

Ge-conservación

Conservação | Conservation



Dirección Editorial:	Emma García Alonso
Consejo de Redacción:	Ana Bailão, Rocío Bruquetas Galán, Emilio Cano Díaz, Ana Carrassón, António João Cruz, Rafael Fort González, Laura Fuster López, Silvia García Fernández-Villa, Marisa Gómez González, Ana Laborde Marqueze, Alfonso Muñoz Cosme
Secretaria de Edición:	Mª Concepción de Frutos Sanz
Maquetación:	Mª Concepción de Frutos Sanz
Traducción portugués:	Ana Bailão
Imagen portada:	Tabla experimental con 63 pigmentos relevantes en la historia de la pintura hasta el siglo XX, usados para su documentación registro en diversas bandas del espectro. Fotografía: Marta Raïch, CAEM (Universitat de Lleida).

ISSN: 1989-8568



Esta publicación utiliza una licencia Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/).

Se permite compartir, copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra con el reconocimiento expreso de su autoría y procedencia.

No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.

Esta revista utiliza Open Journal Systems, software libre de gestión y publicación de revistas desarrollando, soportado y libremente distribuido por el Public Knowledge Project bajo Licencia Pública General GNU.



Ge-conservación no se responsabiliza de la información contenida en los artículos ni se identifica necesariamente con ellas.

© La propiedad intelectual de los artículos pertenece a los autores, y los derechos de edición y publicación de este número son de Ge-conservación.

Rogamos que en la difusión libre de los contenidos queden patentes los créditos de los autores y la procedencia.

El Grupo Español de Conservación es una asociación independiente afiliada a *The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*, inscrita en el Registro Nacional de Asociaciones, Sección 1ª, Nº 160.299. Sede: I.P.C.E. C/Greco, 4 28040 Madrid. Asociación Declarada de Utilidad Pública por Orden del Ministerio del Interior 3404/2009 (BOE 18-12-2009).

Ge-conservación
Conservação|Conservation

www.revista.ge-iic.com

E-mail: revista@ge-iic.org

www.ge-iic.com

E-mail: secretaria@ge-iic.org

Revista indexada en:



Índice

Artículos	Páginas
<i>Ampliación del estudio de la técnica del dorado marmolado. Aportaciones derivadas de nuevos casos</i> Bárbara Hasbach Lugo, Teresa Gómez Espinosa	6
<i>Carmen Miranda, un icono de la moda del siglo XX. Estudio de materiales para la conservación preventiva de lentejuelas de uno de los turbantes de frutas de la colección del Museo Carmen Miranda (Rio de Janeiro, Brasil)</i> Marina Herriges, Dolores Julia Yusá Marco, Sofía Vicente Palomino	19
<i>Evaluación de aglutinantes vegetales en pastas de caña de maíz para reintegración volumétrica de soportes leñosos</i> Valle Blasco-Pérez, Yazmin del Carmen Fraga Valero	36
<i>La retícula de Kevlar® 49 como sistema de refuerzo en el tratamiento de rasgados en la conservación curativa de pintura sobre lienzo</i> Daniel Morales-Martín, Luis Rodrigo Rodríguez Simón	47
<i>Caracterización de pigmentos históricos a través de técnicas de imagen, en diversas bandas del espectro electromagnético</i> Miquel Àngel Herrero-Cortell, Marta Raich, Paola Artoni, José Antonio Madrid	58
<i>Selección de productos consolidantes. Ensayos y estudios para la cohesión del soporte del abrigo de Los Toros del Prado del Navazo (Albarracín, Teruel)</i> Claudia Serrano Aranda, María Antonia Zalbidea Muñoz, Manuel Bea Martínez	76
<i>Coberturas de yacimientos a ras de suelo en el ámbito español. Clasificación tipológica y análisis de protección efectiva</i> M. Ordóñez-Martín, J.C. Gómez de Cózar, R. M ^a . Benítez Bodes	90
<i>Metodología de tratamiento del soporte de la fuente escultórica de la plaza Weyler (Santa Cruz de Tenerife)</i> Juan Antonio Álvarez Rodríguez, Fernanda Guitián Garre, Antonio J. Sánchez-Fernández	107
<i>El Maestro de Robredo y Jorge Inglés: analogías formales y técnicas</i> Sonia Santos Gómez, Semih T. Tunca	116
<i>Reusing maintenance monitoring data on preventive conservation</i> María de la Paz Diulio, Pilar Mercader-Moyano, Analía Gómez	130
<i>Estudio técnico y propuesta de intervención conservativa del bordado chino de Chaozhou, “Cien Pájaros adorando al Fénix (百鳥朝鳳)”</i> Thainá Vígio Ribeiro, Sofía Vicente Palomino	139
<i>The corrosion characteristics and electrochemical conservation treatment for an archaeological lead ossuary from Jordan</i> Ahmad N. Abu-Baker	154

Artículos

Ampliación del estudio de la técnica del dorado marmolado. Aportaciones derivadas de nuevos casos

Bárbara Hasbach Lugo, Teresa Gómez Espinosa

Resumen: Se presentan los nuevos ejemplos de retablos con dorados marmolados descubiertos desde 2017, un total de diecisiete. Si bien la técnica se repite con las variantes ya conocidas, hay que destacar los notables cambios de cronología derivados del conocimiento de las nuevas obras, se amplía el margen de tiempo de utilización del dorado marmolado adelantando su inicio sesenta y cuatro años, coincidiendo con la consolidación del retablo plenamente barroco y retrasando su final más de veinte respecto a lo que se había documentado en la primera fase de este estudio. Así mismo se ha descubierto que esta técnica no solo se utilizó en retablos sino también en marcos y elementos arquitectónicos.

Palabras clave: marmolado, dorado, vetas, retablos, barroco

Expansion of the study of the technique of gilded marbled imitation. Contributions derived from new cases

Abstract: Presented here are a total of seventeen new examples of altarpieces with gilded marbles imitation discovered since 2017. Although the techniques are similar to the known variations, the existence of these new works is notable in that they expand the timeline for the imitation of marbled gold, beginning now sixty-four years earlier than previously believed, coinciding with the consolidation of the fully baroque altarpiece, and ending twenty years later than what had been documented in the first phase of this study. Additionally, it has been discovered that this technique was not only used in altarpieces, but in frames and architectural elements as well.

Keywords: marbled imitation, gilding, veins, altarpieces, barroque

Ampliación del estudio de la técnica del dorado marmolado. Aportaciones derivadas de nuevos casos

Resumo: Apresentamos os novos exemplos de retábulos com marmoreados dourados descobertos desde 2017, num total de dezassete. Embora a técnica se repita com as variantes já conhecidas, vale a pena destacar as notáveis alterações na cronologia derivadas do conhecimento das novas obras, o intervalo de tempo de utilização do marmoreado dourado é alargado, antecipando o seu início sessenta e quatro anos, coincidindo com a consolidação do retábulo totalmente barroco e atrasando o seu fim em mais de vinte anos em relação ao que tinha sido documentado na primeira fase deste estudo. Descobriu-se também que esta técnica não era apenas utilizada em retábulos, mas também em molduras e elementos arquitectónicos.

Palavras-chave: marmoreado, douramento, veios, retábulos

Introducción

En 2017 se presentaron en esta misma Revista las conclusiones del estudio realizado acerca de una novedosa técnica de dorado en los retablos barrocos, a la que denominamos dorado marmolado^[1]. A partir de entonces se ha continuado con la investigación buscando e identificando nuevos ejemplos con presencia de dicha técnica. Desde el inicio del trabajo en el año 2004, durante la restauración del retablo mayor de la iglesia parroquial de Meco (Madrid), primer ejemplo detectado por las autoras, hasta hoy se han podido localizar un total de veinticuatro retablos (once de ellos retablos mayores), a los que se suman otros objetos enriquecidos con dorados marmolados.

Estalargaandadurahadadonuevosfrutosconelconocimiento de diecisiete retablos más que presentan esta peculiar técnica en las mazonerías doradas y que nos han proporcionado datos desconocidos hasta ahora. Entre estos últimos, cabe destacar el de la capilla del Descendimiento de la catedral de Segovia, obra de 1664 dorada en 1668, porque es el que nos permite ampliar el margen de acotación cronológica de utilización de este acabado en el dorado. Anteriormente situábamos la cronología entre 1732 y 1771, asociada sólo al estilo Rococó o Chinesco, sin embargo y con los nuevos hallazgos se amplía el periodo de uso de esta técnica entre los años 1668 y 1790. En este último año se doraron los retablos de la parroquia de Cubillejo del Sitio (Guadalajara) y se redoró otro de la capital segoviana, el mayor de la iglesia de San Andrés, el de fecha más tardía entre los documentados. Por tanto, se adelanta notablemente la cronología a fechas finales del tercio central del siglo XVII, cuando ya se había relegado el clasicismo en los retablos a favor de una dinamización y un recargamiento propios del pleno barroco. Y se pone de manifiesto que siguió utilizándose en el periodo en que imperó el estilo Churrigueresco hasta llegar al Rococó y aún trascender hasta los albores del Neoclasicismo, cuando ya se empleaban en los retablos verdaderos mármoles sustituyendo a la madera dorada que había predominado desde el Gótico [Figura 1].

Como ya se dijo en el trabajo anterior, teniendo en cuenta la peculiaridad de esta técnica y las consecuencias negativas de su desconocimiento en la conservación de la misma, cabe suponer que el uso del dorado marmolado debió estar más extendido de lo que actualmente se ha podido constatar a través de las obras conservadas. Se puede confundir esta técnica con un mal estado de conservación del oro o con errores técnicos en su aplicación y en el caso de los dorados rotos, o de la sutileza de muchos veteados se corre el riesgo de eliminar las veladuras en procesos de limpieza o de reintegración inadecuados.

La posibilidad de que el dorador Próspero Mortola, originario de Cádiz y de padre genovés, hubiera podido ser el introductor de los dorados marmolados ya no es plausible una vez documentadas las fechas de inicio de esta técnica. El ejemplar de la catedral de Segovia de fecha más temprana coincide con el momento de plenitud del conocido como barroco castizo, caracterizado por una tipología de



Figura 1.- Retablo del Descendimiento. Catedral de Segovia. Ejemplar más temprano detectado, 1668. (Foto T. Gómez)

retablo que supera las líneas puristas del clasicismo del primer tercio del siglo XVII. La barroquización prosiguió a través de las aportaciones de los artistas que trabajaron en torno a la Corte en Madrid y de las innovaciones que presentaban los tratados de arquitectura y pintura a los que recurrían los tracistas de retablos. Algunos de estos tratados ya eran conocidos desde el siglo XVI, aunque en España se difundieron posteriormente, como el de Palladio, otros son de fechas avanzadas del siglo XVII, como los de fray Juan Rizi (1663) y Juan Caramuel (1678). Este estilo barroco culminó con la obra de los hermanos Churriguera a finales de la decimoséptima centuria. Entre los artistas destacados del tercio central del siglo se encuentra Pedro de la Torre, arquitecto y escultor, pionero en la introducción de las columnas salomónicas en el retablo madrileño. En el importante taller de los de la Torre en Madrid practicaron sus oficios varios miembros de la familia y fue un activo centro de formación de otros maestros que colaboraron en la difusión de este estilo; entre los artistas segovianos relacionados con este taller se encuentra Juan de Ferreras. Pedro de la Torre, en sociedad con el Hermano Bautista, es el autor de un importante retablo en Segovia, el retablo de La Fuencisla, un referente de su estilo. En esta tipología de retablos se emplea el dorado bruñido en las arquitecturas enriqueciéndolo y contrastándolo con las finas y espléndidas labores policromas estofadas que iluminan las abultadas labores de talla, como puede verse en el retablo de la capilla

del Descendimiento de la catedral de Segovia. Sin embargo, no se ha localizado ningún retablo contratado por este taller en el que se haya usado el dorado marmolado. En algunos de estos retablos se introdujeron, marginalmente, la imitación de jaspes y mármoles, aunque estas decoraciones adquirieron su mayor desarrollo ya en el siglo XVIII.

Las características que se repiten en los marmolados sobre el oro indican que debió haber unas preferencias al imitar el veteado de los mármoles y que recurrirían a modelos naturales. Este material pétreo ofrece un rico y extenso compendio de texturas y variedades cromáticas, en los dorados marmolados se pretende reproducir algunas de éstas. El oro sobre el que se realizan los marmolados remite a buscar mármoles en la gama del amarillo que presenten veteados similares a los encontrados. En la Península Ibérica abundan las canteras de mármol, entre las que son célebres las de Macael, en Almería, como se ha documentado históricamente. Entre las variedades que ofrecen estas canteras encontramos algunas que muestran claras analogías con lo que se imita en estos retablos, son el amarillo Índalo, el amarillo Triana, el amarillo Macael Río, el amarillo Sierra y el amarillo Alhambra, procedentes de Cóbda y de Olula del Río, todos ellos similares, aunque se comercializan con estos nombres diferentes [Figura 2]. El amarillo Índalo, dolomítico con vetas de calcita, tiene vetas marrones y rojizas irregulares. El mármol amarillo Triana presenta vetas grisáceas y ocre, además de la particularidad de contener fósiles que forman caprichosos dibujos, a lo que se suma una estética cálida. El pan de oro roto intencionadamente consigue precisamente imitar el aspecto de los fósiles mencionados. Las vetas rojizas y negras se encuentran con frecuencia también en otras variedades de mármoles, bien como vetas lineales o bien irregulares, del tipo de estas últimas lo encontramos, por poner un ejemplo, en el conocido hoy como crema Valencia.

Atendiendo a la distribución geográfica de los retablos localizados se pone de manifiesto que en el caso de los españoles la mayoría se hallan situados en la mitad norte de la península, salvo en los ejemplos de Coria y de las provincias de Cádiz y Sevilla, lo que es un dato significativo, aunque a la luz de las nuevas identificaciones aquí aportadas



Figura 2.- Mármol Torre Triana, Sevilla. (Foto J. G. de Llarena)

no se puede descartar su uso en otras zonas. El retablo barroco castizo madrileño se difundió por las regiones de los alrededores, sobre todo en Castilla, La Mancha y Extremadura, por lo que los ejemplos mencionados de la provincia de Cáceres se encuentran dentro de las áreas de difusión de las novedades barrocas cortesanas, pero no es el caso de los encontrados en Andalucía. El retablo de la capilla de Sant Bartolomeu, que es uno de los ejemplos de fecha más temprana, también se encuentra fuera del área de influencia de Madrid. Durante esta nueva fase de la investigación se han revisado numerosas iglesias en las ciudades de Madrid, Valladolid, Ávila, Sevilla y Cádiz y no se ha detectado ningún caso. Los ejemplares hallados en México corresponden a un estilo plenamente barroquista, difundido desde España y que gozó allí de gran aceptación y desarrollo. Se hallan ubicados en la zona central del país en los estados de Guerrero, Ciudad de México y Morelos, pero es muy posible que haya más ejemplos. Y cabe añadir aquí que a pesar de que se han revisado diversos retablos barrocos ecuatorianos, peruanos, colombianos y bolivianos, por el momento, no se ha podido encontrar ningún ejemplo con dorados marmolados.

Retablos localizados con dorados marmolados

A continuación, se relacionan por orden cronológico todos los retablos detectados hasta ahora que cuentan con el denominador común de esta técnica [Tabla 1].

Todos los retablos objeto de este trabajo muestran las características comunes que definen los dorados marmolados, tales como los veteados de diferente morfología que dejan el bol rojo al descubierto creando desde vetas o venas lineales a irregulares o ramificadas de diferentes tamaños (retablos de la capilla del Descendimiento, de San Fernando y de la capilla de San Blas en la catedral de Segovia, de la Sagrada Familia en la iglesia de San Andrés en Segovia, de la catedral en Jerez de la Frontera, del Cristo de la Salud en Morón de la Frontera o el de Las Vizcaínas de México) [Figura 3] hasta los que imitan grandes escurrientías (Alkiza, Azofra, Jonacatepec, Sant Cugat del Vallès, Jerez de la Frontera y el retablo del Cristo de la Salud moronense) [Figura 4].

Con frecuencia estas vetas presentan veladuras sobre ellas, encontrándose diferentes tonos e intensidades, así en los retablos de Entrena, Azofra, capilla del Descendimiento y Coria son intensas y en los de Jonacatepec, Cubillejo del Sitio, Jerez y Arcos de la Frontera son especialmente sutiles. Los tonos de estas veladuras van desde los rojizos y pardos hasta los ahumados [Figura 5]. Sólo se ha encontrado una excepción, el retablo de Limpías es el único sin veteado, sin embargo si presenta dorado roto, aunque realizado con menos minuciosidad que en otros ejemplares. Precisamente otra constante en estas obras es el dorado roto, que también juega con el contraste del bol - retablo mayor de San Andrés de Segovia, capilla del Descendimiento y capilla de San Blas de la catedral de Segovia - [Figura 6].

