales de la primera época de la Fábrica del Buen Retiro, se obtuvo una composición de porcelana análoga a la de una verdadera porcelana china o porcelana dura. Dicha porcelana, por su composición, parece ser semejante a ciertas composiciones de la porcelana china de Jingdezhen, uno de los mayores centros productores de porcelana en China y el mayor exportador de dichos productos a finales del siglo XVIII y principios del XIX. Según Pollard y Word y otros autores, hay evidencias que sugieren que, en los periodos de la dinastía Song (960 a 1280), la porcelana de Jingdezhen se podría haber fabricado utilizando una “single kaolinized porcelain stone”. Según Pollard y Wood en China actualmente también se soporta la idea que la mezcla de caolín, feldespato y cuarzo, no fue utilizada en Jingdezhen hasta los tiempos de la dinastía Yuan (1300-1450).

A la vista pues, de que el soporte analizado corresponde a una porcelana dura, surgen varias cuestiones: ¿se fabricaron mas piezas con dicha composición?. Si no se fabricaron más piezas ¿el material estudiado corresponde a un simple ensayo?. ¿A que se debe su rechazo?.

Su rechazo, en el caso concreto de la pieza que nos ocupa, fue debido a la presencia de grietas en el material. Dichas grietas, por su aspecto, parecen debidas mas al procedimiento de fabricación seguido para la obtención del plato o fuente que a un defecto de la composición.

El rechazo, o lo que es lo mismo, la no continuación de la fabricación de dicha porcelana como tal, pudiera deberse, muy probablemente, al tipo de vidriado empleado para su cubierta. El análisis de dicho vidriado ha puesto de manifiesto que se trata de un vidriado de alto contenido en óxido de plomo ($\text{PbO} = 27,20\%$) y un cierto contenido de anhídrido bórico ($\text{B}_2\text{O}_3 = 3,08\%$), análogo a ciertos vidriados empleados en aquella época en la cubierta de las porcelanas de pasta tierna y por consiguiente no aptos para las porcelanas de pasta dura.

Parece pues plausible concluir que, durante el periodo 1784-1803 en la Fábrica del Buen Retiro se obtuvo una pasta de porcelana dura, análoga a las porcelanas chinas de Jingdezhen de la primera época (Cinco Dinastías 907-960 y Dinastía Song 960 a 1280), mediante el empleo de una sola tierra blanca (arcilla Garlitos).

Si se tiene en cuenta que, según todas las fuentes documentales tradicionales, durante las tres primeras épocas de la Fábrica del Buen Retiro se produjo únicamente una porcelana que se acostumbra a denominar de pasta tierna, “pastas frágiles como el vidrio o más tiernas que la loza...”, sorprende el resultado obtenido del estudio de dicha pieza. Finalmente, queda, sin embargo, la importante duda de si se fabricaron más piezas con dicha composición.

Estudio mineralógico, petrológico, petrofísico y microclimático aplicado a la conservación de la Cueva Pintada de Galdar, Gran Canaria

D. Benavente *
J.C. Cañaveras *
S. Cuezva **
S. Sánchez-Moral **
V. Soler ***

* Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada CSIC-UA, Dpto. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, 03080 Alicante.

** Dpto. de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, 28006 Madrid.

*** Instituto de Productos Naturales y Agrobiología de Canarias, CSIC, 38206 La Laguna, Tenerife.
e-mail: david.benavente@ua.es

La caracterización mineralógica, petrológica y petrofísica de estos materiales que constituyen el conjunto arqueológico de Galdar (Cueva Pintada y Complejo Troglodita) definen un sistema complejo y alterable por cambios de temperatura y humedad relativa.

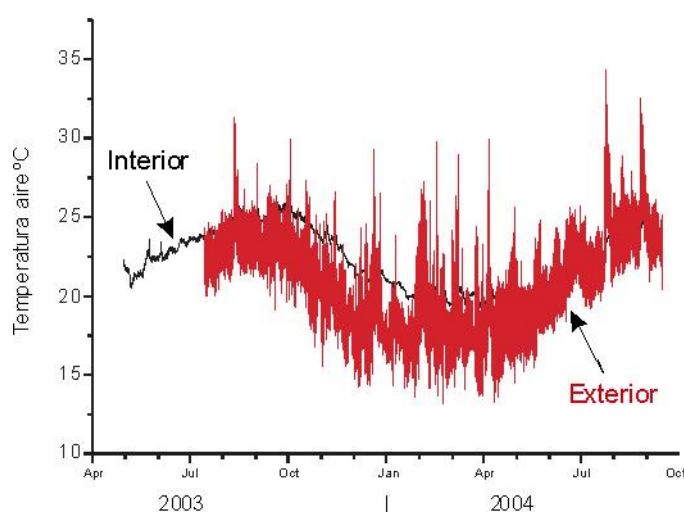
El conjunto arqueológico de Galdar corresponde a una serie de cuevas y habitáculos que fueron excavados en la toba volcánica constituida por capas de piroclastos de potencia decimétrica correspondientes a diferentes y sucesivas oleadas de emisión volcánica. Estos piroclastos presentan textura porfídica con fenocristales predominantemente piroxénicos y olivínicos en una matriz criptocristalina a vítrea. Son abundantes las vacuolas parcial o totalmente rellenas de carbonatos (calcita, dolomita) y zeolitas. Carbonatos y zeolitas constituyen también las fases cementantes intergranulares. En conjunto, la roca encajante presenta un sistema poroso complejo: alta porosidad (~ 25 %); una distribución de tamaño de poros polimodal (las familias de tamaño de poro menor, intervienen en la condensación por efecto Kelvin; mientras que las de mayor tamaño, una alta cinética de imbibición capilar).

Las arcillas que constituyen los estucos están constituidas principalmente por proporciones variables de esmectitas, illitas y caolinitas como componentes mayoritarios. Entre sus características petrofísicas más importantes se puede destacar su alta superficie específica (~ 150 m²/g) la cual la hace susceptible a la condensación de agua en los microporos.

Por lo tanto, debido a las características petrofísicas de estos materiales, es importante controlar las condiciones microclimáticas del enclave para poder evitar los diferentes procesos de alteración inducidos por el transporte de agua a través de los materiales.

Las condiciones microclimáticas de la Cueva Pintada pueden sufrir variaciones extremas producidas por las obras y elementos de acondicionamiento del conjunto arqueológico, como fuentes de iluminación, sistemas de ventilación, etc. Este tipo de variaciones puede producir una condensación de agua sobre los materiales (arcillas, rocas, etc.), lo que puede modificar fuertemente su estabilidad, y por lo tanto, la integridad de las pinturas.

Los primeros datos microclimáticos permiten establecer los rangos de variación de los principales parámetros microambientales (Figura). La temperatura media exterior es de 20.5 °C. Su influencia se hace patente especialmente durante el verano en la zona más próxima a la entrada donde se registra un amplio rango de oscilación a corto y largo período, entre 13.1°C (invierno) y 34.3°C (verano). Esta influencia se atenúa progresivamente hacia el interior. La temperatura del aire en la zona interna de la cueva es homogénea con un bajo rango de variación estacional, oscilando entre 18.3 – 26.0°C (media anual 22.4°C). La variación de la temperatura e la roca es menor, oscilando entre 19.8 – 23.6°C (media anual 21.5°C), debido a su menor conductividad térmica de la roca con respecto al aire. La humedad relativa del aire en el interior de la cueva permanece más atenuada que en el exterior a lo largo de todo el año, oscilando entre el 43.2 y 75.3%. En el exterior de la cueva oscila entre el 7.1 y el 94.7% alcanzando los máximos valores en otoño-invierno.



Evolución de la temperatura del aire interior y exterior durante el periodo de registro

Valoración petrofísica del granito de Zarzalejo (Sistema Central) para su utilización como piedra de pavimento en cascos históricos

Bernabéu, A. ^{*,**}
 Benavente, D. ^{*,**}
 Fort. R. ^{*,***}
 García del Cura, M. A. ^{*,***}
 Martínez-Martínez, J. ^{*,**}
 Menduiña, J. ^{****}

^{*} Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada CSIC-UA

^{**} Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Universidad de Alicante A.P. 99. Alicante 03080. Ana.Bernabeu@ua.es

^{***} Instituto de Geología Económica. CSIC-UCM Facultad de Geología. UCM 28040 Madrid.

^{****} Instituto Geológico y Minero. La Calera, 1. 28760 Tres Cantos. Madrid.

La presencia de abundantes rocas graníticas en la zona N y NW de la Comunidad de Madrid, que constituyen los diferentes plutones del batolito de Guadarrama (Sistema Central) ha hecho que este tipo de rocas hayan sido muy utilizadas tanto históricamente como en la actualidad en el Patrimonio Arquitectónico de esta Comunidad. Estos plutones presentan rocas graníticas s.l.: leucogranitos, granodiriotas y monzogranitos de diferentes características texturales.

Si bien los granitos de grano medio de la zona de Alpedrete han sido los más utilizados y por ende de los que se ha extraído un mayor volumen (Saenz Ridruejo y Martín Moreno 1998), los granitos de la zona de Zarzalejo han sido empleados entre los siglos XV y XVII en numerosos monumentos de la Comunidad de Madrid. Entre ellos destacan el Real Monasterio de San Lorenzo de El Escorial, El Monasterio de la Encarnación, El Monasterio de las Descalzas Reales, en Madrid, las iglesias de Valdemorillo, Zarzalejo y Navalagamella, etc. Este tipo de piedra ha sido utilizado también en obras de restauración realizadas a mitad del siglo XX siendo una de las más emblemáticas las actuaciones llevadas a cabo en el Palacio Real de Madrid (Fort et al. 1996).

Los granitos de Zarzalejo, inequigranulares de grano medio a grueso, con ligera tendencia porfídica de los cristales de plagioclasa, ocasionalmente con enclaves microgranulares máficos, actualmente extraídos en las proximidades de dicho pueblo y comercializados con la denominación de Blanco Rafaela son el objeto del presente trabajo en el que se analizan sus propiedades con vistas a su utilización como piedra de pavimentos en exteriores. Los componentes mayoritarios de esta roca son plagioclasa, feldespato potásico (ortosa y microclina), cuarzo y biotita (rica en titanio), los accesorios (identificados con SEM-BSE y EDS) son apatito, monacita, circón e ilmenita, y contiene clorita y moscovita como minerales secundarios.

Su densidad real es de 2.685 ± 4 (Kg/m³), su densidad aparente 2.644 ± 3 (Kg/m³) y su porosidad accesible al agua $1,5 \pm 0,1\%$. Sus propiedades mecánicas se recogen en la Tabla 1.

Actualmente la roca se comercializa con los siguientes acabados: pulido, apomazado, cara sierra, abujardado y flameado, acabado en el que las micas aparecen en relieve, tal y como también habían observado Rojo et al. (2003) en otras rocas graníticas. A fin de determinar cual es el acabado óptimo para su utilización en pavimentos de exteriores hemos estudiado baldosas, comercializadas en el 2004, con los diferentes acabados citados, con la actual normativa de baldosas para uso como pavimento exterior (Norma UNE-EN 1341, 2002), (Tabla 2).

Tabla 1

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Resistencia a compresión (MPa) UNE-EN 1926:99	160,0 ± 49,0
Resistencia a flexión (MPa) UNE 22-176-85	8,21 ± 2,25
Resistencia al impacto (cm) UNE 22-179-85	58,8
Resistencia a las heladas Pérdida de masa (%) UNE 22-174-85	0,005

Tabla 2

ACABADOS	Pulido	Apomazado	Cara Sierra	Abujardado	Flameado
R.deslizamiento. (USRV)	20 ± 0,1	60 ± 0,1	72 ± 2,3	81 ± 0,4	83 ± 0,4
R.desgaste (mm)	12,5 ± 0,1	15,5 ± 0,1	13,9 ± 2,5	14,5 ± 0,5	---*

* Dada la irregularidad de la superficie no se pueden obtener datos significativos, si bien serían del orden de 10 mm (datos no normativos).

Por sus valores de resistencia al deslizamiento y al desgaste el acabado más aconsejable para pavimentos exteriores es el flameado, seguido del abujardado, si bien este último, observado con MEB-SE, muestra que el procedimiento a que ha sido sometido para su manufactura afecta a algunos minerales, especialmente las micas, haciéndolas más susceptibles a otros procesos de alteración. La adecuación del acabado flameado en rocas graníticas para su utilización en pavimentos de exteriores coincide con lo que sucede con dicho acabado en rocas carbonáticas microcristalinas, en las que dicho acabado demostró ser el mejor para la utilización de la roca en pavimentos de exteriores (García del Cura et al. 2003).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Fomento (Proyecto: “Evaluación de la durabilidad de la Piedra Natural utilizada en pavimentos de exteriores”) y la Generalitat Valenciana (Ayuda a Grupos de Investigación: Grupo 03/158).

Bibliografía

- Fort, R., Mingarro, F. y López de Azcona, M^a.C. (1996). Petrología de los materiales de construcción del Palacio Real de Madrid. *Geogaceta* 20 (5): 1236-1239.
- García del Cura, M.A, Fort, R., Bernabéu, A., Benavente, D. y Ordóñez, S. (2003). Rocas carbonáticas como pavimentos exteriores en cascos históricos: calizas microcristalinas. *4ª Reunión Monográfica de la Red*

Temática de Patrimonio Histórico del CSIC. Sevilla Diciembre 2003. Air pollution & Cultural Heritage, pp. 101-102.

Norma UNE-EN 1341. (2002). Baldosas de piedra natural para uso como pavimento exterior. Requisitos y métodos de ensayo: Anexo C: Determinación de la resistencia al desgaste. Anexo D: Determinación de la resistencia al deslizamiento. AENOR. Madrid. p. 38.

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. *Materiales de Construcción* 53: 61-72.

Saenz Ridruejo, C. y Martín Moreno, S. (1998). Cubicación de las rocas endógenas utilizadas en la construcción de Madrid. *II Congreso Internacional de la Piedra*. Madrid. Mayo 1998. Publicación en CD-ROM.

Caracterización arqueométrica de estadios de corrosión avanzada en vidrios y grisallas de vidrieras flamencas del s. XV

N. Carmona*
M. García-Heras **
A. Velasco ***
M.A. Villegas **

*Fraunhofer Institut für Silikatforschung-ISC, Würzburg, Bronnbach Branch.

Bronnbach 28, 97877 Wertheim, Alemania. E-mail: carmona@isc.fhg.de

**Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC. Avda. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid.

***Fundación Centro Nacional del Vidrio. Pº Pocillo 1, 40100 La Granja de San Ildefonso, Segovia.

La durabilidad química de un vidrio histórico es la que determina, fundamentalmente, su estado de conservación actual y en ella influyen tanto la propia composición química del vidrio como los diferentes agentes de meteorización (régimen de humedad, contaminación ambiental, etc.) a los que haya estado expuesto. Para establecer criterios adecuados en la restauración, consolidación y conservación de los vidrios utilizados en los conjuntos de vidrieras históricas, se hace necesario conocer las causas y mecanismos que producen su deterioro por medio de la caracterización arqueométrica de los distintos estadios de corrosión que presentan.

En general, son bien conocidos los procesos de degradación química experimentados por los vidrios potásico-cálcicos utilizados en la mayoría de las vidrieras de época medieval. Este tipo de vidrios, al presentar concentraciones elevadas de K_2O (20-25 % en peso) y CaO (15-20 % en peso), resultan especialmente sensibles al ataque ácido originado en presencia de humedad por gases contaminantes como el SO_2 , CO_2 y NO_x presentes en el medio ambiente. Este ataque produce, en una primera etapa, la extracción de los iones alcalinos del vidrio o desalcalinización, el progresivo aumento del pH hasta valores alcalinos por la concentración de iones OH^- en el medio circundante y, por último, la despolimerización y destrucción de la red estructural vítrea como consecuencia de un ataque que se vuelve alcalino por el aumento del pH. Sin embargo, los procesos de degradación química experimentados por los vidrios utilizados en la transición al Renacimiento, en los que los sistemas de composición evolucionan poco a poco hacia vidrios de tipo sódico-cálcico, no han recibido la misma atención en la investigación llevada a cabo hasta el momento actual.

En este trabajo se presentan los resultados de la caracterización arqueométrica efectuada en un conjunto de vidrios y grisallas de vidrieras flamencas del s. XV en los que se han detectado distintos estadios de una corrosión muy avanzada. Las muestras proceden de las vidrieras del Monasterio de la Cartuja de Miraflores (Burgos) que fueron importadas directamente de Flandes en 1484 por encargo expreso de la reina Isabel la Católica. Estas vidrieras, localizadas en la única nave de la iglesia y en los ventanales del claustro, fueron realizadas con un gran dominio de la técnica, una representación minuciosa del detalle y abundantes juegos cromáticos en los que destaca el empleo constante del amarillo de plata. Según parecen indicar las firmas descubiertas en tres de los ventanales, las vidrieras fueron elaboradas por el maestro vidriero Nicolás Romboust, uno de los vidrieros flamencos más destacados del s. XV.

Para la realización de este estudio se seleccionaron un total de nueve muestras representativas de vidrio de distinta coloración (incoloro, incoloro con una fina capa de amarillo de plata, azul, violeta, rojo plaqué o doblado y verde). En dos de estas muestras se pudieron también estudiar sus grisallas. Las muestras se caracterizaron mediante microscopía óptica (MO), espectroscopía de absorción UV/Vis, fluorescencia de rayos X (FRX), microscopía electrónica de barrido convencional (MEB) y de emisión de campo (MEBEC) y microanálisis de dispersión de energía de rayos X (EDX).

La composición química de los vidrios estudiados se corresponde, según la clasificación de Bettenbourg (1976), con la de “vidrios potásicos estables” y, según la clasificación de Müller y col. (1994), con la de “vidrios de estabilidad media” o tipo 5 del período bajomedieval e inicios del Renacimiento. Son vidrios con contenidos de SiO_2 entre 52 y 59 % en peso, de Na_2O entre 1 y 3 % en peso, de K_2O entre 4 y 7 % en peso y de CaO entre 23 y 27 % en peso. Por tanto, desde un punto de vista químico, se trata de vidrios de transición entre el período medieval y el renacentista, en los que la concentración de K_2O se va reduciendo y la de Na_2O se va aumentando progresivamente.

Los vidrios analizados presentaron una degradación muy severa que puede atribuirse al efecto sinérgico de procesos químicos y biológicos. En general, las caras externas (orientadas hacia fuera del edificio) mostraron un peor estado de conservación que las caras internas (orientadas hacia dentro del edificio). En las superficies externas se apreciaron numerosas picaduras y cráteres de gran tamaño, frecuentemente interconectados, y de profundidad variable, mientras que en aquellas zonas en las que todavía se conservaba alguna textura lisa o casi lisa, que podría corresponderse con el vidrio original inalterado, se observaron numerosas grietas y pequeñas picaduras cubiertas de restos de depósitos. Esto indica que los vidrios han sufrido una importante corrosión química con una intensa desalcalinización superficial, destrucción de la red estructural vítrea y formación de depósitos insolubles procedentes de los productos de corrosión del vidrio. En muchas ocasiones, se observaron microestructuras de aspecto filamentosas en las que se detectó un porcentaje elevado de azufre, cloro y calcio, que pueden atribuirse a depósitos originados por una degradación de tipo biológico (hongos, bacterias y otros microorganismos). Dicha degradación podría deberse probablemente al ataque microbiano, su actividad a expensas de los óxidos de los vidrios y sus efectos posteriores al depositar sobre ellos diversos productos procedentes de su actividad metabólica.