Tabla 1.- Retablos detectados hasta ahora que cuentan con el denominador común de esta técnica

LOCALIZACIÓN	UBICACIÓN	DATACIÓN	AUTORES
SEGOVIA. Catedral	Retablo de la Capilla del Descendimiento o del Sepulcro	Dorado: 1668 Retablo: 1664 ^[2] Cristo: 1628-31	Dorado: Alonso Callexa y Aragón ^[3] Retablo: --- Pinturas: Francisco Camilo
SANT CUGAT DEL VALLÈS, Barcelona. Iglesia del Monasterio de Sant Cugat	Retablo de la Capilla de Sant Bartolomeu	Dorado: --- Retablo: 1672	Dorado: --- Retablo: Atribuido al taller de Francesc Santacruz
ALBARRACÍN, Teruel. Catedral (Publicado)	Retablo Mayor	Redorado: 1680-81 Retablo: 1566-82	Dorado: Rillo Retablo: Cosme Damián Bas
SEGOVIA. Catedral	Retablo de la Capilla de San Blas	S. XVII finales	Dorado: --- Retablo: ---
SEGOVIA. Catedral	Retablo de San Fernando. Capilla del Sagrario o de los Ayala	Dorado: 1720 Retablo: 1686-1711 Tabernáculo: 1718 Dorado partes añadidas: 1762	Dorado: Pedro Gutiérrez Dorado y hechura del tabernáculo: Antonio Tomé Dorado añadido: Santiago Casas y Lorenzo Villa Retablo: José Churriguera y Juan de Ferreras
JEREZ DE LA FRONTERA, Cádiz. Catedral	Retablo del Seráfico San Francisco o de Ánimas	Dorado: --- Retablo: --- Relieve: 1730-40	Dorado: --- Retablo: Diego Roldán Relieve: Atribuido a Francisco Camacho de Mendoza
ÁVILA. Iglesia del Convento de San Antonio (Publicado)	Retablo de la Capilla de la Virgen de la Portería	Dorado: 1732 Retablo: ---	Dorado: Próspero Mortola Retablo: ---
ARCOS DE LA FRONTERA, Cádiz. Parroquia de San Pedro	Retablo Mayor. Capilla de los Ayllones	Dorado: --- Retablo: 1740	Dorado: --- Retablo: ---
MECO, Madrid. Parroquia de N ^a S ^a de la Asunción (Publicado)	Retablo Mayor	Dorado: 1742-43 Retablo: 1738-41 ^[4]	Dorado: Próspero Mortola Retablo: José Pérez
CORIA, Cáceres. Catedral.(Publicado)	Retablo Mayor	Dorado: 1748 Inscripciones en el dorado de las puertas del banco. <i>Este retablo se doró (izquierda). El año de 1748 (derecha).</i> Retablo: 1747	Dorado: Eugenio Jiménez Esculturas: Alejandro Carnicero Policromía esculturas: E. Pitis Retablo: Fray Juan de San Félix
TAXCO, Guerrero, México. Parroquia de Santa Prisca (Publicado)	Retablo de la Virgen del Pilar	Dorado: 1754-57 Retablo: 1752	Dorado: Silvestre Reynoso Retablo: Isidoro Vicente y Luis de Balbás
TAXCO, Guerrero, México. Parroquia de Santa Prisca (Publicado)	Retablo de San Juan Nepomuceno	Dorado: 1754-57 Retablo: 1752	Dorado: Silvestre Reynoso Retablo: Isidoro Vicente y Luis de Balbás
CIUDAD DE MÉXICO. Capilla del Colegio de las Vizcainas (San Ignacio de Loyola)	Retablo de la Virgen de los Dolores o de la Soledad	Dorado y retablo: 1768	Dorado y retablo: José Joaquín Sáyagos

AZOFRA, La Rioja Parroquia de Nª Sª de los Ángeles	Retablo Mayor	Reformado: 1769 Retablo: 1678	Redorado: Sebastián de Portu el joven? ^[5] Retablo: Pedro de Oquerruri
NÁJERA, La Rioja. Iglesia del Monasterio de Sta. María la Real (Publicado)	Retablo Mayor y colaterales	Dorado: 1770-1 Retablo: 1692 Policromía esculturas:1696	Dorado mazonería y relieves: José Benito Bravo Retablo: Francisco de la Cueva Escultor: Mateo Rubalcaba Pintor dorador esculturas: Francisco Ventura de Olivarrieta
ENTRENA, La Rioja. Parroquia de San Martín	Retablo Mayor	Dorado: 1771 Retablo: 1702-09	Dorado: Felipe Fernando Reoyo y Pedro Domínguez Retablo: José de San Juan y Martín, Juan de Peralta y Juan Zapater Martínez
LIMPIAS, Cantabria. Parroquia de San Pedro	Retablo Mayor	Dorado: --- Retablo: 1774-77	Dorado: Quizás Andrés de Vierna quien policromó el S. Pedro del s. XVII Retablo: ---
ALKIZA, Guipúzcoa. Parroquia de San Martín	Retablo Mayor	Dorado: 1778 (Inscripción en el libro de San Agustín) ^[6] Retablo: 1731	Dorado: José de Quintana, Pablo de Samaniego, Miguel de la Bodega, ¿Fernando Cavanzon? y Antonio del Campo. Retablo: Arq. Miguel de Irazusta Estofado: Manuel de Alquizaleta 1773
CORIA, Cáceres. Catedral	Retablo de San Pedro Mártir Capilla Dorada o de las Reliquias	Dorado: 1787 Retablo: 1783-7	Dorado: Santiago González, Manuel Piedra y José y Andrés de San Juan Retablo: Miguel Martínez ^[7]
CUBILLEJO DEL SITIO, Guadalajara. Parroquia de San Ildefonso	Retablo Mayor y colaterales	Dorado: 1789-90 ^[8] Retablo: 1780	Dorado: Pedro Domingo Hernández Retablo: Cristóbal Herber Traza: Ventura Rodríguez
SEGOVIA. Iglesia de San Andrés	Retablo Mayor	Redorado: 1790 ^[9] Dorado: 1617 Retablo: 1616	Redorado: Francisco Aguilera Dorado: Hernando de los Ríos y Miguel Vivero Retablo: Nazario de la Vega Pinturas: Alonso de Herrera Esculturas: Gregorio Fernández, Felipe de Aragón y Gaspar de Aldaba Pintura y estofado: Cristóbal Pedril
SEGOVIA. Iglesia de San Andrés	Retablo de la Sagrada Familia. Capilla del Cristo de la Paciencia o de Sebastián Bernal	Posiblemente redorado en 1790 como lo fue el retablo mayor. Retablo: 1572 Dorado: 1625-32	Dorado: --- Retablo: Nazario de la Vega
JONACATEPEC, Morelos, México. Iglesia de Santa Lucía	Retablo Mayor	Siglo XVIII	Dorado: --- Retablo: ---
MORÓN DE LA FRONTERA, Sevilla. Parroquia de San Miguel	Retablo de la Capilla del Cristo de la Salud	Siglo XVIII	Dorado: --- Retablo: ---



Figura 3.- Vetas o venas con bol rojo a la vista: a- Retablo de San Blas. Catedral Segovia b- Arcos de la Frontera (Fotos a- B. Hasbach b- J. G. de Llarena)



Figura 5.- Vetas con veladuras ahumadas: a- Retablo de San Pedro mártir. Catedral Coria b- Retablo Descendimiento. Catedral de Segovia. (Fotos a- J. G. de Llarena b- T. Gómez)

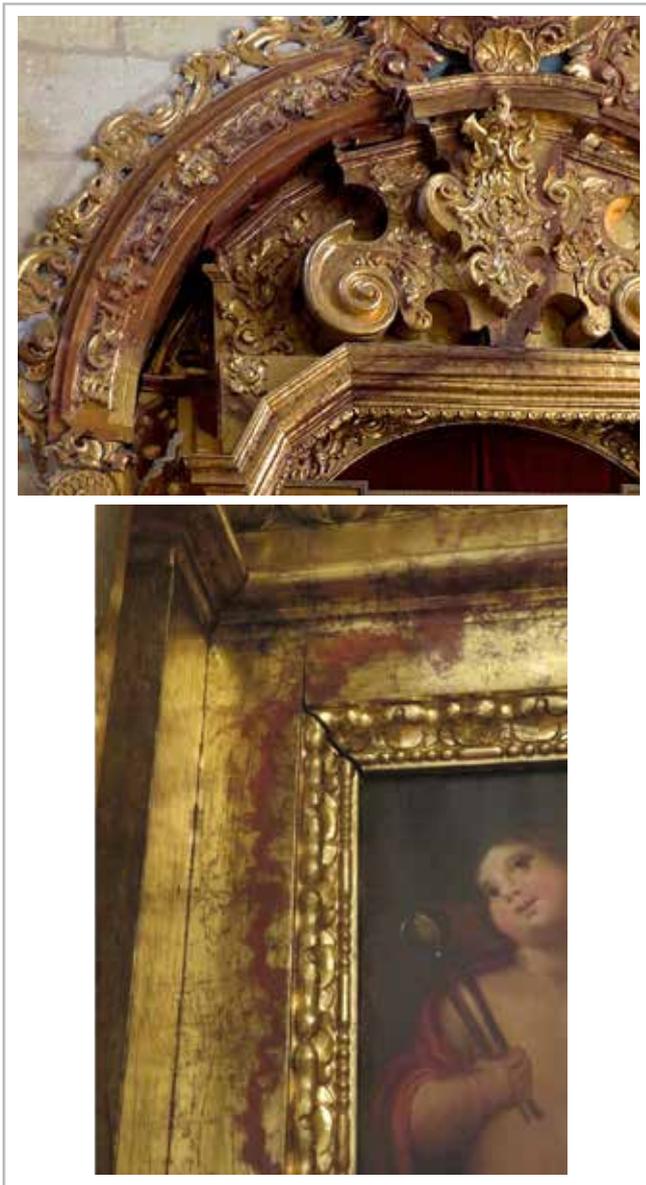


Figura 4.- Escorrenñas con bol rojo a la vista: a- Morón de la Frontera b- Retablo del Descendimiento. Catedral de Segovia (Fotos a- J. G. de Llarena b- T. Gómez)



Figura 6.- Dorado roto: a- Limpias b y c- Retablo mayor iglesia S. Andrés, Segovia. (Fotos a- J. G. de Llarena b y c- T. Gómez)

Una variante de esta técnica es la discontinuidad en el dorado a través de la aplicación de los panes de oro con una calculada separación entre ellos, en sentido horizontal, creando vibraciones en la superficie dorada de las zonas planas de la arquitectura, como se puede ver en Alkiza, en Entrena y en el retablo de San Fernando de la catedral de Segovia [Figura 7].



Figura 7.- Efectos vibrantes logrados al aplicar separados los panes de oro: a- Entrena b- Retablo S. Fernando. Catedral Segovia. (Fotos a- J.L. Birigay b- T. Gómez)

Por lo general, el acabado del dorado es bruñido, en algunos casos existe alternancia de dorado bruñido y mate, como en Alkiza, Limpias y Azofra, o alternancia de dorado bruñido y bronceado de color anaranjado cobrizo, como en el retablo de San Pedro Mártir de la catedral de Coria, donde se halla sobre los fondos de las decoraciones en relieve y en Cubillejo del Sitio, dispuesto sobre el dorado de la decoración incisa de flores, lazos y rocallas de las columnas y en el fondo de la profusión de motivos incisos de la mazonería que se enmarcan en cuadrángulos.

El pan de oro asienta sobre bol rojo, pero en varias ocasiones se ha detectado la presencia de bol amarillo debajo del rojo, así ocurre en los retablos de Alkiza, Meco, Nájera, Arcos de la Frontera y en el mayor de la catedral de Coria, o en los de Cubillejo del Sitio según se indica en el contrato, aunque no se puede descartar que haya en otros ejemplos a falta de una observación más cercana de cada uno de ellos.

La decoración de la mazonería marmolada a veces se complementa con distintas técnicas, tales como las decoraciones grabadas por medio de incisiones y punzonados o cincelados sobre el aparejo de yeso (retablo de San Blas en Segovia, Alkiza, Azofra, Entrena, Limpias, San Pedro Mártir de Coria, Cubillejo del Sitio, Jerez y Arcos de la Frontera) o estofados de rico cromatismo como ocurre en el retablo de la capilla del Descendimiento, donde cubren la totalidad de los elementos en relieve (ménsulas, tarjas, vegetales, capiteles y marcos de las pinturas) o en el fondo

del encasamento del ático del mayor de San Andrés y del ático y el tabernáculo del de San Fernando de la catedral de Segovia o el estofado y bronceado de diferentes colores en las flores y hojas en la decoración del retablo del Seráfico San Francisco de la catedral jerezana.

En la mayoría de los retablos el dorado marmolado se localiza en la totalidad de la superficie plana de sus arquitecturas y en las molduras lisas, no afectando a soportes ni a zonas con talla en relieve. No obstante, hay excepciones, en algunos casos se extiende sobre los soportes como en Azofra -en las pilastras-, o en Cubillejo del Sitio -en las columnas, que además se ornamentan con motivos grabados y bronceados- o en los de San Andrés de Segovia -también en las columnas- o en Jerez de la Frontera -en las zonas planas de los estípites-. En otros se encuentra sobre la decoración en relieve, es el caso del retablo de San Blas de la catedral segoviana, o sobre la ornamentación incisa, como ocurre en el de Alkiza. Y en otras ocasiones sobre volutas, tal como se ve en el mexicano de Las Vizcaínas o en el de Arcos de la Frontera. Solo en un caso la mazonería dorada del retablo está totalmente cubierta de dorados marmolados, es el retablo mayor de la iglesia de San Andrés de Segovia [Figura 8].



Figura 8.- Retablo mayor iglesia S. Andrés de Segovia totalmente cubierto de dorados marmolados (Foto T. Gómez)

En los sotabancos de los retablos del Descendimiento y de San Blas de la catedral de Segovia y del mayor de San Andrés, de la misma ciudad, así como en el de Arcos de la Frontera se encuentra otra técnica policroma que, como se ha dicho, ya se usaba desde mediados del siglo XVII, es la imitación de mármoles de diferentes colores sobre la madera.

Entre los nuevos retablos incluidos en este trabajo, sólo en tres casos el marmolado fue realizado con ocasión del redorado, los dos de la iglesia de San Andrés en Segovia y el de Azofra. Posiblemente el retablo de la Sagrada Familia de la iglesia de San Andrés también fuese redorado en el momento en que lo fue el mayor pues se trata de un retablo de cronología muy anterior, 1632.

Cabe añadir el par de casos detectados en los que el marmolado se encuentra reservado en sitios concretos y muy limitados de los retablos, por lo que parece que se hizo a modo de prueba ya que por las razones que fuese no decidieron usar esta técnica, aunque no eliminaron esos ensayos. Uno es el retablo de la capilla de San Andrés de la catedral segoviana, donde se ve en el lateral izquierdo de la predela en forma de pequeñas vetas que o bien dejan el bol rojo a la vista o crean el efecto ahumado y el otro es el retablo de las Reliquias de la capilla Dorada de la catedral de Coria, con pequeñas vetas aisladas en dos zonas también de la predela. Así mismo en el retablo de San Lorenzo de la iglesia de San Miguel de Morón de la Frontera, muy dañado durante la Guerra Civil, en la ménsula inferior derecha se aprecian pequeñas vetas ahumadas no pudiendo constatar la existencia de más marmolado ya que el dorado se halla muy deteriorado.

En cuanto a la policromía de las esculturas que albergan estos retablos se encuentran diferencias de acuerdo a sus cronologías y localizaciones geográficas, por lo general las vestiduras de las imágenes están doradas y estofadas con diferentes colores, además de enriquecidas con motivos a punta de pincel, salvo las del retablo de San Blas de la catedral de Segovia y las del de Entrena, que presentan policromías lisas con detalles dorados y las del de Limpias, en el que están policromadas con decoración a punta de pincel y detalles dorados en relieve. En los retablos mexicanos predomina la decoración de rameados y flores ejecutadas a punta de pincel sobre el dorado de las vestiduras; en Jonacatepec las telas se ornamentan con detalles dorados, excepto en las esculturas de la calle central, que van ataviadas con trajes postizos, lo mismo que sucede con la imagen titular de Las Vizcaínas. La mayoría de las encarnaciones son mates o semi mates, siendo excepcionales las pulimentadas.

El contrato del dorado del retablo mayor de la parroquia de Cubillejo del Sitio

Teniendo en cuenta la escasez de documentación conocida relativa a los dorados marmolados y como aportación

de interesantes detalles técnicos se refieren aquí las condiciones establecidas en el contrato del dorado de los retablos de la parroquia de Cubillejo del Sitio [Figura 9], documento inédito que generosamente nos ha facilitado transcrito quien lo localizó, D. Juan Antonio Marco Martínez, canónigo de la Catedral de Sigüenza.

Año 1789. Cubillejo del Sitio. Dorado del retablo mayor Agosto 6 de 1789. Ante vmd. parezco y digo que dicha iglesia se halla con necesidad de dorar el retablo mayor y los dos colaterales de ella para el mayor culto y veneración, y según informes recibidos de maestros del arte tendrán de coste de seis a siete mil rs. vn. poco más o menos...

Condiciones que se han de observar para ejecutar el dorado en el retablo mayor y colaterales, los que están entre sí unidos, de esta parroquial de Cubillejo del Sicio (Sitio) arciprestazgo de Molina y del obispado de Sigüenza, son las que se siguen:

1ª Es condición que se ha de limpiar bien el polvo y clavar las piezas sueltas y dar una mano de agua de cola con una porción de ajos.