Respecto a la coloración de los vidrios se determinó la presencia de los siguientes cromóforos: Mn (II), Co (II), Mn (III), Cr (III), Fe (II), Fe (III) y partículas coloidales de plata y cobre. Los resultados del análisis de las grisallas demostraron que éstas están constituidas por granos de óxido de hierro embebidos en una matriz vitrificable formada mayoritariamente por PbO y SiO_2 , además de los correspondientes óxidos fundentes. Respecto a su estado de conservación, se pudo observar que en su superficie aparecían grandes cráteres y que el espesor de la capa de grisalla frecuentemente aparecía reducido casi a la mitad, debido a la intensa degradación y pérdida de masa vítrea que se ha producido.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto MCyT MAT2002-02549.

Referencias bibliográficas

- Bettenbourg, J.M. (1976). Composition et altération des verres de vitraux anciens. *Verres Réfractaires* 30: 36-42.
 Müller, W., Torge, M. y Adam, K. (1994). Ratio of $\text{CaO}/\text{K}_2\text{O} > 2$ as evidence of a special Renish type of Medieval stained glass. *Glastechnische Berichte Glass Science and Technology* 67: 45-48.

Del laboratorio al andamio: validación de limpieza láser de policromías en elementos arquitectónicos y esculturas

Marta Castillejo*
 Fernando Guerra-Librero**
 María Jadraque*
 Margarita Martín*
 Mohamed Oujja*
 Esther Rebollar*
 Ricardo Torres*

*Instituto de Química Física Rocasolano, CSIC, Serrano 119, 28006 Madrid. E-mail: marta.castillejo@iqfr.csic.es

**Coresal, Donoso Cortés 90, 28015 Madrid

La limpieza láser de fachadas arquitectónicas y esculturas es un procedimiento incorporado a la práctica de la restauración desde hace algunas décadas (Cooper 1988, Rodríguez-Navarro et al. 2003). Importantes monumentos del patrimonio histórico artístico Europeo han sido total o parcialmente restaurados utilizando láseres de Nd:YAG. Este tipo de láseres opera en la región IR a 1064 nm y proporciona pulsos de duración en el rango de los nanosegundos. Las capas externas de contaminación (costra) absorben de manera eficiente la radiación del láser y se vaporizan; cuando la acción del suficiente número de pulsos láser elimina la costra, la radiación láser se refleja en la superficie pétreo. Este efecto de autoprotección, observado en mármoles y calizas, se conoce como “efecto autolimitante” y permite que la limpieza láser opere sin daño al sustrato pétreo. Es en parte este efecto el que explica el éxito del método de limpieza láser aplicado a los sustratos pétreos.

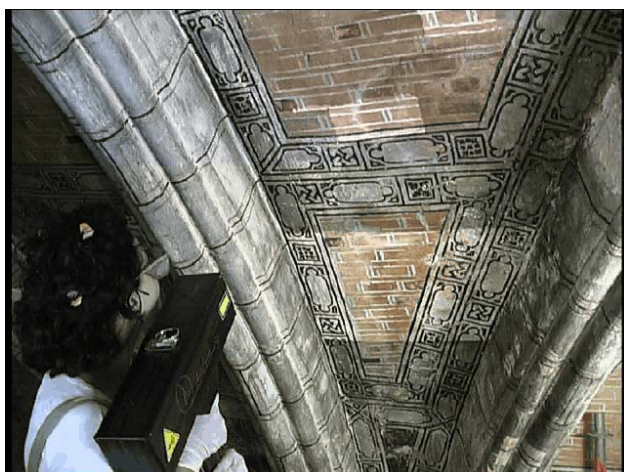


Figura Izda: Limpieza con láser de Nd:YAG de policromía sobre mortero de cal. Iglesia de Cervera de la Cañada (Zaragoza). Figura Dcha: Pruebas de limpieza láser sobre escultura de madera policromada con brocados aplicados en relieve en la Capilla de San Miguel, en la Catedral de Jaca (Huesca).

Cuando se trata de restaurar elementos arquitectónicos y esculturas policromados, la limpieza láser ha de ser contemplada con gran precaución, ya que los materiales pictóricos, pigmentos, medios ligantes, son altamente sensibles a la radiación luminosa. Los efectos de decoloración y degradación por efecto de irradiación láser constituyen objeto de investigación en varios laboratorios (Castillejo et al. 2002, 2003), por lo que la aplicación del láser para la eliminación de suciedad sobre superficies policromadas requiere un estudio previo de las condiciones en las que el uso de dicha herramienta garantiza la integridad y buena conservación de la obra. En este trabajo presentamos los resultados de la colaboración con la empresa Coresal para la restauración de pinturas murales de la Iglesia de Cervera de la Cañada (Zaragoza) y de esculturas de madera policromada con brocados aplicados en relieve en la Capilla de San Miguel, en la Catedral de Jaca (Huesca).

En ambos casos se utilizó para la restauración un láser de Nd:YAG (*Q-switched*), tras el estudio previo en el laboratorio de los efectos de la irradiación en los diversos materiales y la consiguiente determinación de los parámetros óptimos del láser relativos a la longitud de onda y energía por pulso.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con el Proyecto MCYT BQU2003-08531-C02-01. MO y ER agradecen a la Red Temática del CSIC Patrimonio Histórico y Cultural la concesión de un contrato y una beca predoctoral respectivamente. MJ agradece a Coresal la financiación parcial de una beca predoctoral.

Referencias

- Cooper, M. (1998)(ed.). *Lasers in Conservation: an Introduction*. Oxford, Butterworth Heineman.
- Rodríguez- Navarro, C., Elert, K., Sebastián, E., Esbert, R.M., María Grossi, C., Rojo, A., Alonso, F.J., Montoto, M. y Ordaz, J. (2003). Laser cleaning of stone materials: an overview of current research. *Reviews in Conservation* 4: 65.
- Castillejo, M., Martín, M., Oujja, M., Silva, D., Torres, R., Zafropoulos, V., van den Brink, O.F., Heeren, R.M.A., Teule, R. y Silva, A. (2002). Analytical study of the chemical and physical changes induced by KrF laser cleaning of tempera paints. *Analytical Chemistry* 74: 4662.
- Castillejo, M., Martín, M., Oujja, M., Rebollar, E., Domingo, C., García-Ramos, J.V. y Sánchez-Cortés, S. (2003). Effect of wavelength on the laser cleaning of polychromes on wood. *Journal of Cultural Heritage* 4: 243.

Estudio de las pinturas murales y yeserías policromadas de la antesala, oratorio y camarín de Nuestra Señora de las Aguas de la Iglesia Colegial del Divino Salvador de Sevilla

Adrián Durán Benito*
M^a Isabel Fernández Medina**
M^a Carmen Jiménez de Haro*
M^a Belinda Sigüenza Carballo*
Verónica Ramírez del Valle*
Ángel Justo Erbez*
José Luis Pérez-Rodríguez*

* Instituto de Ciencia de los Materiales de Sevilla. CSIC-UNSE, C/ Américo Vespucio, s/n. 41092
Sevilla. E-mail: adrian@icmse.csic.es

** Iglesia Colegial del Divino Salvador de Sevilla. Plaza del Salvador, s/n. 41004 Sevilla.

La Iglesia de El Salvador es la segunda Iglesia más grande de Sevilla, después de la Catedral. Ocupa el solar de la primitiva mezquita mayor sevillana denominada de Inn Adabas, erigida en el siglo IX, de la que quedan como restos el patio y el arranque de la torre del Templo. También en el patio pueden apreciarse elementos constructivos de época romana y visigoda.

La construcción del edificio tuvo lugar entre los años 1674 y 1712, dirigiendo Leonardo de Figueroa el último período de las obras.

La Iglesia, que está sufriendo en estos momentos un proceso integral de restauración, cuenta con numerosas obras de arte, entre las que destacan: - la escultura de Jesús de la Pasión, obra de Martínez Montañés de 1619; - el Crucificado de la Hermandad del Cristo del Amor, obra de Juan de Mesa de la primera mitad del siglo XVII; - el monumental retablo de la Virgen de las Aguas, en la que se encuentra esta Virgen de la segunda mitad del siglo XIII.

El Camarín de Nuestra Señora de las Aguas se empezó a construir hacia 1720. Su diseño se articula en tres estancias: antesala, camarín y oratorio. La decoración del interior se realizó con pintura mural (Juan de Dios Moreno) en antesala y oratorio, y yeserías policromadas (Bartolomé García de Santiago) con motivos vegetales en el camarín.

En la antesala se representa la Presentación de la Virgen a San Fernando y el Escudo del Cardenal Solís, quien costeó las obras de embellecimiento del Camarín. Las yeserías policromadas del camarín representan tres escenas de la vida de la Virgen: el Nacimiento, la Presentación de María en el Templo y los Desposorios. En la última de las estancias, la del oratorio, se representan escenas alusivas a la Virgen con adornos vegetales y ángeles.

En cuanto a estado de conservación del soporte mural, se observan grietas importantes en las bóvedas, levantamientos del enlucido en ampollas, problemas de disgregación de los morteros con separación de los elementos constitutivos; y en la película pictórica, abolsamientos, pérdidas por falta de adherencia al soporte, levantamientos del color en forma de escamaciones, aparición de sales, manchas de color oscuro, pulvurulencias, y acumulaciones de suciedad y polvo.

En este sentido, tres son las causas principales del deterioro localizado en las obras: humedad de infiltración por las paredes exteriores, humedad de condensación por falta de ventilación, e intervenciones inadecuadas llevadas a cabo en el pasado.

El estudio fotográfico se hizo con luz visible directa para el registro de las patologías presentes; luz rasante para abolsamientos, escamaciones, plegados, faltas de adhesión y deformaciones en general; y fluorescencia visible con radiación ultravioleta para detectar superposiciones de capas de color y repintes puntuales.