2ª Es condición que se ha de dar de yeso pardo y yeso mate las manos correspondientes, y ha de ser la cola de retazo de guanteros todo según arte.

3ª Es condición que se ha de repasar todos lisos y talla abriendo todos sentidos y se han de abrir todos los llanos con reabres muy recios, pues lo permite la obra por ser muy llana y de campos muy crecidos, sin adorno de talla, y se han de hacer y abrir según cada uno de los campos, todo según arte.

4ª Es condición que se ha de dar una mano de ocre y las de bol correspondientes y ha de ser bol de Llanes.

5ª Es condición que se ha de dorar todo el retablo de oro limpio, a excepción de dos mancebos que hay en el cuerpo alto del retablo del medio, que han de ser vestidos de unos galones de oro y unas flores sueltas de oro, y que se han de encarnar caras y manos y pies, y se ha de bruñir y broncear las partes correspondientes al arte en todo el retablo, esto todo se entiende menos las tres mesas de altar, que están ya con los adornos correspondientes.

6ª Es condición que dicha fábrica ha de aprontar la madera y demás materiales necesarios para los andamios.

7ª Es condición que durante el retablo, esto es el tiempo que dure de dorarse el retablo, se ha de poner el tiempo que se ha de comenzar la obra y se ha de dar por concluida a voluntad y satisfacción del sr. cura y mayordomo.

8ª Es condición que al maestro que quede con la obra se le ha de dar el coste del retablo los tres plazos, principio, medio y fin.

9ª Es condición que el maestro ha de dar fianzas legas y abonadas a satisfacción del sr. cura y mayordomo.

Digo yo Pedro Domingo Hernández vecino del lugar de Bello comunidad de Daroca reino de Aragón y residente en la villa de Checa, que habiendo sido llamado por el sr. cura y mayordomo de este lugar de Cubillejo del Sicio (Sitio) para hacer condiciones al dorado de dicho retablo y sus colaterales, y habiéndolo visto no una si es muchas veces, asciende su coste con dichas condiciones al precio

de 6.500 rs. vn. Y porque conste lo firmo en dicho Cubillejo y sept. 27 de 1789. Pedro Domingo Hernández.

Con las noticias aportadas por el contrato del dorado de los retablos de Cubillejo del Sitio y el de la iglesia del Convento de San Antonio en Ávila, al que nos referimos en el anterior artículo, puede decirse que no se encuentra una definición específica para lo que se ha denominado dorado marmolado, sino que en ambos casos se refieren al bronceado. Por tanto, debe considerarse incluir esta técnica en el genérico bronceado como otro recurso artístico que se suma a los comunes bronceados de distintos tonos realizados con veladuras sobre el oro.



Figura 9.- Retablo mayor y colaterales de Cubillejo del Sitio. (Foto J.G. de Llarena)

Otras obras con dorados marmolados

Un nuevo hallazgo es el que confirma que esta técnica no solo se empleó en la mazonería de los retablos, sino también sobre otros objetos y superficies como enriquecimiento de la decoración dorada, tales como marcos de lienzos y algunas molduras colocadas en tapices, así como en elementos arquitectónicos pétreos. Todos los ejemplos se localizan en la ciudad de Segovia y no se ha encontrado documentación acerca de sus autores o fechas de ejecución [Tabla 2].

La capilla del Descendimiento de la catedral segoviana está profusamente decorada y sus nervaduras góticas de piedra

LOCALIZACIÓN	UBICACIÓN	DATACIÓN	AUTORES
SEGOVIA. Catedral	Capilla del Descendimiento. Bóveda. Nervaduras de piedra	1668 dorado del retablo	---
SEGOVIA. Catedral	Sala Capitular. Moldura inferior de madera de los tapices.	S. XVII-XVIII Tapices flamencos, Reina Zenobia: S. XVII Retablo: 1743	---
SEGOVIA. Iglesia de San Miguel.	Capilla de Ntra. Sra. de la Paz o de la Esclavitud. Marcos de madera de los cuadros.	S. XVIII ¿1720? Serie de nueve lienzos sobre la presencia de Cristo en la Eucaristía. Capilla: 1632	---

se cubrieron en el siglo XVII con dorados marmolados mostrando el juego entre dorado y bronceado. Es probable que esta intervención tuviese lugar en fechas cercanas a las que se doró el retablo. El marmolado se encuentra en la totalidad de la superficie de las nervaduras, predominando el tipo de vetas que dejan el bol rojo a la vista y el dorado roto. Cabe destacar que el dorado es mate y está realizado a la sisa [Figura 10].

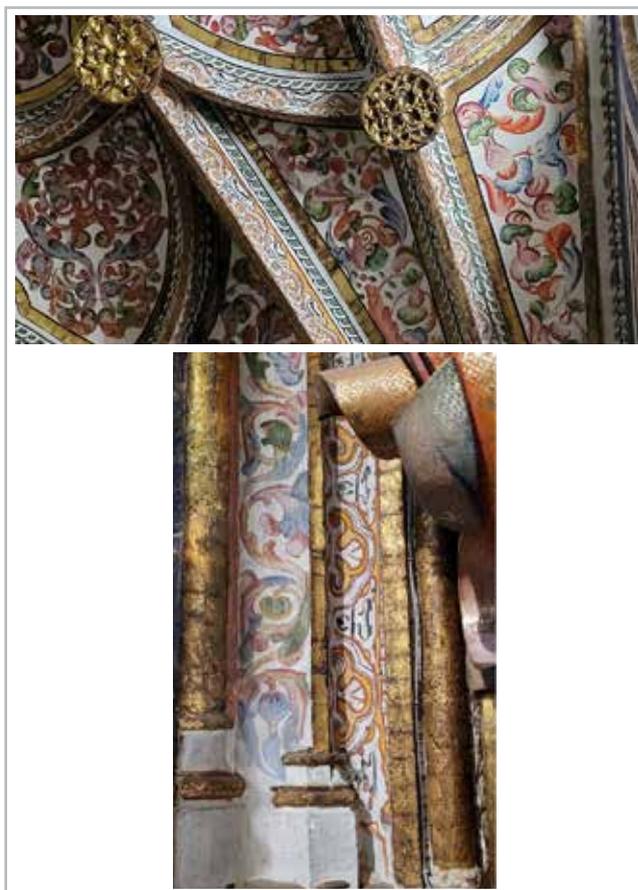


Figura 10.- Bóveda de la capilla del Descendimiento. Catedral de Segovia: a- Nervaduras de piedra de la bóveda con dorados marmolados b- Pormenor de las columnas de piedra que flanquean el retablo. (Fotos T. Gómez)

En la sala capitular de esta misma catedral se conserva una serie de once tapices de Bruselas dedicados a Zenobia, reina de Palmira, obra de Geraert Peemans del siglo XVII. En la centuria siguiente se contrata al tallista José Ortega para la fábrica del retablo barroco clasicista de la entrada de la misma sala y a José Esteve como escultor de la imagen de la Concepción, quizá alguno de ellos esté relacionado con la realización de los marcos marmolados. El marmolado se encuentra en la totalidad de la superficie de las molduras que se disponen en la zona inferior de los tapices, quizás originalmente pudieron estar completamente enmarcados, algo nada común, pero si fuera así actualmente solo se conservan las molduras inferiores. El dorado es bruñido y prevalece el tipo de dorado roto.



Figura 11.- Iglesia de S. Miguel, Segovia. Detalle de uno de los marcos de la serie de lienzos Exaltación de la Eucaristía. (Foto T. Gómez)

En la iglesia de San Miguel, en la capilla de Ntra. Sra. de la Paz o de la Esclavitud, se dispone una serie de lienzos inspirados en los cartones de la Exaltación de la Eucaristía, de Rubens, cuyos marcos están completamente cubiertos de dorados marmolados. El dorado es brillante, hay vetado que deja el bol rojo a la vista, hay algunos ahumados y también dorado roto. En 1720 la iglesia fue objeto de una profunda reforma, quizá entonces se hicieron estos marcos [Figura 11].

Mapa de España con localizaciones [Figura 12].

Conclusiones

La ampliación de la cronología para el uso de los dorados marmolados es la conclusión más destacada de este trabajo. Implica no sólo un notable adelanto en su aparición, así como un retraso en su desuso, sino que enriquece el repertorio de técnicas polícromas conocidas en el retablo plenamente barroco del siglo XVII.

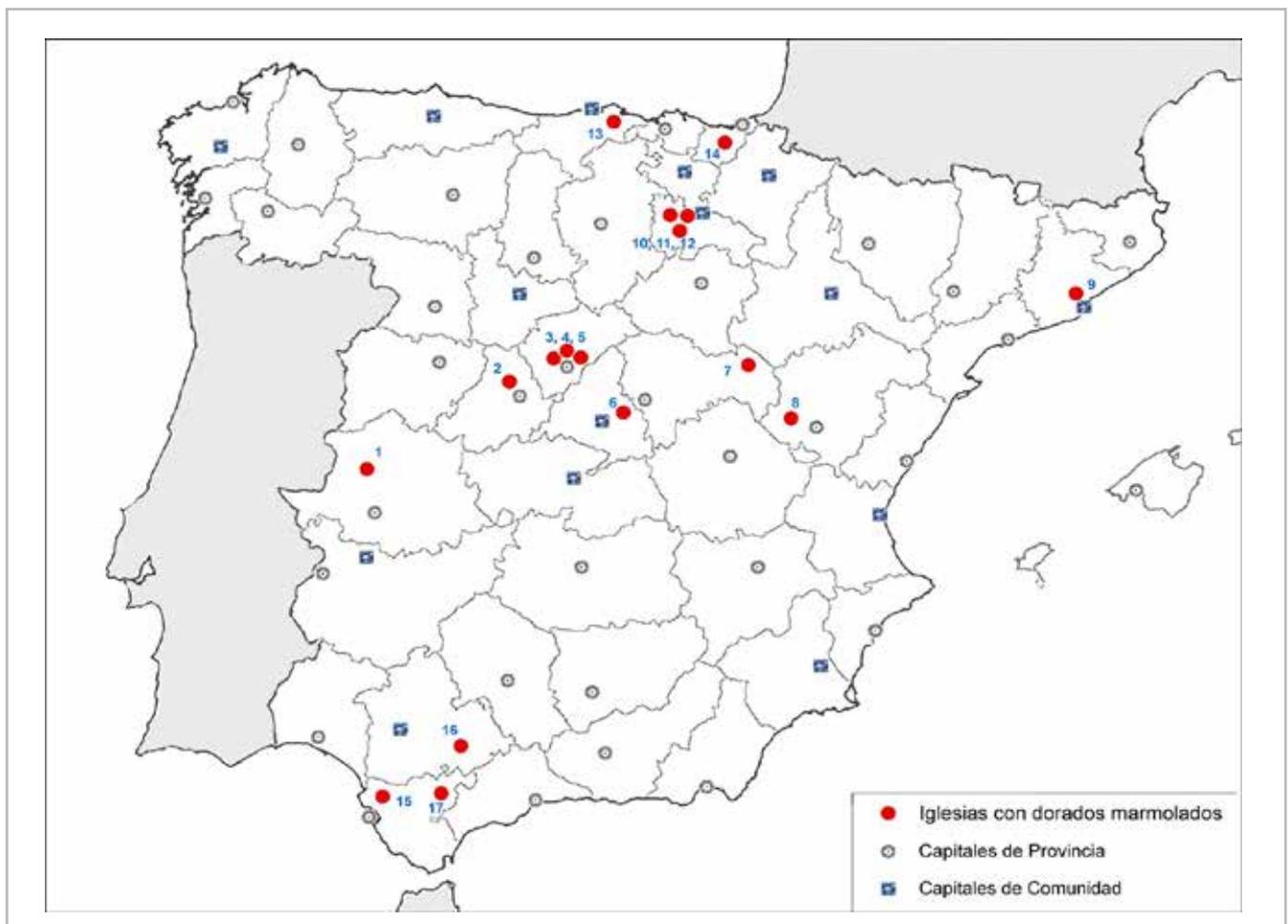


Figura 12.- 1-Coria Catedral, 2- Ávila, 3-Segovia Catedral, 4- Segovia San Andrés, 5- Segovia San Miguel, 6- Meco, 7- Cubillejo del Sitio, 8- Albarracín Catedral, 9- Sant Cugat del Vallès, 10- Azofra, 11- Nájera, 12- Entrena, 13- Limpías, 14- Alkiza, 15- Jerez de la Frontera Catedral, 16- Morón de la Frontera, 17- Arcos de la Frontera. (Mapa base de España: Instituto Geográfico Nacional)

El uso de la técnica ha resultado ser más extenso, tanto cronológica como geográficamente, de lo que se consideró en la primera fase de esta investigación. Cabe la posibilidad de que futuros hallazgos amplíen o modifiquen los conocimientos actuales aquí expuestos.

El foco de origen debió situarse en Madrid en las fechas finales del tercio central de la decimoséptima centuria, en torno a la Corte, desde donde se extendería sobre todo por la mitad norte peninsular, aunque se ha encontrado algún ejemplo en Extremadura, zona en la que también se evidencia la influencia madrileña e incluso más al sur, en Andalucía, sin embargo aquí los casos localizados son aún escasos. Es significativo que el mayor número de ejemplares encontrados se concentre en Segovia, hallándose varios en la propia Catedral, lo que pone de manifiesto el éxito temprano que obtuvo esta novedosa técnica en la ciudad castellana. La técnica de marmolar sobre el oro se difundiría a América, como se puede constatar en México, aunque hasta la fecha no se han localizado ejemplares fuera de la Nueva España.

Por tanto, a la luz de los nuevos hallazgos, la posibilidad de que hubiese sido el dorador Próspero Mortola el introductor de esta novedosa técnica queda descartada a favor de los doradores y policromadores que trabajaron en los talleres madrileños en la segunda mitad del siglo XVII en los años en que se desarrolla el retablo plenamente barroco. Sin embargo, no se puede aventurar una hipótesis acerca de quien introdujo esta técnica y cuándo sucedió, tampoco se sabe cuál fue el prototipo, el retablo del Descendimiento de Segovia es hasta hoy el ejemplo más temprano y sus trazas y policromía siguen las directrices de la retablística madrileña del momento, salvo en lo referido a los dorados marmolados. Por otro lado, como se evidencia a través de los casos que aquí se incluyen, no se repiten nombres entre los doradores que aparecen en las ocasiones en las que se han podido documentar, ni se han podido encontrar datos concretos en los contratos conocidos.

Uno de los principales objetivos del trabajo aquí expuesto es aumentar el conocimiento de esta técnica polícroma entre los profesionales que intervienen en la conservación del patrimonio, en este caso especialmente para conservadores restauradores, historiadores y químicos; como es bien sabido, conocer las técnicas de ejecución de las obras a las que se enfrentan estos profesionales es fundamental para poder aplicar los tratamientos idóneos en su conservación y restauración.

Agradecimientos

A los siguientes colegas por la localización de los retablos con dorado marmolado: José Luis Birigay (Entrena y Azofra: noticias, documentación y fotografías), Maite Barrio (Alkiza: noticia, documentación y fotografías), Paloma Sánchez González (retablo mayor iglesia de San Andrés, Segovia: noticias y datos documentales recogidos durante la restauración y también los datos documentales del retablo

del Descendimiento en la catedral de Segovia), Miguel Ángel Marcos Villán (datos del redorado del retablo mayor de San Andrés, Segovia), Fanny Unikel (Jonacatepec: noticia y fotografías) y de Sant Cugat del Vallès a Ana Ordóñez y Ana Carrassón (noticia) y Claustre Augé (datos documentales y fotografías).

También agradecemos las facilidades de acceso proporcionadas por Mercedes Sanz de Andrés, historiadora del arte y guía de Arte Sacro en la catedral de Segovia, así como por la documentación aportada, al Deán Ángel Martín y al historiador y guía Óscar García Ballester, de la catedral de Coria, a Primitivo Hernández, párroco de Cubillejo del Sitio y a Isaac Benito, párroco de San Miguel en Segovia. A Juan Antonio Marco Martínez, canónigo de la catedral de Sigüenza por la noticia y generosa cesión del contrato inédito del dorado de los retablos de Cubillejo del Sitio. Y a Joaquín Gómez de Larena por las fotografías de Limpias, Morón y Arcos de la Frontera, de las catedrales de Coria y Jerez de la Frontera, del mármol de Torre Triana, así como por el tratamiento informático del mapa de España e imágenes.

Notas

[1] HASBACH, B. y GÓMEZ, T., 2017, 80-88.

[2] En 1661 Cristóbal Bernardo de Quirós compra la capilla a la catedral, en su testamento con fecha 17 de mayo de 1664 encarga a su primo Diego de Rivera Ibáñez, miembro del Consejo de Castilla, la gestión de “el gasto de adorno del altar reja y demás cosas tocantes a la dicha capilla”. Dato proporcionado por la restauradora Paloma Sánchez -quien trabajó en la restauración de 2017-, según información facilitada por D. Bonifacio, responsable del archivo de la catedral.

[3] En una de las hojas talladas del friso del entablamento, en el lateral izquierdo de la calle central, apareció sobre la policromía la siguiente inscripción “Alonso Callexa y Aragón/vispera de San Gil/ Año 1668/sepuso”. Dato proporcionado por Paloma Sánchez.

[4] MARÍN, F., 2006, p.12-15.

[5] El retablo mayor fue reformado intensamente en la segunda mitad del XVIII donde se añadió un sobre ático, se rehicieron los encasamientos laterales del cuerpo inferior y el banquillo del segundo cuerpo. No se sabe quién fue el autor, pero en 1768 estaba Sebastián de Portu el joven realizando el retablo del Rosario, el enriquecimiento de la capilla mayor con otros colaterales y, en 1769, unas reparaciones en el retablo mayor. FERREIRA FERNÁNDEZ, M., 2014, p.192.

[6] Datos proporcionados por la restauradora Maite Barrio, extraídos de la Memoria de la Restauración de 2000 ejecutada por Artelán. La inscripción cita la fecha de terminación y al grupo de oficiales que trabajaron con el maestro.

[7] Datos proporcionados por Óscar García historiador y guía de la catedral. GARCÍA MOGOLLÓN, F., 1999, p. 10.

[8] Archivo Diocesano, catedral de Sigüenza, sección sec. Civiles-dorados, ref. 1789. Contrato localizado por J.A. Marco Martínez, a quien agradecemos que nos lo haya facilitado generosamente para publicarlo en el presente trabajo.

[9] Datos de la fecha y autor del redorado proporcionados por Paloma Sánchez, restauradora del retablo en 2001, obtenidos del estudio histórico de Miguel Ángel Marcos Villán.

Referencias

COLLAR DE CÁCERES, F. (1979). "Los retablos mayor y colateral de la iglesia de San Andrés, en Segovia", *Boletín del Seminario de Arte y Arqueología*, Ediciones Universidad de Valladolid, T. 45: 377-386.

DE LA SIERRA, L. A., HERRERA GARCÍA, F. J. (1993). "Aproximación a la escultura jerezana del siglo XVIII: Francisco Camacho de Mendoza", *Atrio*, 5: 25-48.

FERREIRA FERNÁNDEZ, M. (2014). "Aproximación a la figura del arquitecto Sebastián de Portu (1716-1776)", *Brocar*, 38: 179-193.

GARCÍA MOGOLLÓN, F.J. (1996). *La Catedral de Coria: Historia de fe y cultura: Patrimonio artístico y Documental*, Coria, Ed. III Feria Rayana, 193.

HASBACH LUGO, B., GÓMEZ ESPINOSA, T. (2017). "Dorados marmolados en policromías rococós. Una nueva técnica". *Geconservación*, 12: 80-88. <https://doi.org/10.37558/gec.v12i0.558>.

LABASTIDA VARGAS, L. (2013). "Cortinas y velos en los retablos de Vizcaínas: Ornato y simbolismo", en *El Tejido Polícromo. La escultura novohispana y su vestimenta*, P. AMADOR y P. DÍAZ CALLEROS (coord.). México: UNAM, Instituto de Investigaciones Estéticas, 52.

MARÍN, F. (2006), "Estudio Histórico", en HASBACH LUGO, B. y AGUILAR GUTIÉRREZ, J., *Memoria de la Restauración del Retablo Mayor de la Iglesia Parroquial de Meco*, Madrid: Dirección General del Patrimonio Histórico de la Comunidad de Madrid, 12-15. Inédito.

MARCO MARTÍNEZ, J. A. (1997). *El retablo barroco en el Antiguo Obispado de Sigüenza*, Guadalajara: Diputación Provincial, 574-77.

MONTALVO MARTÍN, F. J. (1986). "Juan de Ferreras, ensamblador y arquitecto barroco segoviano", *Boletín del Seminario de Arte y Arqueología*, BSAA, T. 52: 341-356.

MORENO ARANA, J. M. (2014). "La Escultura en el retablo jerezano del siglo XVIII: Autores y obras". *Laboratorio de Arte*, Universidad de Sevilla, 26: 223-246. <http://dx.doi.org/10.12795/LA.2014.i26.11>

POLO SÁNCHEZ, J. J. (1991). *Arte Barroco en Cantabria. Retablos e Imaginería (1660-1790)*. Santander: Universidad de Cantabria, Asamblea Regional de Cantabria, col. Biblioteca Básica, 6, 197.

PRADOS, J. M. (1987-88-89). "El Tabernáculo para el retablo de la Capilla del Sagrario o de los Ayala en la catedral de Segovia", *Imafronte*, 3-5: 433-45. Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/imafronte/article/view/40931>

[um.es/imafronte/article/view/40931](https://revistas.um.es/imafronte/article/view/40931)

RAMÍREZ MARTÍNEZ, J. M. (2009). *La Evolución del Retablo en La Rioja: Retablos Mayores*, Logroño: Ed. Obispado de Calahorra, La Calzada- Logroño, 639.

RUIZ HERNANDO, J. A. (1994). *La Catedral de Segovia*, León: Edilesa.

Autor/es



Bárbara Hasbach Lugo

gbarbara750@gmail.com

Ágora. Conservación y Restauración de Arte, S.L.

Licenciada en restauración de bienes muebles en la Escuela Nacional de Restauración de México y especialidad en restauración de escultura policromada por el Instituto Central de Restauración de Madrid. En 1989, junto con Juan Aguilar Gutiérrez, funda en Madrid la empresa Ágora Restauraciones de arte, S.L. Desde entonces han restaurado, con su equipo, importantes conjuntos artísticos entre los que se cuentan cuarenta retablos y cuarenta pinturas murales. Entre los retablos destacan, en Granada, los mayores de la iglesia de San Ildefonso y de la parroquial de Albolote. En Sevilla los retablos mayores de la Catedral, de las iglesias del Hospital de la Caridad y de San Juan Bautista en Marchena, el de San Juan Bautista de Martínez Montañés de la Encarnación. En la catedral de Málaga, el retablo de Santa Bárbara; en Ayamonte el retablo mayor de la parroquial. En Madrid los retablos mayores de la iglesia de las Mercedarias de don Juan de Alarcón y de la parroquial de Meco. En la catedral de Sigüenza el conjunto de Santa Librada y don Fadrique de Portugal y, en Laredo, el de Nuestra Señora de Belén con sus esculturas flamencas. En pinturas murales destacan el Peinador de la Reina en la Alhambra; la bóveda del salón de baile del Casón del Buen Retiro perteneciente al Museo Nacional del Prado; la sala capitular del Monasterio de Guadalupe, la capilla mayor y parte de la cúpula de la basílica de San Francisco el Grande de Madrid, la parroquia de Villa del Prado, Madrid y la Iglesia de Santa María la Blanca en Sevilla. Actualmente están realizando la restauración de las pinturas murales del Salón de Reinos del antiguo Palacio del Buen Retiro del Museo Nacional del Prado y en Sevilla las barrocas de la Capilla de San José. Cuenta con diversas publicaciones conjuntas sobre algunas de las obras restauradas tanto en libros como en artículos.



Teresa Gómez Espinosa

titegospinosa@yahoo.es

Licenciada en Geografía e Historia. Especialidad en Historia del Arte y en Prehistoria y Arqueología. En 1995 ingresa en el Cuerpo Facultativo de Conservadores de Museos. Trabajó desde 1981 hasta 2009 en el Instituto de Patrimonio Cultural de España, donde dirigió la Sección de Conservación y Restauración de Obras de Arte y, después, el

Servicio de Información. De 2009 a 2011 ha sido conservadora responsable del Departamento de Conservación y Restauración en el Museo de América. Desde 2011 ha ocupado el puesto de conservadora jefa del Departamento Técnico de Conservación del Museo Arqueológico Nacional, donde se ha jubilado en 2021.

- Líneas de investigación más destacadas en su carrera profesional: Estudios histórico artísticos y técnicos de esculturas, retablos y policromías en obras medievales, renacentistas y barrocas. Fue miembro del Grupo Latino de Escultura Policromada, integrado por profesionales de países mediterráneos y latinoamericanos, que concluyó con el proyecto RAPHAEL: *Técnicas de la Escultura Policromada Barroca en Portugal, España y Bélgica*. Actualmente trabaja con el Grupo Europeo de Policromía en Relieve. Estudio técnico y conservación de códices prehispánicos y coloniales. Estudio y conservación de momias egipcias y guanches. Conservación preventiva de BBCC. Plan de Salvaguarda de Bienes Culturales de la SGME.

- Proyectos de investigación más recientes: *AIR-ARTE. Protección y Conservación del Patrimonio Cultural en museos mediante tecnologías innovadoras relacionadas con la calidad del aire*. CIEMAT, Aire Limpio, CENIM, MAN, MNCARS (MINECO). *Policromía en obras egipcias del MAN. Estudio técnico y valoración de la incidencia de VOC's*. MAN, CIEMAT, MOLAB (HYPERION-CH). *Estudio paleoantropológico, histórico y técnico de las momias del Museo Arqueológico Nacional*. MAN, Hospital Quirón Universitario, CIEMAT. Los resultados de sus trabajos han sido difundidos en diferentes foros profesionales, nacionales e internacionales, en cursos, en conferencias y en más de sesenta publicaciones.

Artículo enviado 16/04/2022
Artículo aceptado el 14/07/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1112>

Carmen Miranda, un icono de la moda del siglo XX. Estudio de materiales para la conservación preventiva de lentejuelas de uno de los turbantes de frutas de la colección del Museo Carmen Miranda (Rio de Janeiro, Brasil)

Marina Herriges, Dolores Julia Yusá Marco, Sofía Vicente Palomino

Resumen: Carmen Miranda, cantante e intérprete brasileña, después de una carrera discográfica de gran éxito en las pantallas de su país natal, se convirtió en estrella de Broadway y Hollywood entre 1930 y 1950. Su manera de vestir fue una interpretación del traje tradicional *baiana*, utilizado por los vendedores ambulantes en el estado brasileño de Bahía. Su aspecto en el vestir ha marcado un estilo en la moda femenina, desde su llegada a los Estados Unidos en 1939 hasta la actualidad. La colección tanto de sus trajes como de accesorios se encuentra reunida en el Museo Carmen Miranda (Rio de Janeiro, Brasil), esta representa la historia de Carmen Miranda, y la riqueza de la confección de sus trajes y los distintos materiales empleados en su elaboración. Estos materiales son un reto desde el punto de vista de la conservación-restauración de textiles contemporáneos. Son objetos compuestos de distintos materiales que están en constante interacción entre sí, haciendo que la intervención de conservación sea un desafío. Con la finalidad de conocer la gama de materias primas empleadas en una de las piezas más importantes de la Colección Carmen Miranda, el turbante de frutas (número de inventario 374), se presentan en este trabajo de investigación los resultados obtenidos en la caracterización físico-química mediante, microscopio óptico con luz polarizada, microscopio electrónico de barrido con microanálisis por dispersión de energías de rayos X (SEM-EDX) y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier con dispositivo de reflectancia total atenuada (FTIR-ATR), de los elementos ornamentales (una selección de lentejuelas) del turbante de frutas. Los materiales identificados han sido compuestos tipo proteína (probablemente, gelatina), nitrato de celulosa y acetato de celulosa; además, las alteraciones de cada uno de ellos responden a tres tipologías diferentes de craqueladuras.

Palabras clave: Carmen Miranda, turbante de frutas, lentejuelas, material semi-sintético, nitrato de celulosa

Carmen Miranda, a fashion icon of the 20th century. Study of materials for the preventive conservation of sequins in a fruit turban from the Carmen Miranda Museum collection (Rio de Janeiro, Brazil)

Abstract: Carmen Miranda was a Brazilian singer and performer who after a successful recording and screen career became a Broadway and Hollywood star between the 1930s and 1950s. Her style was an interpretation of the traditional *Baiana* costume worn by street sellers in the Brazilian state of Bahia. The characteristic appearance of Carmen Miranda became an instant hit and had begun to influence female fashion almost immediately after her arrival in the United States in 1939, reaching up to the present day. The collection is currently at the Carmen Miranda Museum, in Rio de Janeiro, Brazil. This collection not only represents the story of Carmen Miranda, but it also illustrates the richness in the way her clothes were made, as well as the different materials used. These materials represent a challenge from the point of view of modern and contemporary textile's conservation. The constituents are in constant interaction with each other, becoming a challenge with regards to the interventive conservation. This master's research proposed to understand the range of materials used in the sequins of one of the most famous objects of the Carmen Miranda Collection, the tutti-frutti headdress. For this purpose, the morphological characterization was carried out by optical microscopy with polarized light; the identification and quantification of constituent chemical elements and stratigraphic distribution by scanning electron microscopy combined with energy dispersive X-ray microanalysis (SEM-EDX); the identification of the chemical composition of organic compounds through the IR spectrum by infrared Fourier transform spectroscopy in attenuated total reflectance mode (FTIR-ATR). Protein compounds, cellulose nitrate and cellulose acetate were identified as constituents' materials. The alterations in the sequins' surface were identified as well as three types of different corresponding fissures.

Keywords: Carmen Miranda, fruit turban, sequins, semi-synthetic material, cellulose nitrate

Carmen Miranda, um ícone da moda do século XX. Estudo de materiais para a conservação preventiva de lantejoulas de um dos turbantes de fruta da coleção do Museu Carmen Miranda (Rio de Janeiro, Brasil)

Resumo: Carmen Miranda, cantora e intérprete brasileira, após uma carreira discográfica de grande sucesso nos ecrãs do seu país natal, tornou-se uma estrela na Broadway e Hollywood entre 1930 e 1950. O seu modo de vestir era uma interpretação do traje tradicional Baiana, usado por vendedores de rua no estado brasileiro da Bahia. A forma como se vestia definiu um estilo na moda feminina desde a sua chegada aos Estados Unidos em 1939 até aos dias de hoje. A coleção dos seus trajes e acessórios está reunida no Museu Carmen Miranda (Rio de Janeiro, Brasil), e representa a história de Carmen Miranda, a riqueza da confeção dos seus trajes e os diferentes materiais utilizados para a sua elaboração. Estes materiais são um desafio do ponto de vista da conservação-restauro de têxteis contemporâneos. São objectos compostos por diferentes materiais que estão em constante interacção entre si, fazendo da intervenção de conservação um desafio. Com a finalidade de conhecer a gama de matérias-primas utilizadas numa das peças mais importantes da Coleção Carmen Miranda, o turbante de frutas (número de inventário 374), este trabalho de investigação apresenta os resultados obtidos na caracterização físico-química por meio de microscopia óptica com luz polarizada, microscopia electrónica de varrimento com microanálise dispersiva de energia de raios X (SEM-EDX) e espectroscopia no infravermelhos por transformada de Fourier com dispositivo de reflectância total atenuada (FTIR-ATR) dos elementos ornamentais (uma selecção de lantejoulas) do turbante de fruta. Os materiais identificados são compostos por material proteico (provavelmente gelatina), nitrato de celulose e acetato de celulose; além disso, as alterações de cada um deles correspondem a três tipos diferentes de fissuras.

Palavras-chave: Carmen Miranda, turbante de fruta, lantejoulas, material semi-sintético, nitrato de celulose

Introducción

Carmen Miranda nació el 9 de febrero de 1909 en Marco de Canavezes (Portugal), pero a los nueve meses se marchó con sus padres a vivir a Brasil. Como inmigrante portuguesa se quedó viviendo en Rio de Janeiro, absorbiendo todas las costumbres de una gente marcada por las influencias africanas en la creación de su propia cultura. A finales de la década de 1920, Carmen Miranda con su carisma y carácter especial fue conquistando al público a través de la radio, hasta que en 1939 se trasladó a vivir a los Estados Unidos, convirtiéndose en una de las figuras claves y más representativa de la cultura brasileña en el exterior, desarrollando una marca y un estilo exótico, que acabó conquistando al público en todo el mundo (Bayman y Pinazza 2013:15). Logró grandes éxitos y una gran fama, siendo en aquella época un símbolo femenino (Gatti 2006:93; Shaw 2013:83). Era tal su éxito que en 1946 llegó a ser la mujer mejor pagada de Hollywood. La primera película en la que aparece con su característico estilo fue *Banana da Terra*, en 1938, donde viste su icónica indumentaria de bahiana con un enorme turbante de frutas, esta indumentaria sería a partir de este momento su registro personal (Sant'Anna y Macedo 2013:186). En su carrera, Carmen apareció en seis películas brasileñas y otras muchas producciones en los Estados Unidos y aún sigue apareciendo, como, por ejemplo, en la película *The Shape of Water*, producida en los Estados Unidos, lanzada en 2017 y ganadora del Óscar de 2018. En la actualidad se puede percibir que Carmen Miranda todavía está muy presente en la vida de todos a través de su arte, moda y cultura. En este sentido, se consigue encontrar su gran influencia en muchos objetos de decoración, elementos de moda y muchas veces, hasta en pequeños detalles de diseño, donde son representados los colores de su repertorio y el objeto lleva su nombre como característica de distinción. La generación de jóvenes que haya nacido a finales del siglo XX, principios del XXI, tal vez no sepa quién

es Carmen Miranda, pero probablemente reconozcan su imagen y la identifiquen como sinónimo de alegría, tropicalismo y *brasilidad*.