Las pruebas de solubilidad y limpieza comprobaron que la zona del oratorio (pinturas murales) es muy sensible ante medio acuoso, siendo más resistentes ante dicho medio las yeserías policromadas del camarín. Las pruebas de consolidación y fijación dieron buenos resultados a base de consolidantes con resina acrílica.

La investigación científico-analítica constó de extracción de muestras (significativas de diferentes partes del camarín –yeserías policromadas-, oratorio y antesala –pinturas murales-), realización de estratigrafías, determinación de las capas polícromas presentes, identificación de materiales constitutivos de los diferentes estratos e identificación de agentes deteriorantes. Para los análisis se usaron técnicas de microscopía óptica, espectroscopia de infrarrojos y raman, difracción de rayos X, análisis elemental por energía dispersiva de rayos X y microscopía electrónica de barrido.

En todos los casos, el estrato más interno está constituido por yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y la capa de imprimación preparatoria sobre la que se deposita la capa pictórica por carbonatos (calcita, CaCO_3 , y albayalde, $\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$). Los pigmentos hallados son ocre amarillo (tierras naturales que contienen sílice, SiO_2 , y silicoaluminatos, que deben su color a los óxidos de hierro hidratados de que se compone, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), hematite (óxido de hierro, Fe_2O_3), bermellón (sulfuro de mercurio, HgS), azul ultramar ($3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), cochinilla (colorante orgánico cuyo elemento principal es el ácido carmínico y que puede estar con alumbre, cal o cloruro de estaño), verde esmeralda o verde París (aceto-arsenito de cobre, $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$), albayalde (carbonato básico de plomo, $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$), y colorante orgánico azul.

En cuanto a la técnica pictórica empleada, las pinturas están realizadas en su mayoría al temple (posiblemente al huevo) observándose algunas terminaciones en seco (al óleo). En los análisis de las muestras se observan en algunas de ellas repintes, redorados y uso de materiales como el litopón ($\text{BaSO}_4 + \text{ZnS}$) (pigmento que empezó a emplearse a partir de finales del siglo XIX), lo que hace evidente las distintas intervenciones efectuadas sobre las obras.

Dentro de la estancia del oratorio, se eligió por su interés la muestra 15. El estudio se centró en la capa más superficial (verde superficial) sobre la que el análisis elemental ofreció Pb, As, Ca, C, Cu y O. El espectro de infrarrojos indicó las bandas características de arsenitos (hacia 800 cm^{-1}). Se detectaron por difracción de rayos X las siguientes fases cristalinas: aceto-arsenito de cobre, yeso, hidrocerusita, cerusita y calcita. Se concluyó que el pigmento verde empleado es aceto-arsenito de cobre (verde de París), un pigmento muy poco utilizado ya que es muy venenoso y que se empleó principalmente durante el siglo XIX; es muy poco resistente, y como ocurre en este caso, ennegrece en atmósferas sulfurosas o en contacto prolongado con azufre.

La intervención se basará en los principios de reversibilidad y discernabilidad de los tratamientos y de los materiales empleados, que deberán ser compatibles con los originales. La intervención tendrá diferentes fases: - consolidación del soporte mural y fijación de la capa de color; - eliminación de la suciedad superficial y eliminación de repintes desbordantes; y – reconstrucción material de elementos ornamentales desaparecidos o pérdidas en las esculturas, como dedos u otras pequeñas piezas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación recibida con cargo al convenio de colaboración para la restauración de la Iglesia Colegial del Divino Salvador de Sevilla entre el Arzobispado de Sevilla y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y Cajasur.

Castillo de Biar (Alicante). Un ejemplo de bioalteración del patrimonio arquitectónico en clima semiárido

M.A. García del Cura*
 A. De los Ríos**
 C. Ascaso**

* Instituto de Geología Económica. Laboratorio de Petrología Aplicada, Unidad Asociada CSIC-UA.

Universidad de Alicante. A.P. 99. Alicante 03080. E-mail: angegcura@ua.es

** Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC). Serrano 115, bis. Madrid 28006.

E-mail: arios@ccma.csic.es, ascaso@ccma.csic.es

El Castillo de Biar es una construcción de estilo y origen almohade que aparece citada en 1172 y que Jaime I incorpora a su reino tras un asedio (1244-45). En 1265 se utilizó el castillo como punto básico para la rebelión de los mudéjares de la vecina Murcia contra Castilla, sufriendo importantes desperfectos. En 1931 se declaró Monumento Nacional.

El castillo está construido sobre un cerro, que constituye una de las estribaciones de la Sierra de Mariola, de 750 m de altura y presenta una torre del homenaje de planta cuadrangular que actualmente alcanza unos 17 m de altura, en algunos de cuyos tres pisos se conservan elementos constructivos en ladrillo de época árabe. El castillo presenta un doble amurallamiento almenado, desarrollado a diferentes cotas, presentando el recinto exterior cuatro torres semicirculares en las esquinas y el interior torres cuadrangulares.

El castillo, emplazado sobre unas dolomías brechoides, está construido básicamente con piedra. Predomina la mampostería, y en la torre del homenaje se utilizó tapial. En algunos puntos se observan restos de hasta tres enfoscados diferentes, el más antiguo de ellos de cal.

La piedra utilizada corresponde a diferentes tipos litológicos cabiendo resaltar por su abundancia las dolomías y calizas (fossilíferas) dolomitizadas, con predominio de dolomías mesocristalinas con cristales euhedrales y subeuhedrales (Figura 1) y algunos fantasmas de fósiles (equinodermos, foraminíferos...). Estas rocas suelen presentar abundante porosidad intercrystalina así como indicios de dedolomitización manifestados por la presencia de calcita (flechas, Figura 1) frecuentemente asociada a diaclasas. Es notable la utilización de calizas tobáceas en las que predominan las facies de tubos o tallos.

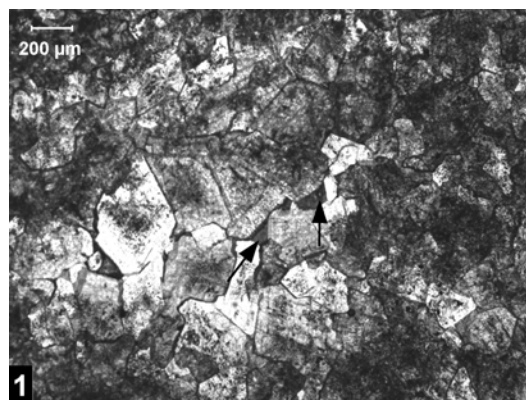


Figura 1

Las rocas dolomíticas estudiadas, tomadas a diferentes alturas, en zonas actualmente libres de enfoscados, presentan en su superficie una biocolonización que ha inducido procesos de arenización (Figura 2A, 2C y 2D), desplacado (flecha blanca en Figura 2B) y *pitting* (Figura 2D). La biocolonización utiliza preferentemente los planos de discontinuidad de la roca: porosidad intercrystalina (Figura 2A y 2C) y porosidad de fractura (Figura 2C).

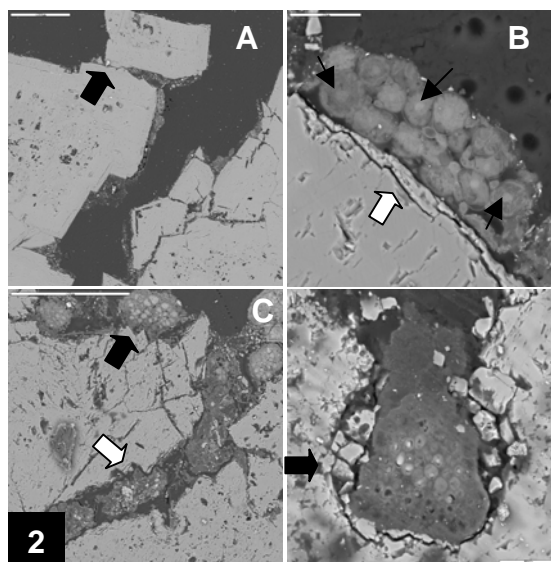


Figura 2

Para estudiar esta biocolonización hemos analizado la interfase microorganismo-mineral con la técnica de microscopía electrónica de barrido en modo de electrones secundarios (SEM-SE) y retrodispersados (BSE-BSE) según la técnica descrita por Wierzbicki y Ascaso en 1994. También se ha utilizado microanálisis por energía dispersiva de rayos X (EDS).

En la parte superior, la piedra presenta un biofilm muy heterogéneo en cuanto a su microbiota, cuya acción favorece la arenización (Figura 2A, flecha). En algunos puntos se observan agrupaciones de algas clorofíceas tipo *Trebouxia* (pirenoides indicados por flechas) y hongos (Figura 2B). Las *Trebouxia* están estrechamente unidas a células fúngicas de forma similar a lo que ocurre en la zona algal de los talos liquénicos heterómeros. Talos liquénicos y propágulos vegetativos se encuentran asentados sobre la superficie (flecha negra) y algas y hongos penetran por las fisuras (flecha blanca) producidas en los planos de discontinuidad de la roca (Figura 2C).

En la zona inferior se observa colonización por cianobacterias que se comportan como microbiota euendolítica, produciendo huecos que tienen el mismo perfil que la colonia, mediante la arenización en su entorno (flecha, Figura 2D). Colonizaciones similares han sido observadas en regiones próximas (Ascaso et al. 2004, Monzó y García del Cura 1999).

Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en el Proyecto Subvencionado por la CICYT: BOS2003-02418 “Microhábitats y microambientes físico-químicos en biofilms líticos. Caracterización y análisis de sus implicaciones ecológicas” y ha contado también con la Ayuda a Grupos de Investigación de la Generalitat Valenciana (Grupo 03/158).