Sus piezas de indumentaria llevan el valor y símbolo de su personaje, y por eso deben ser conservadas, pero también conllevan dificultades de conservación. La forma de muchas de sus prendas es compleja, presentando diferentes problemáticas, bien por su estructura, peso o forma. En este sentido, se tienen faldas que pesan más de diez quilogramos debido a los abalorios incluidos en la ornamentación o en la propia estructura del tejido (cuentas y diamantes falsos). La marca registrada de la colección exuberante de Carmen Miranda contiene además de estas faldas, turbantes de más de 50 centímetros de altura y zapatos con tacones de 30 centímetros que pesan casi siete quilogramos. Esta colección presenta el desafío que plantean los materiales modernos empleados en prácticamente todas sus piezas. Los materiales semi-sintéticos (como el nitrato de celulosa y acetato de celulosa) son comunes y abundantes y exhiben una problemática determinada y muy compleja para los y las profesionales de la conservación y restauración que tienen que intervenir tanto de forma directa como en lo que respecta a su conservación preventiva. Debido a todo ello, en este estudio se ha elegido un turbante (número de inventario 374), que es una pieza representativa de la colección del Museo Carmen Miranda (Rio de Janeiro, Brasil) muy presente en la memoria colectiva por la presencia extravagante de frutas características de la artista. Su valor histórico, la riqueza y variedad de lentejuelas y materiales se suma al estado bastante deteriorado y frágil observado a primera vista por la alteración principalmente de los colores y en general de sus materiales constitutivos, hacen de esta obra un objeto especial y de necesaria conservación. El presente trabajo se ha centrado en la caracterización físico-química de los materiales que componen una selección de sus lentejuelas para poder establecer la relación con su estado de conservación. Se realiza la

caracterización morfológica mediante microscopio óptico con luz polarizada; identificación y cuantificación de los elementos químicos constituyentes y distribución estratigráfica mediante microscopio electrónico de barrido con microanálisis por dispersión de energías de rayos X (SEM-EDX) e identificación de la composición química de los polímeros orgánicos a través de la obtención de su espectro infrarrojo mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier con dispositivo de reflectancia total atenuada (FTIR-ATR).

El Museo Carmen Miranda y su colección

El Museo Carmen Miranda (MCM) se encuentra ubicado en Rio de Janeiro (Brasil) y fue instalado en un edificio proyectado por el arquitecto Affonso Eduardo Reidy, el cual se basó en los principios modernistas divulgados por Le Corbusier para su creación. Después de realizar obras de adaptación, el Museo Carmen Miranda fue inaugurado en agosto de 1976.

La colección está formada por piezas que pertenecían a Carmen Miranda, donadas después de su fallecimiento, por su marido David Alfred Sebastian y su familia. Estas obras fueron previamente expuestas en 1957, en un importante espacio de la ciudad de Rio de Janeiro especialmente creado para la exposición sobre la vida de la cantante y en 1965 fueron enviadas al Museo de la Imagen y del Sonido, en Rio de Janeiro antes de la inauguración de su museo. La colección alberga objetos personales de la cantante como fotografías, partituras, guiones de películas, carteles, documentos, discos, además de sus piezas de indumentaria y trajes. También, contiene las maletas y cofres donde sus objetos fueron trasladados desde Estados Unidos a Brasil. El museo cuenta con una colección de indumentaria de la cantante que consiste en 461 piezas originales del periodo en que Carmen Miranda vivió y actuó en Estados Unidos. Son piezas muy conocidas de la artista y durante años fueron muy solicitadas para realizar préstamos nacionales e internacionales, sin embargo, hoy en día no se permite su salida de la institución debido al frágil estado de conservación de sus materiales (Comunicación personal, no publicado, 2017).

El MCM ha pasado por muchas modificaciones hasta nuestros días. Las piezas fueron intervenidas por distintos profesionales y los informes de riesgo del edificio fueron realizados periódicamente para alertar de la imposibilidad de la salvaguarda de las piezas en esta edificación. En 2005, fueron creados espacios de almacenaje, donde las piezas podrían estar mejor acondicionadas como objetos de museo con control de humedad, temperatura y purificación del aire. En 2009 se realizó una nueva evaluación cuyas conclusiones derivaron en la decisión de transformar las obras del Museo Carmen Miranda en Colección Carmen Miranda para formar parte del nuevo Museo de la Imagen y del Sonido y el edificio del Museo fue cerrado al público.

Breve historia de las lentejuelas

El origen de estos pequeños discos conocidos hoy en día como lentejuelas se remonta a la época de Tutankamón, en el Egipto antiguo. En 1922 cuando una expedición de arqueología descubrió esta tumba, fueron encontradas lentejuelas de oro aplicadas en los bordados de la indumentaria que formaba parte del ajuar y que al parecer ejercían un papel importante a nivel económico para la nueva vida del rey después de la muerte. Otras se encontraron como ornamento en prendas datadas en 2500 a.C. en India (TheDreamstress. *Terminology: sequins vs. Spangles*, 2017). Las lentejuelas siempre tuvieron algo que ver con la representación de la riqueza, símbolo social o guía espiritual. En Egipto, India y Perú, las lentejuelas expresaban además de poder económico, una forma de ahuyentar a los malos espíritus a través de su brillo (Spivack 2017). También se utilizaron lentejuelas en el periodo de la Edad Media. En una de las páginas de Leonardo da Vinci aparece un boceto de una máquina de hacer lentejuelas a partir de finas laminas metálicas (Pedretti 2017). Desde el siglo XVII hasta el siglo XIX, las lentejuelas bordadas en diversos tipos de prendas conferían también un efecto chic. A principio del siglo XX, fue posible encontrar discos metálicos con función de lentejuelas especialmente en prendas para las celebraciones. Las lentejuelas empezarán a ser fabricadas en gelatina, a partir de finales del siglo XIX, principio del siglo XX. La gelatina es un producto proveniente de la hidrólisis de proteína animal y genera una versión mucho más ligera que los discos metálicos. Sin embargo, este material por ser sensible a la humedad y a la temperatura presentaba muchos riesgos y no era un material perdurable. Con la Revolución Industrial y posteriormente la Segunda Guerra Mundial, nuevos materiales fueron desarrollados con diverso fin. Los plásticos elaborados a partir del siglo XIX fueron materiales muy utilizados para la confección de lentejuelas. El primer material en ser utilizado fue el nitrato de celulosa, seguido de la caseína formaldehído. En 1926, Herbert Lieberman en asociación con la empresa Eastman Kodak desarrolló lentejuelas de acetato de celulosa. Estas poseían un considerable brillo, como de espejo, sin embargo, eran bastante quebradizas. Después fueron utilizados otros muchos materiales plásticos tales como poliamida, urea formaldehído, polivinilo cloruro, etc. [Fenn 2001:53]. En 1952, DuPont inventó un material llamado *Mylar*, el cual inició la producción de lentejuelas hechas por film de poliéster transparente. Este material fue toda una revolución, dado que permitió que las lentejuelas bordadas en la ropa pudieran ser lavadas sin problemas (Spivack 2017). Lieberman fue el pionero y responsable de que se utilizaran lentejuelas en turbantes, ropa de artistas, bailarines y artistas de circo. Las manufacturaba en su fábrica de Nueva York, produjeron estos círculos brillantes hechos en plástico para la indumentaria de películas de Broadway. Un importante personaje en la introducción del uso de las lentejuelas en las prendas utilizadas en deporte fue Sonja Henie, la patinadora que en 1920 las utilizó en su ropa de los Juegos Olímpicos (Lasane 2017). La siguiente evolución ha tenido lugar con los plásticos

vinílicos que son más perdurables, más baratos y sencillos para ser trabajados, además de hacer una buena imitación de metales como la plata, con una simple capa de aluminio (McCormack 2017) posibilitando que artistas como Michael Jackson llevaran ropa cubierta de lentejuelas y brillos.

Caso de estudio: Turbante de frutas (número de inventario 374)

La pieza elegida fue de singular importancia en la vida de la artista. Este turbante de frutas fue utilizado por Carmen Miranda en los conciertos de su última turné por Europa en 1953 y por Cuba en 1955 [Figura 1]. Esta pieza también



Figura 1.- Fotografía de Carmen Miranda con el turbante de frutas en uno de sus últimos conciertos (Imagen cortesía y copyright del Museo Carmen Miranda).

es representativa porque es un turbante con multifrutas que hace alusión al imaginario popular del personaje Carmen Miranda. La estructura y los materiales constituyentes representan la gran diversidad presente en la colección. Las lentejuelas forman parte de casi todas las piezas de Carmen Miranda por ser elementos de la indumentaria que tienen como finalidad atraer la atención del público que la observa durante sus actuaciones.

El turbante de frutas está datado en la década de 1940 y posee unas dimensiones aproximadas de 40 centímetros de altura, 30 centímetros de ancho y 32 cm de largo. Sus materiales constitutivos son lentejuelas, metal y tejido. Está formado por un tocado revestido con un tejido lame recubierto por lentejuelas cosidas y adornado por una gran variedad de frutas y hojas cubiertas por lentejuelas. El turbante está construido sobre una estructura interna metálica [Figura 2]. Se cree que fue confeccionado en Estados Unidos y hace juego con una falda y un top que también pertenecen a la colección.

El estado de conservación de la pieza se puede considerar preocupante, dado que se aprecia una pérdida general de los colores, los cuales se igualan entre sí, adquiriendo un tono amarroado. Algunas frutas todavía conservan un tono intenso, aunque se desconoce si se trata del color original pero es la excepción. Se aprecia cierta alteración de la forma y deformación de la estructura metálica en algunos casos de manera intencionada, en otros por la propia actuación de la fuerza de la gravedad. Los tejidos están deteriorados, en algunos casos quebradizos, manchados por los materiales que se encuentran cerca y por la abundante cantidad de adhesivos. Sin embargo, el tejido de base interior del tocado se encuentra en un estado de conservación bastante satisfactorio, lo que confiere a la pieza una buena resistencia. El turbante ha sufrido distintas intervenciones durante todo el tiempo que ha pertenecido al Museo Carmen Miranda. Además, hay muchos indicios de que la propia artista, haya podido realizar algunos ajustes y arreglos durante su periodo de uso por haber confeccionado



Figura 2.- Fotografías del turbante (nº inventario 374). (Imágenes cortesía y copyright del Museo Carmen Miranda)

o adaptado a la moda sus propios trajes. Este hecho se ha podido confirmar a partir de la consulta de diversa documentación en el Museo, como también en diferentes conversaciones personales con el director del propio Museo. Los procedimientos de restauración se encuentran documentados desde 1995. La última intervención fue en el año 2017, en la que únicamente se realizó una limpieza en seco, llevándose a cabo también una documentación pormenorizada de la pieza y de sus materiales.

Experimental

Tras describir el turbante y su estado de conservación se plantea el estudio experimental sobre dieciocho muestras de lentejuelas, seleccionadas y extraídas del mismo por ser representativas de la amplia gama de tipologías que presenta la pieza. En primer lugar, todas las muestras son documentadas (anverso y reverso) mediante fotografía digital macro en estudio fotográfico. Después sin realizar preparación previa de las muestras, se lleva a cabo su caracterización morfológica mediante microscopio óptico con luz polarizada, se colocan verticalmente para microfotografiar la sección de corte transversal y en horizontal para microfotografiar el anverso y reverso, identificándose distintas tipologías de alteración. Posteriormente, se sigue con la identificación de la composición química de los componentes orgánicos tanto del soporte como de las películas del anverso y/o reverso de cada lentejuela a través de la obtención de su espectro IR mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR-ATR). Por último, se lleva a cabo la identificación y cuantificación de los elementos químicos constituyentes y distribución

estratigráfica mediante microscopio electrónico de barrido con detector de dispersión de energías de rayos X (SEM-EDX).

Selección y extracción de muestras-lentejuelas

La pieza fue elegida por sus especificidades con relación a los materiales constitutivos. Su superficie está cubierta por cerca de un 80% de lentejuelas formadas por distintos materiales (probablemente, gelatina, nitrato de celulosa y/o acetato de celulosa), capas (metálicas o polícromas), colores (amarillo, naranja, rosado, verde, plateado, dorado) y tipologías (circular cóncava o planas o facetadas).

Las muestras se extrajeron con una pinza y un bisturí, y rápidamente fueron acondicionadas en bolsas de plástico, fabricadas especialmente para su almacenaje. Fueron etiquetadas una a una, es decir, se catalogaron con el número de inventario de la pieza añadiendo una letra siguiendo orden alfabético (ej.: 374.A, 374.B, 374.C, etc). En la tabla 1, se presenta la nomenclatura de cada muestra, su ubicación y colores correspondientes y en la figura 3, se exhibe su ubicación y fotografías de detalles del turbante de donde fueron extraídas las lentejuelas. Se describe la ubicación del punto de extracción que se documenta mediante fotografía durante el proceso. Algunas lentejuelas se habían desprendido y se tomaron como muestras, mientras que otras se extrajeron por considerar interesante su tipología o problemática realizando un corte en la zona de unión de costura. En el presente estudio fueron analizadas 18 lentejuelas, esta selección se hizo en base a sus características de tipología, color, y degradación.

Tabla 1.- Nomenclatura, ubicación y color de las muestras (lentejuelas) del turbante (número inventario 374)

Nomenclatura	Ubicación-Descripción	Color
374.A	Lentejuela del ornamento principal del tocado de base del turbante	Plateado/dorado
374.B	Lentejuela de la aplicación floral localizada en el tocado de base del turbante	Transparente/dorada
374.C	Lentejuela de adorno de hoja en la parte de atrás del turbante	Verde/dorada
374.D	Lentejuela de la hoja de la parte trasera del tocado	Dorada
374.E	Lentejuela de fruta de coloración castaña del lateral izquierdo del tocado	Castaña/amarilla
374.F	Lentejuela de la pera	Dorada/verdeada
374.G	Lentejuela de una de las uvas moradas del lado derecho del tocado	Morada
374.H	Lentejuela de una de las uvas rosadas del lado derecho del tocado	Rosada
374.I	Lentejuela del limón	Amarilla/dorada
374.J	Lentejuela de la hoja de la uva	Verde/dorada
374.L	Lentejuela de la hoja	Plateada
374.M	Lentejuela de la vara metálica del cesto	Dorada/verdeada
374.N	Lentejuela hoja parte de abajo de la vara metálica	Verde
374.O	Lentejuela limón degradado	Amarilla
374.P	Lentejuela banana	Dorada
374.Q	Lentejuela piña	Negra
374.R	Lentejuela de la hoja de la piña	Plateada
374.S	Lentejuela fruta pera	Plateada



Figura 3.- Fotografías en las que se indica la ubicación de las muestras extraídas del turbante (nº inventario 374) y detalles de hojas, piña, manzana y uvas (Imágenes Marina Herriges, 2017).

Instrumentación y procedimientos de medida

Las muestras fueron documentadas (anverso y reverso) mediante fotografía digital macro en estudio fotográfico, con iluminación a 45 grados de inclinación en ambos lados. Para la base y color de fondo fue utilizado un cartón gris que no alterara la percepción de los colores de las lentejuelas. El equipo utilizado fue una cámara Nikon, modelo D5200 con diafragma f/8 y tiempo de exposición 1/20 segundos, con una lente macro AF-S Micro-Nikkor 105mm. Las imágenes finales fueron procesadas por el software Adobe Photoshop, versión CS6 (64 bit).

En la caracterización morfológica de las lentejuelas se utilizó un microscopio óptico de la marca LEICA, modelo DM750, X4-X200, con sistema fotográfico digital acoplado marca LEICA, modelo MC170HD, software LAS v.4.9.0. En

este tipo de análisis, las muestras no fueron preparadas previamente, se utilizan trozos de lentejuela y se colocan verticalmente para fotografiar la sección de corte transversal, y se colocan en horizontal para fotografiar el anverso y reverso. Todas las muestras fueron observadas con 40x, 100x y 400x en luz reflejada y transmitida.

La identificación de la composición química de componentes orgánicos tanto del soporte como de la capa del anverso y del reverso fue llevada a cabo mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier en modo ATR utilizando un espectrómetro infrarrojo por Transformada de Fourier Tensor 27 (Bruker Optik GmbH) y un accesorio de ATR, modelo A225/Q Platinum ATR_Diamond. Las condiciones de trabajo fueron 64 scans y una resolución de 4cm^{-1} . Las muestras fueron dispuestas directamente en el equipo, sin preparación previa. Los

espectros finales fueron procesados por el software OPUS/IR, versión 5.0. El espectro IR fue obtenido en transmitancia y convertido a absorbancia.

La identificación y cuantificación de los elementos inorgánicos constituyentes y distribución estratigráfica fue obtenida mediante microscopia electrónica de barrido con microanálisis por dispersión de energías de rayos X (SEM-EDX). Una pequeña porción de cada muestra fue adherida sobre una cinta de carbono grafito y luego recubierta con carbono grafito para eliminar los efectos de carga. Se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL modelo JSM 6300 con sistema de microanálisis Link-Oxford-Isis, operando a 20kV de tensión de filamento, 2.10^{-9} A de intensidad de corriente y distancia de trabajo de 15mm. El microanálisis de rayos X se realiza mediante el método ZAF de corrección del efecto interelemental (Osete 2010) controlado por el software Inca, siendo el tiempo de contaje de 100s para los elementos mayoritarios y minoritarios.