Bibliografía

- Ascaso, C., García del Cura, M.A. y De los Rios A. (2004). Microbial biofilms on carbonate rocks from a quarry and monuments in Novelda (Alicante, Spain). En L. St.Clair y M. Seaward (eds.) *Biodeterioration of Stone Surfaces: lichens and biofilms as weathering agents of rocks and cultural heritage*. Kluwer Academic/Plenum Publisher, pp. 70-79.
- Monzó, J.C. y García del Cura, M.A. (1999). Efectos de la bioalteración en la corrección de impactos visuales cromáticos de canteras de rocas carbonáticas: El Cerro de la Mola, Novelda (Alicante). *Ingeopres* 77: 76-86.
- Wierzbos, J. y Ascaso, C. (1994). Application of Back-Scattered Electron Imaging to the Study of the Lichen Rock Interface. *Journal of Microscopy-Oxford* 175: 54-59.

Análisis PIXE de bronce

Ignacio Montero Ruiz
 Alicia Perea

Dpto. de Prehistoria, Instituto de Historia (CSIC), C/ Serrano, 13 28001-Madrid. E-mail:
 imontero@ih.csic.es perea@ih.csic.es

La investigación arqueometalúrgica que se desarrolla tiene como finalidad la caracterización tecnológica de la metalurgia y su interpretación socio-económica (especialización en el trabajo, organización social de la producción, relaciones de comercio o intercambio...) como uno de los elementos para interpretar el desarrollo histórico. Dentro de esa caracterización el análisis elemental es un factor básico para definir el tipo de material y en determinados casos los elementos estructurales que lo componen, así como determinar a través de modelos de impurezas la homogeneidad o heterogeneidad de conjuntos. Finalmente, la información acumulativa de los análisis elementales permite trazar un marco evolutivo en el uso de metales y aleaciones.

Aunque mayoritariamente se ha empleado el uso de la Fluorescencia de Rayos X en dispersión de energía (ED-XRF) para el estudio de la metalurgia desde sus inicios en el Neolítico hasta materiales contemporáneos, desde 1995 y gracias a la acción COST G1 se empezó a trabajar con técnicas de haces de iones (IBA) y preferentemente con PIXE. En el poster se presenta una relación de los principales estudios realizados hasta la fecha empleando esta técnica en materiales de diversa cronología y en laboratorios diferentes, con referencia a las publicaciones generadas:

1.- DEPOSITO DE PUERTOLLANO (CIUDAD REAL)

Cronología: Bronce Final
 Laboratorio: CNA (Sevilla)

2- JARROS Piriformes TARTÉSICOS

Cronología: S. VII. a.C.
 Laboratorio: CNA (Sevilla)

3.- YUNQUE DE LA MAZADA (ZAMORA)

Cronología: Bronce Final
 Laboratorio: CNA (Sevilla)

4.- METALES DE GOZQUEZ (MADRID)

Cronología: Calcolítico y Bronce Pleno
 Laboratorio: CNA (Sevilla)

5.- ALFILER CASA DEL OBISPO (CÁDIZ)

Cronología: S. VI-V a.C.
 Laboratorio: LARN (Namur, Bélgica)

6.- HACHAS DE TALÓN DEL M.A.N.

Cronología: Bronce Final
 Laboratorio: CNMA (Madrid)

7.- MATERIALES DEL MUSEO DE HUELVA

Cronología: Periodo Orientalizante
 Laboratorio: CNA (Sevilla)

8.- BRONCES DEL CASTRELÍN (LEON)

Cronología: Hierro II
 Laboratorio: LARN (Namur, Bélgica)

Estudio de los pavimentos para el embaldosado de la Casa del Labrador del Palacio de Aranjuez

C. Pascual
P. Recio
F.J. Valle
A. de Aza
R. Martinez
E. Criado
S. de Aza

Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC). Canto Blanco, Cº de Valdelatas, c/Kelsen s/n. 28049 Madrid

El trabajo se enmarca dentro de un proyecto global del conocimiento de las condiciones técnicas, económica y sociales en que se desarrolló la vida de la Real Fabrica de Porcelanas del Buen Retiro, creada a instancias de Carlos III en 1749 y que tras notables modificaciones técnicas y organizativas, lograría en su última época y bajo la dirección de B. Sureda producir en España porcelana dura. La composición de dicha porcelana, única en el contexto europeo, se basaba en el empleo como materia prima de la sepiolita del Cerro de Almodóvar (Madrid).

Su utilización permitió desarrollar una porcelana constituida por: α -cuarzo, α -cristobalita, protoenstatita y una apreciable cantidad de fase vítrea, que presentaba un amplio margen de cocción y una elevada estabilidad dimensional. El presente trabajo dedicado al estudio de los pavimentos fabricados con dicha pasta, completa los trabajos previos sobre vajilla, desarrollados por el grupo de trabajo en colaboración con otras instituciones madrileñas, financiados por un proyecto de la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid.

Los objetivos del proyecto fueron los siguientes: Descripción y clasificación de las piezas procedentes de la excavación del “Huerto del Francés”. (Parque del Buen Retiro, Madrid). Contextualización histórica de la producción. Caracterización físico-química, mineralógica y microestructural de las piezas procedentes de la excavación del “Huerto del Francés”. Caracterización físico-química, mineralógica y microestructural de las piezas procedentes del embaldosado de la Casa del Labrador del Palacio de Aranjuez. Reproducción de los pavimentos.

En la presente comunicación se recogen los datos obtenidos por el equipo del Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC) y que han permitido la caracterización físico-química y microestructural de dos series de materiales: La primera integrada por 63 piezas seleccionadas como pavimentos por la Dirección General del Patrimonio Artístico de la Comunidad de Madrid, procedentes de las excavaciones del “Huerto del Francés” y la segunda integrada por 29 fragmentos de baldosas, que se encontraban en un almacén de la Casa del Labrador de Aranjuez y fueron proporcionadas por Patrimonio Nacional.

Porcelana

Los datos de DRX y el refinamiento por el método Rietveld confirman que los materiales de ambas procedencias, al igual que las porcelanas de vajilla previamente estudiadas, estaban

formados por α -cuarzo, α -cristobalita, protoenstatita y una considerable proporción de fase vítrea. Se observó que, a pesar de la dispersión de los datos, las dos series muestran contenidos similares e incluso se repiten los valores. Estas variaciones pueden justificarse debido a pequeñas oscilaciones en la composición de las materias primas, así como derivadas de la falta de homogeneidad en las condiciones de cocción.

Vidriado

Las piezas presentan en su cara externa una cubierta vítrea cuyo espesor varía de unas muestras a otras entre 150 - 200 μm . De acuerdo con los datos de FRX, en los vidriados estudiados, el contenido en plomo no es relevante y los óxidos que se detectan de este grupo, aparte de la alúmina y la sílice, son: Na_2O , K_2O , CaO y MgO , sin que exista ningún elemento claramente diferenciador entre las muestras. En consecuencia, todas las composiciones pueden resumirse en una formulación promedio: $(0.94 \pm 0.15) \text{RO Al}_2\text{O}_3 (6.23 \pm 0.58) \text{SiO}_2$, con una desviación estándar entorno al 10 %, lo que indica, tratándose de materias primas naturales, que todos los vidriados corresponden a una única formulación y que esta es prácticamente la de un feldespato:

La dispersión de resultados en la concentración de cada uno de los elementos en el grupo RO, especialmente CaO y MgO , y la apreciable interdifusión que se aprecia en la interfase porcelana-vidriado no permiten conocer por el momento las posibles modificaciones que hubieran podido hacerse para obtener la viscosidad adecuada de la cubierta feldespática.

Se puede concluir, así, que las piezas de porcelana elaboradas en la Fábrica del Buen Retiro para el embaldosado de la Casa del Labrador probablemente eran cubiertas con un vidriado feldespático modificado con adiciones de la pasta de porcelana. Este tipo de cubierta es característico de la porcelana dura y se consolida sobre esta a alta temperatura, frente a la cubierta con alto contenido en PbO que se aplicaba sobre la porcelana blanda a temperaturas considerablemente menores.

Color

La digitalización de los colores observados en todas las muestras mediante un programa de barrido de imágenes y el procesamiento de áreas de coloración homogénea permitió representar cada color con los parámetros de un sistema triestímulo R, G y B y el valor de la luminancia. El método ha permitido diferenciar, identificar y reproducir los hasta 47 colores y/o tonalidades que se presentaban en ambas series de muestras. Con esta primera aproximación se ha podido establecer que la frecuencia de colores y tonos es significativamente igual en las muestras que se encontraron en el Huerto del Francés que en las que provienen de la Casa del Labrador. La espectroscopía en el intervalo visible, 380 - 780 nm se llevó a cabo cuando se disponía de un fragmento de muestra de pavimento lo suficientemente grande y uniforme. El análisis de estos espectros permitió determinar los parámetros espectrofotométricos de los colores más significativos. Se ha utilizado el modelo de color mas universalmente aplicado, CIELAB (Comission Internationale de L'Éclairage $L^*a^*b^*$) para definir los colores de los pavimentos estudiados.

La microscopía electrónica de barrido, MEB, confirma que en la fabricación de las baldosas se aplicó la decoración sobre cubierta. Una observación más detallada permitió apreciar los dos componentes del esmalte; la frita, de aspecto vítreo con inclusiones de cuarzo y un alto, aunque variable, contenido en Pb, y las partículas de pigmento que se sitúan en la capa más

externa. El pigmento se presenta en microcristales, partículas nanométricas < 50 nm, que tienden a formar aglomerados de forma y dimensiones variables. La difracción de rayos X, y especialmente la DRX de ángulo rasante en la superficie de las muestras, ha permitido evaluar la estructura cristalina de los compuestos que constituyen los pigmentos y su contenido en cada color. La frita, amorfa, se refleja como una banda ancha en la línea base de los difractogramas.

El conjunto de datos obtenidos permite concluir que, la amplia gama de colores que presentan las piezas responde solo a tres pigmentos; el amarillo de Nápoles, $Pb_2Sb_{1-x}M_xO_{6.5}$ ($M = Sn, Fe...$), el púrpura de Cassius, que es el precipitado coloidal del oro, Au, por acción del estaño, SnO , y el negro de manganeso y hierro, $Fe_{2-x}Mn_xO_3$, con estructura bixbyita, y distintas relaciones Fe/Mn y ocasionales adiciones de cobalto.

La gama de colores se amplía, hasta los 47 encontrados, mezclando los pigmentos básicos o adicionando pequeñas cantidades de azufre o de los óxidos de los elementos de transición que, bien se incorporan en la red del pigmento o bien se disuelven en la frita.

La intensidad del color final se obtenía mediante la aplicación de capas sucesivas de un mismo esmalte. Así se ha podido observar en algunos tonos un incremento del espesor del esmalte desde $6\ \mu m$, en las zonas de coloración más suave, hasta $20\ \mu m$, en las de color más intenso.

Los resultados globales confirman pues que la Fábrica del Buen Retiro fue capaz de desarrollar pavimentos cerámicos, a partir de composiciones y materias primas muy semejantes a las porcelanas magnésicas utilizadas en la fabricación de piezas de vajilla. El vidriado era de tipo feldespático y la decoración se efectuaba sobre cubierta a partir de tres tipos básicos de pigmentos, algunos de ellos de características nanométricas.

Análisis PIXE de oros

Alicia Perea
Ignacio Montero Ruiz

Dpto. de Prehistoria, Instituto de Historia (CSIC), C/ Serrano, 13 28001-Madrid. E-mail:
perea@ih.csic.es imontero@ih.csic.es

Una parte de los trabajos que se desarrollan dentro del grupo de investigación *Historia de la Tecnología. Arqueometalurgia* se concretan en el llamado *Proyecto Au(Ag-Cu)*. Se trata de una estrategia a corto, medio y largo plazo para el aprovechamiento óptimo de los recursos de investigación. Incluye varias líneas de actuaciones teóricas, metodológicas y divulgativas. Parte del estudio del proceso de transformación de los metales nobles fundamentalmente, aunque también otros de base cobre, para determinar los mecanismos que rigen el cambio y la transmisión tecnológica, y en última instancia el cambio social.

Se cuenta con un archivo de imágenes y datos analíticos que viene formándose desde 1985 gracias a diversas colaboraciones institucionales, especialmente con la Unidad de Metalurgia Física del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CENIM (CSIC) y también con otros organismos y laboratorios españoles y europeos. Actualmente cuenta con unas 5.000 macrofotografías digitales en color de objetos fundamentalmente en oro y plata. Al archivo de imágenes macro hay que añadir más de 600 micrografías de estructuras metalográficas tomadas en microscopio electrónico de barrido (MEB), con su correspondiente microanálisis por dispersión de energía. Otra fuente de datos analíticos recogidos por el *Repertorio Au* son los procedentes del estudio de objetos metálicos por PIXE (espectroscopía de Rayos X por inducción de protones). Con esta técnica se han estudiado o están bajo estudio la fecha los siguientes materiales:

- 1.- TESORO DE GUARRAZAR (TOLEDO)
Cronología: Visigodo
Laboratorios: LARN (Namur, Bélgica)
AGLAE (París, Francia)
- 2.- TESORO DE TORREDONJIMENO (JAEN)
Cronología: Visigodo
Laboratorio: CNMA (Madrid)
- 3.- CANDELABROS DE LEBRIJA (SEVILLA)
Cronología: Orientalizante.
Laboratorio: LARN (Namur, Bélgica)
- 4.- TUMBA DE LA JOYA
Cronología: Orientalizante.
Laboratorio: CNA (Sevilla)
- 5.- HILOS METALICOS DE TEJIDOS
Cronología: Medieval y Moderno
Laboratorio: Universidad de Florencia (Italia)

Análisis de pátinas históricas del patrimonio arquitectónico por medio de un equipo portátil de Fluorescencia de Rayos X

Carmen Vazquez-Calvo*
Mónica Álvarez de Buergo*
Rafael Fort*
Blanca Gómez Tubío**
Inés Ortega Feliu**
Miguel Ángel Respaldiza**

* Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM), RTPHC, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, C/ José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid. E-mail: carmenvazquez@geo.ucm.es

** Centro Nacional de Aceleradores (CSIC-US), RTPHC, Parque Tecnológico Cartuja 93 Av. Thomas A. Edison s/n, 41092 Sevilla

El objetivo del estudio fue la caracterización de la pátina amarillenta que recubre parcialmente las fachadas de caliza del Palacio de Nuevo Baztán (Nuevo Baztán, Madrid) mediante la técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX), para determinar las posibilidades que esta técnica ofrece en el análisis de pátinas históricas de protección de monumentos, en comparación con otros métodos.

Por ello se ha comparado la Fluorescencia de Rayos X con otras técnicas como la Difracción de Rayos X, la espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier, la Microscopia Electrónica de Barrido con Energía Dispersiva de Rayos X y la Microsonda Electrónica.

El Palacio de Nuevo Baztán, situado a 45 Km al Este de Madrid, es un edificio del siglo XVIII (1709-1713) que fue diseñado por Churriguera bajo el auspicio de Juan de Goyeneche. La pátina que lo recubre ha sido estudiada en anteriores trabajos (Álvarez de Buergo et al. 2002, Álvarez de Buergo y Fort González 2003). Se trata de una pátina compuesta de calcita, minerales de la arcilla, yeso, cuarzo, feldespato, oxalatos de calcio y fosfatos de calcio. Es por lo tanto rica en Ca, Si, Al, P, Mg, K, Fe y Cl.

La Fluorescencia de Rayos X es una técnica espectrométrica que permite identificar los elementos a partir de sus líneas K, L y M características (Van Grieken y Markowicz 1993). Esta técnica es no destructiva ya que no requiere preparación de la muestra ni la modifica durante su análisis. El hecho de que el equipo sea portátil permite el análisis “in situ” lo cual es de suma importancia en este tipo de materiales.

El equipo está compuesto por un tubo generador de rayos X, cuyo ánodo es de W, un detector semiconductor (Silicon Drift Detector), un procesador multicanal y un instrumento de control, en este caso un ordenador portátil, como se observa en la Figura 1. El diámetro del haz que incide en el material es de 3 mm.

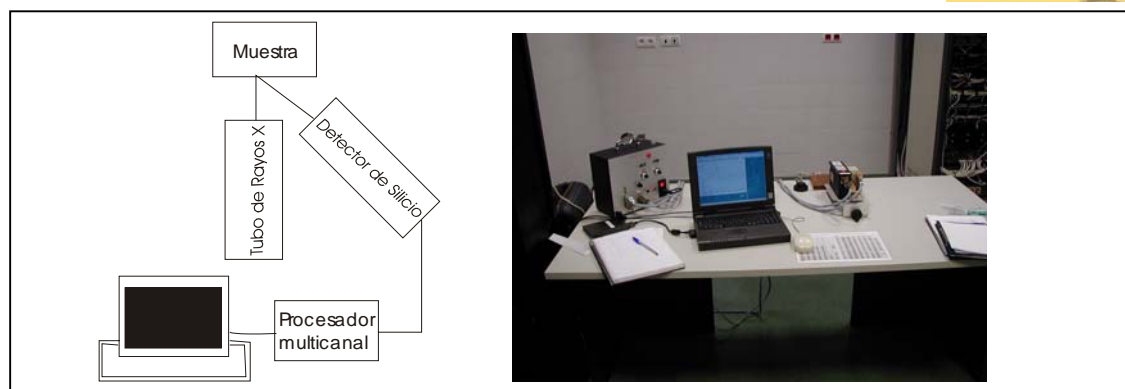


Figura 1. Componentes del equipo

Se realizó un análisis semicuantitativo (con la misma calibración y condiciones en el análisis de las muestras), para lo cual se calculó el área de cada pico que aparece en el espectro y se dividió por el del elemento mayoritario, el Ca, de este modo se pudo realizar un análisis comparativo entre los distintos elementos.

Con el propósito de establecer las condiciones más apropiadas para el análisis se llevaron a cabo una serie de pruebas, obteniendo así dos condiciones (Figura 2), complementarias entre sí, cuyas características son:

Condición A: Voltaje 25 KV; Intensidad 55 μ A; Tiempo de adquisición 240 s.

Condición B: Voltaje 30 KV; Intensidad 100 μ A; Tiempo de adquisición 400 s; filtro de Al de 1 mm de espesor.

El filtro de Al permite eliminar las líneas características del Wolframio generadas por el ánodo del tubo de rayos X. En la Figura 2 se muestran las diferencias entre ambas condiciones. Se ha utilizado una escala logarítmica ya que permitía comparar mejor ambos espectros.

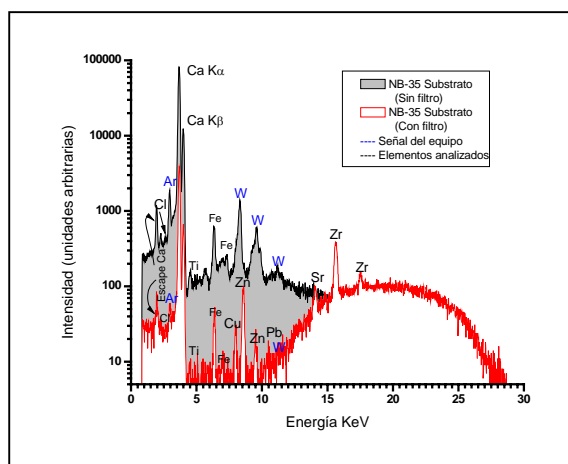


Figura 2. Espectro condición A (gris). Espectro condición B (rojo)

Comparando ambas condiciones se advierte que la condición A ofrece una mayor resolución en los elementos como Si, Cl y K; pero la existencia de las líneas espectrales del W hace que se enmascare la presencia de elementos que se detectan claramente con la condición B como son el Cu, el Zn, el Pb, el Sr y el Zr.