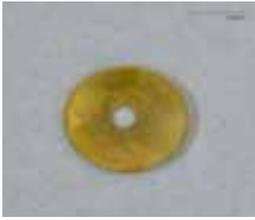
Resultados y discusión

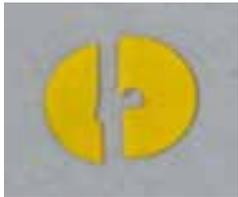
Fotografía digital macro

En la tabla 2 se presenta la descripción de las lentejuelas (soporte y película) y se ilustra con las macrofotografías del anverso y reverso. Como puede observarse, se han hallado lentejuelas con soporte transparente y capa policroma de diferente constitución, desde películas metalizadas en anverso y reverso (374.A, 374.P) o solo por el reverso (374.B, 374.L), otras, con capa policroma opaca en anverso y reverso (374.D, 374.G, 374.M, 374.S) o sólo por el reverso (374.F, 374.H, 374.I, 374.J, 374.N, 374.O) o sólo por anverso (374.C), o bien, película metalizada en el anverso y capa policroma en el reverso (374.R) e incluso soporte transparente sin capa policroma (374.E). Todo ello pone de manifiesto la variedad de materiales que se pueden encontrar en las diferentes tipologías de lentejuelas de esta pieza.

Tabla 2.- Descripción y macrofotografías del anverso y reverso de las lentejuelas del turbante (número inventario 374)

Muestra	Descripción	Anverso	Reverso
374.A	Lentejuela circular cóncava. Diámetro de 0,75 cm. Soporte independiente cubierto por películas metalizadas en ambos lados. Con luz transmitida el revestimiento es opaco y el soporte transparente.		
374.B	Lentejuela circular cóncava. Diámetro de 0,4 cm. Soporte independiente recubierto por capa policroma metalizada por el reverso. Con luz transmitida la película pictórica es opaca y el soporte transparente.		
374.C	Lentejuela circular plana. Diámetro de 0,6cm. Soporte independiente recubierto por el anverso por capa policroma de color verde. Con luz transmitida, la película pictórica es opaca y el soporte transparente.		
374.D	Lentejuela circular rota en distintos trozos. Diámetro de 0,9 cm. Soporte con película policroma metalizadas en anverso y reverso. Con luz transmitida es opaca.		
374.E	Lentejuela circular plana (rota en dos trozos de tamaño distintos). Diámetro de 0,55cm. Soporte sin capa policroma. Con luz transmitida es transparente.		

374.F	Lentejuela circular cóncava. Diámetro de 0,5 cm. Soporte con capa pictórica en el reverso. Con luz transmitida es semi-transparente.		
374.G	Lentejuela circular plana. Diámetro de 0,47cm. Soporte recubierto por capas de policromía por los dos lados. Con luz transmitida es opaca.		
374.H	Lentejuela circular facetada. Diámetro de 0,5cm. Soporte recubierto por capa de policromía en el reverso. Con luz transmitida es transparente.		
374.I	Lentejuela circular facetada. Diámetro de 0,5cm. Soporte recubierto por una capa de policromía en el reverso. Con luz transmitida, la película pictórica es opaca y el soporte transparente.		
374.J	Lentejuela circular facetada. Diámetro de 0,5cm. Soporte recubierto por una capa de policromía en el reverso. Con luz transmitida, la película pictórica es opaca y el soporte transparente.		
374.L	Lentejuela circular facetada. Diámetro de 0,5cm. Soporte recubierto por una capa de policromía metalizada en el reverso. Con luz transmitida la película pictórica es opaca y el soporte transparente.		
374.M	Lentejuela circular plana. Diámetro de 0,6cm. Soporte recubierto por policromía en los dos lados. Con luz transmitida es opaca.		
374.N	Lentejuela circular facetada. Diámetro de 0,5cm. Soporte recubierto con capa policroma en el reverso. Con luz transmitida es transparente.		

374.O	Lentejuela circular plana. Diámetro de 0,6cm. Soporte con capa de policromía amarilla en el reverso. Con luz transmitida es opaca.		
374.P	Lentejuela circular cóncava. Diámetro de 1cm. Soporte con capa pictórica metalizada en el anverso y reverso. Con luz transmitida es opaca.		
374.Q	Lentejuela circular cóncava. Diámetro de 0,4cm. Soporte con capa pictórica en el anverso y reverso. Con luz transmitida es opaca.		
374.R	Lentejuela circular facetada. Diámetro de 0,5cm. Soporte con capa pictórica de los dos lados (anverso plateado y reverso verde). Con luz transmitida es opaca.		
374.S	Lentejuela circular plana. Diámetro de 0,6cm. Soporte con capa pictórica en ambos lados (anverso y reverso). Con luz transmitida es opaca.		

A través de las macrofotografías es posible observar algunas alteraciones, principalmente las que ya están en estado avanzado de degradación [Tabla 2]. La suciedad superficial se observa en todas las muestras de manera generalizada; como en la lentejuela 374.Q donde se ve a simple vista su estado bastante alterado y además una importante deformación física. También, en la mayoría de las muestras se aprecian abrasiones, sin embargo, en la lentejuela 374.B, son más profundas y además se ve la oxidación de la capa policroma del reverso. Algunas presentan gran cantidad de adhesivo en la superficie como las muestras 374.C, 374.D, y 374.R, esto evidencia que estas lentejuelas no estaban cosidas, sino adheridas al turbante, lo que sugiere que pueden haber sido añadidas posteriormente. Como ya se ha indicado anteriormente, los trajes que fueron utilizados en los conciertos y espectáculos fueron muchas veces “reparados” sin tener en cuenta los materiales originales, por ser una prenda que iba a ser contemplada a una cierta distancia por el espectador. En este sentido se encuentran a menudo añadidos realizados posteriormente, o incorporaciones de piezas que no son iguales o similares a las originales, solo cumplen la función de rellenar el hueco que se ha originado en una determinada zona. Las fisuras aparecen en todas las muestras, como en la 374.D donde

se aprecian a simple vista, observándose incluso el resecamiento que las ha provocado. Podemos observar manchas bastante visibles en la muestra 374.E y la 374.H, pero en esta última las manchas son de origen externo. La decoloración acentuada o amarilleamiento también es bastante frecuente, apreciándose principalmente en las muestras 374.H, 374.I, 374.L y 374.M. En la muestra 374.N se observa un tipo de coloración diferente, que puede haberse generado posteriormente.

Estudio morfológico y alteraciones mediante microscopía óptica

En la figura 4 se muestran las microfotografías de la sección de corte transversal de las lentejuelas 374.C-374.D-374.L-374.O que van a ser posteriormente analizadas mediante SEM-EDX. Estas muestras han sido seleccionadas en función de los estratos observados en ellas, pues se aprecian capas policromas metalizadas, en la muestra 374.D en ambos lados, anverso y reverso, mientras que en la 374.L solo en reverso. En la muestra 374.C se observa una capa policroma verde en el anverso, y en la muestra 374.O se encuentra una capa policroma amarilla en el reverso.

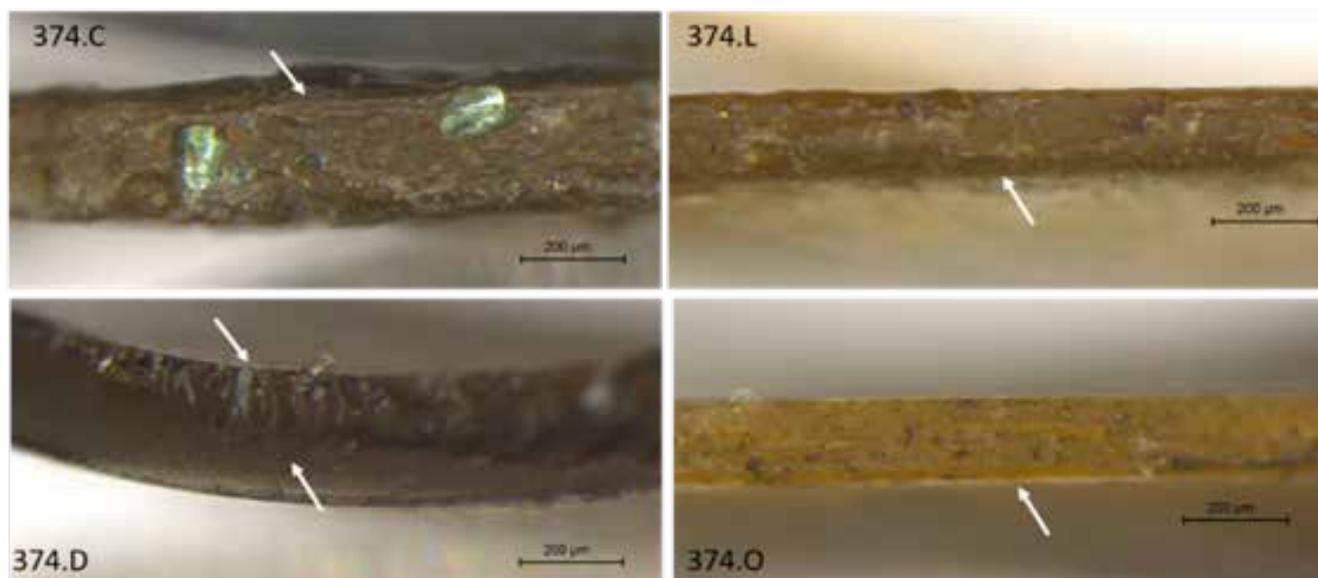
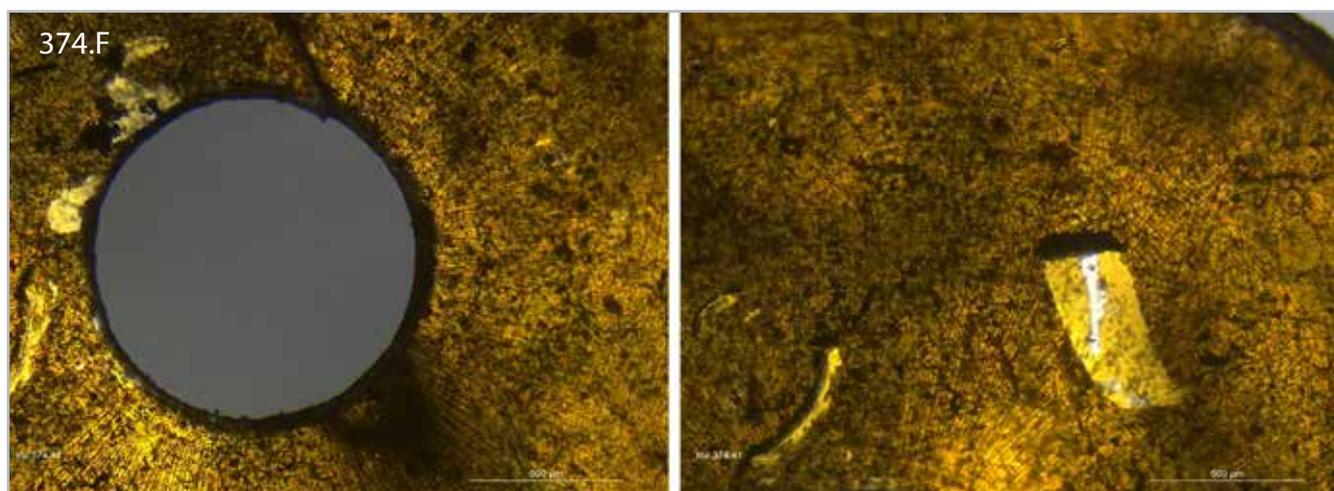


Figura 4.- . Microfotografía (50X) de las lentejuelas 374.C-374.D-374.L-374.O, en las que se observa su sección de corte transversal.

Excepto las lentejuelas que son opacas (374.E, 374.G y 374.Q), el resto han sido microfotografiadas observándose sus deterioros [Figura 5]. Se aprecia cierta repetición en las patologías que derivan de los factores intrínsecos en todas ellas, lo que sugiere que sean consecuencia del tipo de material constituyente (Shashoua 2008). Las muestras presentan fisuras interconectadas en todas las lentejuelas. Sin embargo, aunque parezcan semejantes, es posible observar tres tipos distintos de fisuras: un primer tipo de fisura interconectada donde aparecen puntos ennegrecidos; un segundo tipo, con fisuras interconectadas con un patrón más recto; y el último tipo con fisuras interconectadas con pequeños agujeros superficiales. En los dos últimos casos, de acuerdo con la bibliografía, hay una gran probabilidad de que se trate de materiales semi-sintéticos (nitrato de celulosa y acetato de celulosa) (Shashoua 2008). Este tipo de fisuras son muy comunes en materiales semi-sintéticos, principalmente en los primeros materiales plásticos desarrollados en la época de confección del turbante, como es el caso del nitrato de celulosa y el

acetato de celulosa. Otro tipo de material que genera este mismo patrón de fisuras interconectadas son las películas constituidas por proteína, como es el caso de la película de gelatina (Paulocik y Williams2010:46). En este caso se observan fisuras interconectadas con manchas oscurecidas que con el paso del tiempo han sufrido una pérdida acentuada de brillo. Algunas lentejuelas exhiben deformaciones como en la muestra 374.Q, esta alteración se presenta tanto si el soporte está formado por gelatina (374.C, 374.G, 374.M y 374.Q) o aparece como película policroma (muestra 374.A). En el caso de lentejuelas compuestas de nitrato de celulosa, también se han podido observar fisuras interconectadas, pero con un patrón más recto, principalmente cuando están formando parte de la película policroma (374.I, 374.J, 374.R), por otro lado, se ha podido detectar amarillamiento proveniente del proceso de envejecimiento del propio material.

El acetato de celulosa fue identificado en la mayoría de las muestras analizadas. En todas se observan fisuras interconectadas con la presencia de pequeños agujeros



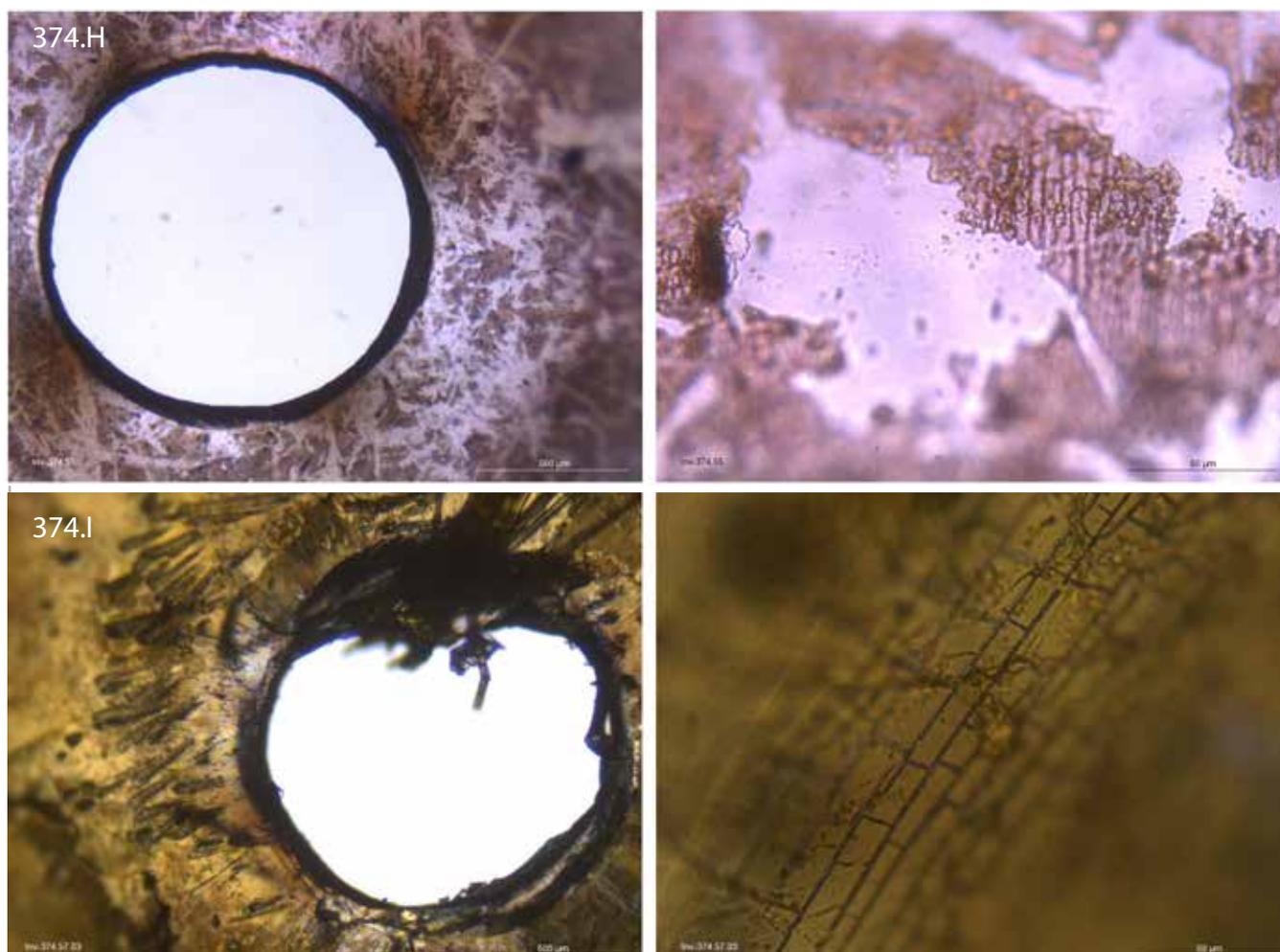


Figura 5.- Clasificación del tipo de degradación de las lentejuelas del turbante. En la microfotografía ampliada donde se aprecia el detalle del tipo de fisura. 374.F: Fisuras interconectadas con puntos ennegrecidos; 374H: Fisuras interconectadas con pequeños agujeros superficiales; 374.I: Fisuras interconectadas con un patrón más recto.

superficiales, principalmente en las lentejuelas fabricadas solamente con este material (374.B, 374.D, 374.E, 374.H, 374.L, 374.N, 374.O, 374.S).