El Fe, el Mn y el Ti se detectan bien en ambas condiciones; sin embargo, elementos como el Mg y el Al que han sido detectados con otras técnicas, no se distinguen claramente.

Otro punto a destacar es el solape que se produce entre los picos de escape de las líneas $K\alpha$ y $K\beta$ del Ca, y las líneas $K\alpha$ del P y del S. Estos picos de escape se producen porque el Ca se encuentra en muy elevadas proporciones. En este tipo de muestras esto es un punto importante a tener en cuenta porque parte de su composición suele ser yeso ($\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y fosfatos sobre una base de piedra caliza. En las Tablas 1 y 2 se muestran los resultados obtenidos en el análisis semicuantitativo llevado a cabo en este trabajo.

Tabla 1. Resultados sin filtro de Aluminio

Resultados sin filtro de Aluminio											
Elementos \ Muestras	Si/Ca	P/Ca	S/Ca	Cl/Ca	K/Ca	Ti/Ca	Mn/Ca	Fe/Ca	Ni/Ca	Pb/Ca	Sr/Ca
NB-35 Substrato	0,00033	0,00023	0,00057	0,00077	0,00373	0,00082		0,00659			
NB-1	0,00189	0,00608	0,00283	0,00052	0,02093	0,00345	0,00689	0,12307	0,00233	0,00161	0,00163
NB-11	0,00352	0,00745	0,00569	0,00071	0,02678	0,00483	0,00388	0,10443	0,00148	0,00137	0,00400
NB-25	0,00395	0,00587	0,00382	0,00189	0,02919	0,00648	0,00775	0,19863	0,00069	0,00451	0,00265
NB-31	0,00220	0,00833	0,00518	0,00688	0,02655	0,00415	0,00892	0,12660	0,00222	0,00420	0,00177
NB-35	0,00283	0,00826	0,00334	0,00290	0,02345	0,00613	0,00542	0,13797		0,00195	0,00174

Tabla 2. Resultados con filtro de Aluminio.

Resultados con filtro de Aluminio									
Elementos \ Muestras	K/Ca	Ti/Ca	Mn/Ca	Fe/Ca	Cu/Ca	Zn/Ca	Pb/Ca	Sr/Ca	Zr/Ca
NB-35 Substrato				0,01284	0,00731	0,03041		0,02464	0,14435
NB-1	0,01641	0,00484	0,01000	0,21849	0,01059	0,10552	0,07381	0,16880	0,21888
NB-11	0,02070	0,00591	0,00671	0,19139	0,01500	0,07788	0,08394	0,42345	0,23026
NB-25	0,02169	0,00697	0,01734	0,43347	0,01148	0,13386	0,25061	0,32938	0,26352
NB-31	0,02048	0,00421	0,01262	0,27303	0,01098	0,13386	0,24032	0,21073	0,26338
NB-35	0,01541	0,00876	0,00883	0,25614	0,01141	0,09117	0,10679	0,23598	0,24589

La conclusión es que esta técnica es muy útil para el análisis de este tipo de recubrimiento, dado que permite un análisis puntual, rápido y no destructivo; es posible también diferenciar in situ diferentes pátinas, y realizar en el monumento un muestreo más selectivo reduciendo así desde el inicio el número de muestras. A pesar de los problemas que existen en la identificación del P y del S, los cuales se podrían intentar resolver mejorando las condiciones analíticas, la técnica permite realizar una rápida identificación de las pátinas en base a otros elementos que se encuentran en menor proporción. Por último, se recomienda utilizar en cada medida las dos condiciones analíticas citadas anteriormente para obtener una buena caracterización de este tipo de muestras.

Agradecimientos

Trabajo financiado por los proyectos (BIA2003-0473 y BFM 02002-01313) y por una beca CSIC Predoctoral Focalizada I3P de uno de los autores.

Bibliografía

Álvarez de Buergo, M., Fort González, R. et al. (2002). Analysis of the ochre patina on the limestone of Palacio de Nuevo Baztán, Madrid, Spain. *Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities*. Lisse, Swets & Zeitlinger.

Álvarez de Buergo, M. y Fort González, R. (2003). Protective patinas applied on stony facades of historical buildings in the past. *Construction and Building Materials* 17(2): 83-89.

Van Grieken, R.E. y Markowicz, A.A. (1993). *Handbook of X-Ray Spectrometry Methods and Techniques* Marcel Dekker.

Medida de carga en la línea de haz externo del CNA

B. Gómez Tubío,* M.A. Ontalba Salamanca**, I.Ortega Feliu*** y M.A. Respaldiza***

* Dpto. Física Aplicada III, E.S. Ingenieros, Universidad de Sevilla, Camino de los Descubrimientos s/n, 41092-Sevilla. E-mail: tubio@us.es

**Dpto. Física, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura, Avda. de la Universidad s/n, 10071-Cáceres

*** Centro Nacional de Aceleradores, Universidad de Sevilla, Avda. Thomas A. Edison s/n, 41092-Sevilla

El análisis de materiales mediante técnicas IBA, basadas en el uso de haces de iones procedentes de un acelerador de partículas, utilizando un haz externo ofrece un gran número de ventajas frente al uso de las cámaras de vacío convencionales (Ontalba Salamanca et al. 2001). El que no haya límite de tamaño para el objeto a estudiar y el menor riesgo de daño son unas de las más importantes, especialmente dentro del campo del Arte y la Arqueometría donde la extracción de muestras y la alteración de los objetos deben ser evitadas. No obstante, el uso de un haz externo impide la medida directa de la carga acumulada sobre la zona de análisis, magnitud que es necesaria para la adecuada cuantificación de los elementos presentes en el objeto analizado, especialmente cuando en ellos haya presentes elementos ligeros no identificados (cerámicas, sedimentos, vidrios, etc.)

En este trabajo presentamos el método desarrollado para la medida de la carga en la línea de haz externo del acelerador Pelletron de 3 MV del Centro Nacional de Aceleradores (CNA).

El extremo la línea de análisis termina en una delgada ventana de aluminio de 8 μm de espesor, la cual es atravesada por un haz protones de 2 MeV de energía procedentes del acelerador para realizar el análisis de la muestra mediante la técnica PIXE (Van Grieken y Markowicz 1993): los protones inciden sobre la muestra objeto de estudio produciéndose la emisión de los rayos X de los elementos presentes en ella, y que son recogidos por los correspondientes detectores. En nuestro caso empleamos dos detectores, Si(Li) y LEGE, situados a ambos lados del haz y formando un ángulo de 45° respecto al mismo (plano horizontal).

Cuando el haz de protones atraviesa la ventana de Al, se produce la emisión de rayos X de Al, los cuales se recogen en un detector Si-PIN de Amptek situado en la parte inferior de la ventana (figura 1), hecho que es favorecido por la disposición oblicua de la ventana. La recogida de este espectro de Al junto con la medida de la carga a través de una taza de Faraday situada a la distancia de análisis de las muestras, 10 mm en nuestro caso, permite la realización de una calibración carga incidente-área del Al.

De esta forma, cuando se procede al análisis del objeto de interés, se reemplaza la taza de Faraday por él situándolo a la misma distancia y manteniendo idénticas condiciones experimentales (energía del haz y disposición del detector Si-PIN). La carga acumulada sobre la muestra se obtiene a partir de la calibración realizada anteriormente, sin más que considerar el área del Al en el espectro del detector Si-PIN.

Durante la irradiación de la muestra, los dos detectores Si(Li) y LEGe registran los espectros de rayos X procedentes de la muestra. La cuantificación de los elementos presentes en la muestra se realiza utilizando el programa GUPIX (Campbell et al. 2000) introduciendo el valor de la carga calculada. Dado que la muestra a analizar podría contener Al, se ha situado para el detector de calibración un colimador oblicuo que impide que esos rayos X de la muestra penetren en él.

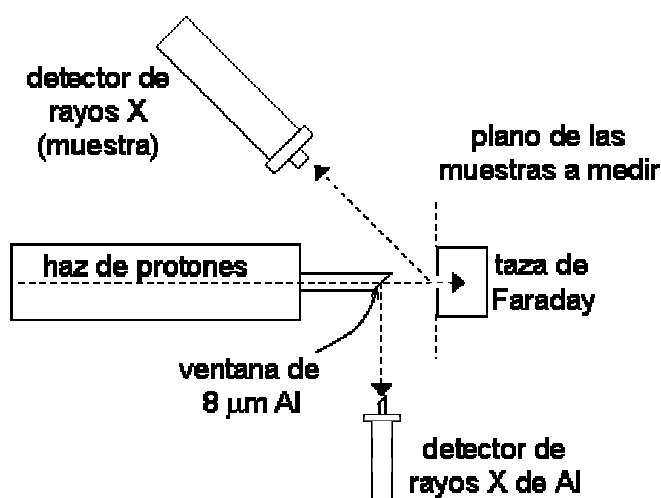


Figura 1: Esquema del dispositivo experimental

El funcionamiento del método ha sido verificado mediante el análisis de patrones certificados de sedimentos (National Institute of Standard and Technology SRM2710, SRM2711 y SRM2704).

Trabajo financiado por el proyecto BFM 02002-01313.

Bibliografía

- Campbell, J.L., Hopman, T.L., Maxwell, J.A. y Nejedly, Z. (2000). The Guelph PIXE software package III: Alternative proton database. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B170*: 193-204.
- Ontalba Salamanca, M.Á., Ager, F.J., Ynsa, M.D., Gómez-Tubío, B.M., Respaldiza, M.Á., García, J., Fernández, F., de la Bandera, M.L. y Grime, G.W. (2001). External microbeam setup at the CNA (Sevilla) and its application to the study of Tartessian jewellery. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B181*: 664-669.
- Van Grieken, R.E. y Markowicz, A.A. (1993). *Handbook of X-Ray Spectrometry Methods and Techniques*. New York, Marcel Dekker.