La aparición de estos agujeros superficiales puede estar relacionada con la humedad del ambiente. Un problema adicional sujeto al acetato de celulosa consiste en el desprendimiento de ácido acético que puede acelerar la descomposición de materiales cercanos, como materiales sintéticos o resinas naturales [Fenn 2001:53].

También, en el examen microscópico de las películas de las lentejuelas es posible identificar deterioros extrínsecos causados por el contacto humano y uso de la pieza, como arañazos y abrasiones, ocasionando lagunas y pérdida de la capa policroma.

Identificación de materiales constituyentes de las lentejuelas mediante FTIR-ATR

Seguidamente, en la Figura 6 se presentan los espectros IR de tres muestras y en la tabla 3, se indican los resultados

obtenidos con la identificación de cada material constituyente para cada capa, tanto de soporte como película policroma en anverso y reverso presentes en todas las lentejuelas analizadas del turbante. La identificación química ha sido contrastada con la bibliografía existente, pudiendo concluir la presencia de tres tipos de materiales constituyentes en las lentejuelas:

Nitrato de celulosa: se evidencia por la presencia de los picos 1634 cm^{-1} y 1278 cm^{-1} los cuales se corresponden con el grupo funcional nitro ($-\text{NO}_2$) con estiramiento asimétrico y simétrico (*asymmetric and symmetric stretching*), respectivamente. El pico 1727 cm^{-1} representa la presencia del grupo carbonilo ($\text{C}=\text{O}$) y los picos presentes entre $1300\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ confirman la presencia de enlace C-O (éteres) (Shashoua 2008).

Acetato de celulosa: se identifican las bandas IR 1735 cm^{-1} correspondiente al grupo carbonilo ($\text{C}=\text{O}$) (estiramiento, *stretching*) y la banda 1366 cm^{-1} con el radical metilo ($-\text{CH}_3$) de los grupos acetilo. Las bandas IR 1214 cm^{-1} y 1030 cm^{-1} se corresponden con los enlaces $\text{COO}-$ y C-O en el grupo funcional éster (Vahur 2016:3373). Material

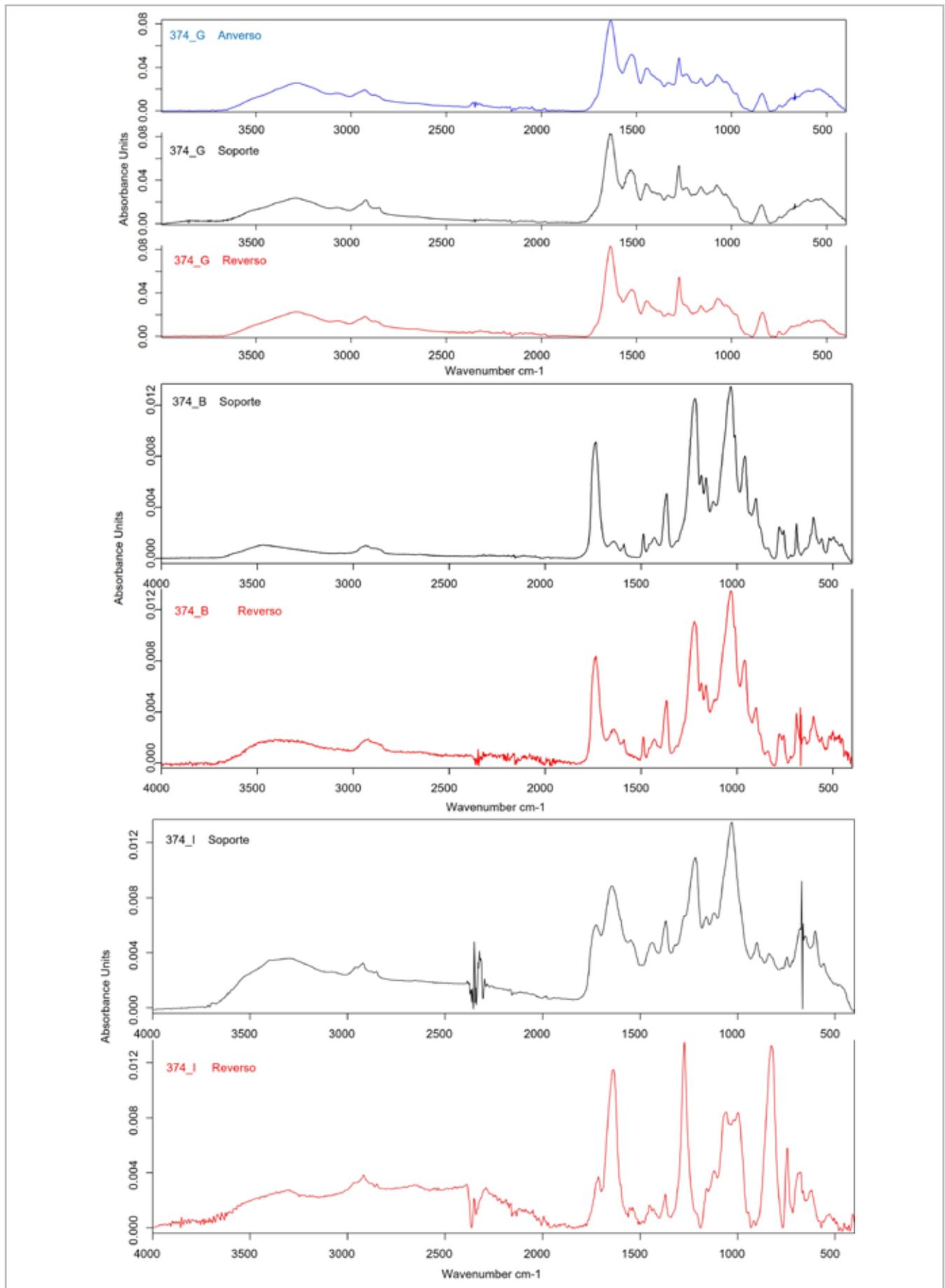


Figura 6.- Espectros FTIR de todas las capas (soporte, anverso y reverso) de tres lentejuelas 374.A – 374.B y 374.I.

Muestra	Ubicación/Identificación
374.A	Película de anverso: proteína Soporte: acetato de celulosa Película de reverso: proteína
374.B	Soporte: acetato de celulosa Película de reverso: acetato de celulosa
374.C	Película de reverso nitrato de celulosa Soporte: proteína
374.D	Soporte: acetato de celulosa
374.E	Soporte: acetato de celulosa
374.F	Película de anverso: acetato de celulosa Soporte: nitrato de celulosa
374.G	Película de anverso: proteína Soporte: proteína Película de reverso: proteína
374.H	Soporte: acetato de celulosa Película de reverso: acetato de celulosa
374.I	Soporte: nitrato de celulosa Película de reverso: nitrato de celulosa
374.J	Película de anverso: nitrato de celulosa Soporte: acetato de celulosa Película de reverso: nitrato de celulosa
374.L	Película de anverso: acetato de celulosa Soporte: acetato de celulosa Película de reverso: acetato de celulosa
374.M	Soporte: proteína Película de anverso: proteína
374.N	Soporte: acetato de celulosa
374.O	Soporte: acetato de celulosa
374.P	Película de anverso: acetato de celulosa Soporte dorado: nitrato de celulosa Soporte transparente: acetato de celulosa Película de reverso: acetato de celulosa
374.Q	Proteína
374.R	Película de anverso: acetato de celulosa Soporte: acetato de celulosa Película de reverso: nitrato de celulosa
374.S	Película de anverso: acetato de celulosa Soporte: acetato de celulosa Película de reverso: acetato de celulosa

Tabla 3.- Resultado de la identificación FTIR de materiales constituyentes de cada una de las capas de las lentejuelas del turbante.

proteico: se han identificado las bandas correspondientes al grupo funcional amida, propias de las proteínas, como son la banda IR entre 3700-3000 cm^{-1} correspondiente a la vibración de tensión del grupo NH, la banda IR de la amida I a 1626 cm^{-1} (enlace C=O), la banda IR 1521 cm^{-1} del enlace N-H con la vibración de flexión (amida II) y la banda IR 1235 cm^{-1} , correspondiente a la vibración de tensión asociada a una amida III (Vahur 2016:3373), según la bibliografía específica consultada sobre lentejuelas este material proteico podría corresponderse con gelatina (Shashoua 2008).

Esta identificación de los materiales orgánicos constituyentes de las lentejuelas del turbante, según la bibliografía (Shashoua 2008; Fenn 2001:53; Cheung 2007; Matsumura 2010:57; Noake 2017), los deterioros descritos anteriormente concuerdan y están ligados a cada uno de estos tipos de materiales.

Identificación elemental mediante SEM-EDX

Las muestras analizadas por SEM-EDX fueron aquellas que previamente en la observación directa y por microscopía óptica presentaban algún tipo de película metálica o con algún estrato de policromía cuya composición elemental pudiera ser determinada por este método. A continuación, en la Figura 7, se presentan los resultados obtenidos para las cuatro muestras seleccionadas. En la película policroma de la lentejuela 374.C se ha identificado plata (82,31% peso Ag) y azufre (3,98% peso S), lo que indica la presencia de productos de corrosión de sulfuros de plata (Ag₂S). En la muestra 374.D, se indican los resultados para el film del anverso y reverso. Así, en el análisis elemental de la capa del reverso se identifican Ag y S (61,11% peso Ag - 5,09% peso S) lo que puede interpretarse como un producto de corrosión correspondiente a sulfuros de plata (Ag₂S); mientras que en el film del anverso el análisis EDX corrobora la presencia de Fe, Cr y Ni, Au y Cu como elementos mayoritarios. A partir del color del estrato observado en las imágenes macro y microfotografías, se puede realizar una interpretación de las posibles combinaciones de elementos para obtener las aleaciones, en este sentido, cabe señalar la superposición de una aleación Fe-Cr-Ni (41,31% peso Fe - 8,84% peso Cr - 4,98% peso Ni) y sus productos de corrosión oxidados (20,80%O) con una capa de aleación de oro y cobre (19,65% peso Au, 4,42% peso Cu), o bien, aleación de Au-Ni y Cu (19,65% peso Au, 4,98% peso Ni, 4,42% peso Cu). En la muestra 374.L, en la que en sus imágenes macro y microfotografías se observa una superficie metálica con brillo plateado, en el análisis elemental EDX se ha identificado la presencia de Fe, Cr y Ni como elementos mayoritarios, pudiéndose interpretar como una aleación Fe-Cr-Ni (61,13% peso Fe - 10,44% peso Cr - 4,79% peso Ni) y sus productos de corrosión oxidados (23,64% peso O). En la muestra 374.O el análisis EDX de la capa policroma amarilla corrobora la presencia de Pb y Cr, lo cual se puede corresponder con el pigmento cromato de plomo (PbCrO₄) (53,71% peso Pb, 14,57% peso Cr).

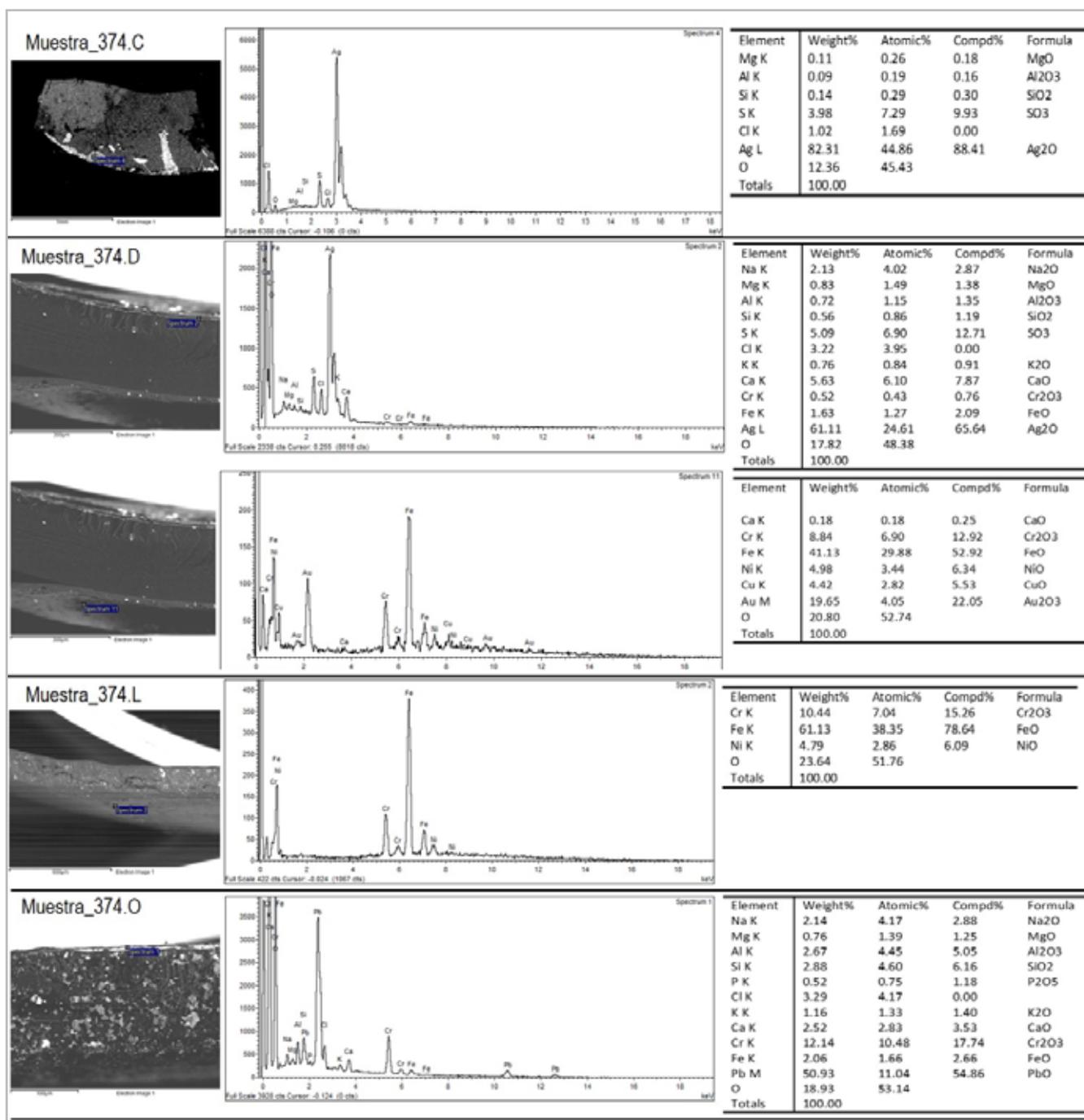


Figura 7.- Imágenes de electrones retrodispersados (BSE), espectros EDX con los resultados del microanálisis de las muestras 374.C, 374.D, 374.L y 374.O.

Conclusiones

La importancia del personaje de Carmen Miranda es evidente, no sólo para la historia de Brasil, sino por ser un icono de la moda de la cultura tropical popularizada por todo el mundo. Esto confiere un gran valor a la colección de indumentaria, fotografías y objetos personales utilizados por la artista. Se puede afirmar que lo que le otorga un carácter singular a esta colección, inicialmente ubicada en el Museo de Carmen Miranda (Rio de Janeiro), respecto a la conservación de piezas textiles, son los materiales constituyentes de las lentejuelas, los tejidos, metales y

estructuras. Algunos de los problemas más frecuentes encontrados por todo el mundo en colecciones de indumentaria de espectáculos principalmente de finales del siglo XIX y hasta mitad del siglo XX, surgen por estar fabricados con nuevos materiales algunos de baja calidad y económicos.

Con los análisis realizados en las lentejuelas del turbante de frutas (Nº inv.374) se ha confirmado la variedad de materiales que se pueden encontrar en las diferentes tipologías de lentejuelas, este hecho indica la diversidad de materiales comerciales que se podía encontrar en

esa época. En este sentido podemos afirmar que se han encontrado ocho estructuras estratigráficas diferentes: 1) lentejuelas con soporte transparente y capa policroma de diferente constitución; 2) películas metalizadas en anverso y reverso; 3) película metalizada solo por el reverso; 4) película policroma opaca en anverso y reverso; 5) película policroma opaca por el reverso; 6) película policroma opaca sólo por anverso; 7) película metalizada en el anverso y capa policroma en el reverso y 8) soporte transparente sin capa policroma.