Estudio textural de una serie de piezas cerámicas vidriadas de interés arqueológico

J. J. Benítez, A. Ruiz-Conde y P. J. Sánchez-Soto

Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (ICMS), Centro Mixto CSIC-US, c/Américo Vespucio s/n, Parque Científico y Tecnológico Cartuja'93, Isla de la Cartuja, 41092-Sevilla

Con la aplicación de la microscopía de fuerzas atómicas (Atomic Force Microscopy, AFM), es posible caracterizar superficies de materiales de modo topográfico con resoluciones similares o incluso superiores a la que aporta la microscopía electrónica de barrido. La técnica AFM aporta, además, la medida real de dimensiones en el espacio XYZ. Sobre todo, destaca la capacidad de análisis por AFM de muestras no compatibles con el ultra-alto vacío que es necesario en las técnicas de microscopía electrónica convencional. Mediante AFM existe también la posibilidad de realizar análisis en medios controlados, líquidos o gaseosos, con vistas a investigar los procesos de deterioro y/o corrosión de materiales. Asimismo, también son ventajosas la realización de medidas sin tener que metalizar previamente las muestras ni someter a cortes y/o mecanizado, o bien extraer micromuestras representativas, lo que a veces es importante si se trata de estudiar materiales de alto valor, irremplazables o únicos, como es el caso de las muestras del Patrimonio Histórico y Cultural. Con estas ventajas, la microscopía AFM se ha venido empleando en los últimos años como herramienta en la caracterización y análisis textural de materiales.

El objeto de esta investigación es el estudio textural de una serie de piezas cerámicas vidriadas de interés arqueológico suministradas a nuestro laboratorio. Se trata de materiales constituyentes de restos cerámicos encontrados en excavaciones realizadas en los Reales Alcázares de Sevilla (monumento declarado por la UNESCO Bien del Patrimonio de la Humanidad) y que corresponden a época medieval almohade y almorávide de Al-Andalus (S. XI y XII).

Las técnicas utilizadas han sido las siguientes: Microscopía electrónica de barrido (MEB), espectroscopía dispersiva de rayos X (EDX), difracción y Fluorescencia de rayos X (DRX y FRX), principalmente. Para una caracterización textural, mineralógica y estructural se empleó la microscopía óptica petrográfica. La microscopía de fuerzas atómicas (AFM) se utilizó para realizar un estudio textural y topográfico de estos materiales. Con las técnicas anteriores, se han analizado las pastas cerámicas, los vidriados, pigmentos y engobes que forman parte de una serie de fragmentos cerámicos. Los materiales estudiados se han clasificado en siete grupos de muestras: verde manganeso (6 muestras), cuerda seca (7 muestras), pigmentadas en rojo (7 muestras), pigmentadas en blanco (3 muestras), pigmentadas en negro (3 muestras), vidriados de mesa (8 muestras) y vidriados de cocina (3 muestras). Algunos de ellos se han seleccionado para realizar el estudio textural objeto de la presente comunicación.

Los resultados obtenidos han permitido establecer diversas conclusiones generales. Entre ellas, la diferenciación de estos materiales en distintos grupos atendiendo a su composición, textura, microestructura y características topográficas de cada uno de los elementos, así como una serie de subgrupos interrelacionados. Resulta de interés comparar esta clasificación con las realizadas anteriormente atendiendo únicamente a su catalogación ceramológica, contrastando sus coincidencias y diferencias.

Entre los resultados de mayor relevancia sobre la variedad de texturas obtenidas, destacan los obtenidos a partir del estudio textural de fragmentos de cerámicas arqueológicas policromáticas, que presentan distintas zonas pigmentadas. La microscopía AFM, como nueva metodología no destructiva aplicada en este tipo de estudios, permite apreciar diferencias relativas importantes en cuanto a características topográficas, relacionadas con la presencia de los distintos pigmentos y el proceso de manufactura. Con independencia de otras características, se ha logrado clasificar a estas muestras en función del parámetro de *rugosidad*, dado en nanómetros, parámetro que es de especial interés en la evaluación de la calidad del vidriado o, en su defecto, del proceso de avance del deterioro de éste.

En líneas generales, la realización de esta investigación ha permitido apreciar el aporte de materias primas de diferentes características para la fabricación de cerámica musulmana de los siglos XI-XII, con o sin adición de diversos desgrasantes, según la aplicación de las cerámicas con vidriados o engobes. Mediante la técnica de AFM empleada para el estudio textural de estos materiales, se han acusado diferencias topográficas significativas entre muestras con distintas zonas pigmentadas.

Se destaca que este tipo de estudios resultan ser de gran interés para profundizar en el conocimiento del Patrimonio Histórico y Cultural. Asimismo, con un posterior desarrollo de estas investigaciones mediante la aplicación de la técnica AFM, se pretende obtener información sobre propiedades mecánicas y microdureza, que pueden ser de utilidad en el estudio y análisis de estos materiales cerámicos vidriados.

Agradecimientos

Se agradece la financiación concedida al proyecto de investigación de referencia MAT2002-02549, mencionando que parte de esta financiación procede de Feder, así como el apoyo económico de la Junta de Andalucía a sus grupos de investigación y desarrollo tecnológico, dentro del III Plan Andaluz de Investigación (Grupo TEP 204). Asimismo, los autores quieren expresar su agradecimiento a la Lda. M^a. E. Enrique Magariño por las muestras recibidas para su estudio.

Proceso de restauración de una pintura mural de San Cristobal, siglo XVII, en el convento de Santa Paula (Sevilla)

M. Arjonilla,^{*} M. González,^{**} J. M^a Calderón,^{**} E. Jiménez,^{***} A. Ruiz-Conde^{***} y P. J. Sánchez-Soto^{***}

^{*} Departamento de Pintura, Facultad de Bellas Artes, Universidad de Sevilla

^{**} Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Bellas Artes de Andalucía

^{***} Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, Centro Mixto Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)-Universidad de Sevilla (US), c/Américo Vespucio s/n, Parque Científico y Tecnológico Cartuja'93, Isla de la Cartuja, 41092-Sevilla

En el Convento de Santa Paula (Sevilla), se encuentra una pintura mural de San Cristóbal realizada al óleo. Se trata de una pintura de autor desconocido, datada en la primera mitad del Siglo XVII y que está a la espera de un estudio cronológico y estilístico a fondo. Esta pintura mural de San Cristóbal guarda cierta semejanza con otra pintura mural sobre el mismo santo que se encuentra en la Catedral de Sevilla, obra de Pérez de Alesio y fechada en 1548. Se conoce que el pintor Francisco Pacheco tenía en su taller varias estampas con el modelo de Pérez de Alesio y no sería de extrañar que en este círculo se encontrase el autor de esta nueva composición de San Cristóbal de la iglesia conventual de Santa Paula.

Debido al lamentable estado de conservación en que se encontraba dicha pintura, se inició un proyecto para su restauración con financiación de la Fundación Real Maestranza de Caballería de Sevilla y la colaboración de profesionales de Bellas Artes y de Ciencia y Tecnología de Materiales.

La pintura mural de San Cristóbal es de un tamaño superior a cinco metros y se localiza a los pies de la iglesia conventual, sobre un muro con notable humedad hasta hace pocos años, ya que se trató de eliminar a finales de la década de los noventa del pasado siglo. La humedad afectó a la obra que perdió cromatismo y dió lugar a la formación de un halo blanquecino, con origen en la migración de sales disueltas. El muro donde se encuentra también estaba afectado por agujeros, golpes y rozaduras, además de una gruesa capa de suciedad y pérdida de mortero.

Como fase inicial de la restauración, se aplicó un tratamiento preventivo de urgencia que frenase el avance de las pérdidas, lo que habría producido una casi imposible recuperación de zonas vitales de la composición. Se procedió, por tanto, a una fijación de los distintos estratos pictóricos al muro y a una labor de limpieza superficial y eliminación de repintes, lagunas y falsos morteros. Posteriormente, se llevó a cabo una minuciosa reintegración cromática y restauración que ha durado casi un año.

Asimismo, se ha llevado a cabo un estudio científico de una serie de micromuestras tomadas directamente de esta pintura mural, lo que ha llevado asociado la preparación de estratigrafías siguiendo una metodología habitual en este tipo de estudios. Las preparaciones se examinaron por distintas técnicas, como son la microscopía de luz reflejada, microscopía electrónica de barrido y microanálisis por espectroscopía de energías dispersivas de rayos X para determinar los elementos químicos presentes que caracterizan a las muestras estudiadas. Además, algunas muestras se han logrado estudiar por difracción de rayos X para análisis e identificación de fases cristalinas.

Los resultados obtenidos han permitido comprobar la presencia de diversos pigmentos utilizados en la preparación de los distintos colores de esta pintura mural al óleo, así como obtener algunas conclusiones sobre los materiales y técnicas empleadas que han sido de interés para los restauradores, tanto a nivel de conocimiento básico como aplicado. En la presente comunicación se presentan y discuten las distintas fases de las que ha constado el proceso de restauración de esta pintura mural de San Cristóbal que hoy puede admirarse, ya una vez restaurada, en el convento de Santa Paula de Sevilla.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo económico recibido por la Real Maestranza de Caballería de Sevilla para la realización de todas las fases de restauración de la pintura mural, así como por la financiación recibida al Proyecto MAT2002-02549, mencionando que parte de la misma procede de Feder, y al Grupo TEP 204 del III Plan Andaluz de Investigación, que han facilitado investigaciones posteriores sobre muestras de esta pintura mural.

Sevilla, 16 de diciembre de 2004

**Avda. Thomas A. Edison s/n
Parque tecnológico Cartuja 93
41092 Sevilla**