La observación directa y mediante microscopía óptica nos ha mostrado una serie de problemas por uso o manipulación, tales como la suciedad generalizada, la existencia de abrasiones y faltantes en la superficie de las lentejuelas, así como deformación en algunas de ellas tanto en el soporte como en la película policroma. Otros aspectos por destacar es el viraje generalizado del color a tonos pardos y amarilleamiento y específicamente de algunas películas policromas. Este deterioro está probablemente ocasionado por la humedad relativa, la temperatura y la iluminación inadecuadas combinado con el propio deterioro intrínseco de los materiales semisintéticos y la suciedad acumulada.

Los resultados obtenidos mediante FTIR (comparados con patrones y bases de datos de muestras de referencia), evidencian que los soportes están constituidos por material proteico (probablemente, gelatina), nitrato de celulosa y acetato de celulosa. Esto se muestra a nivel microscópico en la presencia de fisuras interconectadas que son muy comunes en los materiales semisintéticos desarrollados en la época de confección del turbante. Un alto porcentaje de las lentejuelas analizadas están compuestas por acetato de celulosa y en todas se observan fisuras interconectadas con la presencia de pequeños agujeros superficiales, principalmente en las lentejuelas fabricadas solamente con acetato de celulosa. De menor representatividad es el caso de las lentejuelas compuestas de nitrato de celulosa, en ellas se han podido observar fisuras interconectadas con un patrón más recto, principalmente cuando están formando parte de la película pictórica. El siguiente grupo lo forman las películas de gelatina, en ellas se observan fisuras interconectadas con manchas oscurecidas y una pérdida acentuada de brillo. Además de las lentejuelas en las que se ha identificado un solo material, lo más común ha sido encontrar diferentes combinaciones estratigráficas de materiales, así el segundo grupo más numeroso son las lentejuelas formadas por nitrato de celulosa y acetato de celulosa. Son de menor representatividad las combinaciones de proteína y acetato de celulosa o proteína y nitrato de celulosa.

En cuanto a la composición elemental obtenida de las capas policromas con SEM-EDX, se ha logrado identificar los siguientes materiales: a) capas formadas por plata y sus productos de corrosión de sulfuros de plata; b) capas con la presencia de Fe, Cr y Ni, Au y Cu como

elementos mayoritarios. Se puede interpretar por el color de los estratos observado en las imágenes macro y microfotografías, la superposición de una aleación Fe-Cr-Ni con una capa de aleación de Au y Cu y sus productos de corrosión oxidados, o bien, una capa compuesta por la aleación de Au-Ni y Cu; c) Capas de policromía en la que se identificó Pb y Cr, sugiere que se encuentra formada por el pigmento cromato de plomo ($PbCrO_4$).

Con este estudio hemos puesto de manifiesto que las lentejuelas constituyen más de un 80% de la superficie del objeto, todas ellas se encuentran muy alteradas en su aspecto (color y/o brillo) lo que ha provocado un cambio grave y negativo en la correcta percepción de la pieza. Esto es debido en primer lugar a la naturaleza de los materiales constitutivos que debido a su composición química tienen un proceso de deterioro intrínseco. En segundo lugar, su inestabilidad química potenciada por las condiciones ambientales inadecuadas, las han afectado gravemente por que han generado productos de corrosión, alteración del color, fisuras y debilitamiento de los materiales entre otros problemas. A esto hay que añadir el movimiento y manipulación de las piezas a lo largo de su historia. Todo esto nos lleva a afirmar que, sin las medidas necesarias de conservación preventiva, es decir entorno con las condiciones controladas y adecuadas, así como almacenaje estable con ventilación y limpieza adecuada y exposición muy controlada y restringida se puede llegar a la pérdida total de la pieza.

Finalmente, indicar que este trabajo de investigación representa otro ejemplo de la enorme utilidad del estudio interdisciplinar como vínculo entre museos, profesionales de la conservación y restauración de textil y el laboratorio de análisis fisicoquímico o ciencia de la restauración, para lograr alcanzar una comprensión más profunda de los materiales sintéticos o semisintéticos utilizados en indumentaria del siglo XX, así como para estudiar vías y patrones de deterioro con la finalidad de plantear tratamientos de conservación óptimos y/o políticas de conservación preventiva.

Agradecimientos

Las autoras desean agradecer al Museo Carmen Miranda (Rio de Janeiro, Brasil) el acceso a esta pieza facilitando la presente investigación; asimismo, desean expresar un agradecimiento especial al grupo interdisciplinar de trabajo del Museo, Teresa Toledo de Paula, César Balbi, Vivian Fava, Nathalia Rocha y Alison Lister.

Por último, las autoras desean agradecer al Instituto Interuniversitario de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico, Departamento de Química de la Universitat Politècnica de València por facilitar el uso del espectrómetro FTIR-ATR; y a D. Manuel Planes i Insausti por el soporte técnico recibido en el Servicio de Microscopía Electrónica de la Universitat Politècnica de València.

Bibliografía

BAYMAN, L. y PINAZZA, N., (2013). *Directory of World Cinema: Brazil*. Bristol: Intellect Books, 15.

CHEUNG, A. (2007). "A study of sequins on a Cantonese opera stage curtain." En: *The future of the 20th century: collecting, interpreting and conserving modern materials*. Cantonese opera curtain. ROGERSON, C, coord. London: Archetype Publications Ltd, 122-128.

Comunicación personal. Información extraída del informe oficial del Museo Carmen Miranda producido en agosto de 2017 (no publicado).

DENNINSON, S. y SHAW, L. (2005). *Popular culture in the contemporary world: pop culture in Latin America! Media, arts and lifestyle*. California: ABC-Clío.

FENN, J. (2001). "Plastic, Beads and Buttons in Social History Collections: a dilemma". En: *Ethnographic beadwork: aspects of manufacture, use and conservation* WRIGHT, M, coord. London: Archetype Publications Ltd, 53-64.

GATTI, J. (2006). Carmen Miranda's white dress: ethnicity, syncretism and subaltern sexualities in springtime in the rockies. *Ilha do desterro: A journal of English language, literature in English and cultural studies*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 51: 93-108.

LASANE, A. *Five Sparkling Facts about Sequins*. [en línea]. <http://mentalfloss.com/article/84561/5-sparkling-facts-about-sequins>. [consulta: 15/12/2017]

MATSUMURA, M, EASTOP, D y GILL, K. (2010). Monitoring emissions from cellulose nitrate and cellulose acetate costume accessories: an evaluation of pH indicator dyes on paper, cotton tape and cotton threads. En: *The Conservator*. 26(1): 57-69. <https://doi.org/10.1080/01410096.2002.9995177>

MCCORMACK, D. *Spangle is a synonym for sequin* [en línea]. <http://thefanzine.com/spangle-is-a-synonym-for-sequin-2/>. [consulta: 08/12/2017]

NOAKE, A., LAU, D. y NEL, P. (2017). Identification of cellulose nitrate based adhesive repairs in archaeological pottery of the University of Melbourne's Middle Eastern archaeological pottery collection using portable FTIR-ATR spectroscopy and PCA. En: *Heritage Science*. 5:3. <https://doi.org/10.1186/s40494-016-0116-z>

OSETE-CORTINA, L., DOMÉNECH-CARBÓ, M.T., YUSÁ-MARCO, D.J., AHMADI, H. (2010). Multimethod analysis of Iranian Ilkhanate ceramics from the Takht-e Soleyman palace, en *Analytical Bioanalytical Chemistry*. 397:319-329. <https://doi.org/10.1007/s00216-009-3413-5>.

PAULOCIK, C y WILLIAMS, R. (2010). The chemical composition and Conservation of Late 19th and Early 20th Century Sequins.

En: *Journal of the Canadian Association for Conservation*. Canada: Canadian Association for Conservation. 35:46-61. https://www.cac-accr.ca/wp-content/uploads/2018/12/Vol35_doc5.pdf

PEDRETTI, C. *The Codex Atlanticus of Leonardo Da Vinci – A catalogue of its newly restored sheets*. Italy: 1978. <https://goo.gl/yUvVfQ>. [consulta: 12/12/2017]

SANT'ANNA, M. R. y MACEDO, K. B. (2013). Images of Latin America in the body and costume of Carmen Miranda's stylized baiana: social memory and identity. *Comunicação e Sociedade*. Portugal: Instituto de Ciências Sociais da Universidade do Minho, 24:186-209.

SHASHOUA, Y. (2008). *Conservation of plastics: material science, degradation and preservation*. Estados Unidos: Elsevier Ltd.

SHAW, L. (2013). *Carmen Miranda*. London: Palgrave Macmillan. TOTA, A.P. (2000). *O imperialismo sedutor: a americanização do Brasil na época da Segunda Guerra*. São Paulo: Companhia das letras

SPIVACK, E. *A history of Sequins from King Tut to the King of Pop*. [en línea]. <https://www.smithsonianmag.com/arts-culture/a-history-of-sequins-from-king-tut-to-the-king-of-pop-8035/>. [consulta: 10/12/2017]

The Dreamstress. *Terminology: sequins vs. Spangles (& their history in fashion)*. [en línea] <http://thedreamstress.com/2017/02/terminology-sequins-vs-spangles-their-history-in-fashion/>. [consulta: 10/12/2017]

VAHUR, S., TEEARU, A., PEETS, P., JOOSU, L. (2016). ATR-FT-IR spectral collection of conservation materials in the extended region of 4000-80cm⁻¹. En: *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. Alemania: Springer Berlin Heidelberg, 408 (13):3373-3379. <https://doi.org/10.1007/s00216-016-9411-5>

Autor/es



Marina Herriges

Marina.herriges@gmail.com

Textile Conservation Limited, en Bristol, Reino Unido

<https://orcid.org/0000-0003-3825-8093>

Máster en Conservación del Patrimonio Cultural por la Universitat Politècnica de València, España (2018). Tiene también un título de MPhil Textile Conservation por la University of Glasgow, Escocia (2020) y el título de Licenciatura en Arte, Conservación, Restauración de la Universidade Católica Portuguesa, Portugal (2016). Ha trabajado en una amplia variedad de instituciones de conservación en Brasil, Portugal, España y Reino Unido. Actualmente trabaja como Conservadora-restauradora textil en el taller Textile Conservation Limited, en Bristol, Reino Unido. Además, es parte del equipo directivo de la ONG Sustainability in Conservation.

**Sofía Vicente Palomino**svicente@crbc.upv.es

Dpto. Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Facultad de Bellas Artes (UPV)

<https://orcid.org/0000-0002-5260-4346>

Doctora en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la Universitat Politècnica de València. Profesora Titular de Universidad, en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, de la Facultad de Bellas Artes y responsable del Laboratorio de Restauración Textil en el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València. Especialista en Conservación y Restauración de Textiles, imparte diferentes asignaturas de esta área del Patrimonio. También ha participado y dirigido diversos proyectos de investigación centrados en el estudio de tejidos antiguos, caracterización e identificación de materiales, efectos de mordientes y tintes en el comportamiento y envejecimiento de tejidos, así como en la caracterización y el análisis de los materiales utilizados en la conservación y restauración de textiles antiguos.

Artículo enviado 11/11/2020

Artículo aceptado el 04/07/2022

<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.862>**Dolores Julia Yusá Marco**doyumar@crbc.upv.es

Dpto. Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Facultad de Bellas Artes (UPV)

<https://orcid.org/0000-0001-8207-3972>

Doctora en Química por la Universitat de València. Profesora Titular de Universidad en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, de la Facultad de Bellas Artes de la Universitat Politècnica de València (UPV). Investigadora miembro del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio (UPV). Como profesora imparte docencia tanto en el Grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales como en el Máster Oficial de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Sus asignaturas versan sobre la caracterización química de los materiales integrantes del Patrimonio, tanto a nivel de química básica como a nivel de técnicas analíticas instrumentales avanzadas. Ha dirigido un gran número de trabajos final de máster y de grado, y tesis doctorales. Lidera una línea de investigación basada en el desarrollo de metodologías de análisis y control para la caracterización química y de las propiedades mecánicas y dimensionales de obra textil, en la que ha desarrollado diversos proyectos de investigación en los que ha sido investigador principal. También, destacaremos su colaboración como investigadora en otras líneas de diferentes áreas de la Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Los resultados obtenidos han sido publicados en revistas científicas de elevado índice de impacto, así como en congresos nacionales e internacionales.

Evaluación de aglutinantes vegetales en pastas de caña de maíz para reintegración volumétrica de soportes leñosos

Valle Blasco-Pérez, Yazmin del Carmen Fraga Valero

Resumen: Esta investigación está enfocada al análisis de un conjunto de pastas elaboradas a partir de la médula de caña de maíz molida y aglutinada con dos productos de origen vegetal: el parénquima de nopal (chumbera) de la especie *Opuntia robusta* y el de la sábila o Aloe Vera de la especie *Aloe barbadensis*. La finalidad de las mezclas con diferentes combinaciones y proporciones de sus componentes es obtener una pasta que tenga las características adecuadas para su uso en la reintegración volumétrica de esculturas policromadas con soportes leñosos.

El análisis y comparativa de las probetas se ha llevado a cabo mediante la realización de pruebas que reflejan su comportamiento ante diferentes circunstancias y los factores de deterioro que inciden sobre ellas durante y después de su elaboración. Los resultados obtenidos muestran que las características y la degradación o alteración que presentan las hacen aptas en algunos casos para la restitución de faltantes de escultura policromada con soporte leñoso. La totalidad de la investigación ha sido desarrollada en México, donde la pasta de caña de maíz se ha utilizado frecuentemente como material escultórico, por tanto se trata de adecuar estos materiales tradicionales a la reintegración volumétrica cuando la compatibilidad lo permita, fomentando así el uso de materiales inocuos, accesibles y sostenibles.

Palabras clave: nopal, sábila, caña de maíz, escultura, reintegración volumétrica

Evaluation of vegetable binders in maize cane pasta for volumetric reintegration of wooden supports

Abstract: The present investigation is dedicated to the analysis of a set of pastas made from the marrow of ground maize cane and agglutinated with two products of vegetable origin: the cactus (chumbera) parenchyma of the species *Opuntia robusta* and the aloe (Aloe Vera) of the species *Aloe barbadensis*. The purpose of the mixtures with different combinations and proportions of their components, is to obtain a paste that has the suitable characteristics for its use in the volumetric reintegration of polychrome sculptures with woody supports and to promote the use of local, natural, non-polluting and sustainable products.

The analysis and comparison of the specimens was carried out by performing tests that reflect their behavior under different circumstances and the deterioration factors that affect them during and after preparation. The results obtained show if the characteristics and the degradation or alteration that they present make them suitable in some cases for the restoration of structural shortages in polychrome sculpture. All of the research has been developed in Mexico, where maize cane paste has been frequently used as a sculptural material, therefore it is about adapting these traditional materials to volumetric reintegration when compatibility allows it, promoting the use of harmless, accessible and sustainable materials.

Keywords: nopal, aloe, maize cane, sculpture, volumetric reintegration

Avaliação de aglutinantes vegetais em pastas de cana de milho para reintegração volumétrica de suportes lenhosos

Resumo: Esta investigação centra-se na análise de um conjunto de pastas feitas de medula de milho moída e aglutinada com dois produtos de origem vegetal: o parênquima de cacto de figo da pêra da espécie *Opuntia robusta* e o de aloe vera da espécie *Aloe barbadensis*. O objectivo das misturas com diferentes combinações e proporções dos seus componentes é obter uma pasta com as características adequadas para utilização na reintegração volumétrica de esculturas policromadas com suportes lenhosos.

A análise e comparação das peças dos provetes foi realizada através de ensaios que reflectem o seu comportamento em diferentes circunstâncias e os factores de deterioração que as afectam durante e após a sua elaboração. Os resultados obtidos mostram que as características e a degradação ou alteração que apresentam os tornam adequados em alguns casos para a restituição de suporte lenhoso em falta em escultura policromada. Toda a investigação foi realizada no México, onde a pasta de cana de milho tem sido frequentemente utilizada como material escultórico, pelo que o objectivo é adaptar estes materiais tradicionais à reintegração volumétrica quando a compatibilidade o permite, promovendo assim a utilização de materiais inócuos, acessíveis e sustentáveis.

Palavras-chave: nopal, aloé vera, cana de milho, escultura, reintegração volumétrica

Introducción

El estudio y evaluación de los materiales empleados en restauración son procesos imprescindibles e ineludibles, que deben realizarse sistemáticamente y mediante rigurosos protocolos a todos los productos factibles de ser aplicados sobre bienes culturales, con el fin de evitar incompatibilidades que pudieran derivar en el deterioro de las obras.

La restitución de faltantes, relleno de lagunas estructurales o reposición de soporte, son prácticas habituales en la restauración de esculturas para recuperar partes que se han perdido en la obra. Estas pérdidas suelen estar producidas por factores de origen antrópico, como golpes o actos vandálicos intencionados, o pueden deberse a la presencia de insectos xilófagos, puesto que muchas de las obras que se clasifican como escultura policromada se elaboran a partir de soportes de naturaleza leñosa (madera, fibras, caña de maíz, entre otros), productos vegetales que contienen los nutrientes adecuados para este tipo de insectos (Cruz *et al.* 2010).

De manera inadecuada en muchas intervenciones actuales se han empleado pastas de relleno con aglutinantes inapropiados que en algunos casos son poco compatibles con la obra. Por tanto, lo que el presente estudio trata de aportar es una propuesta nueva en la elaboración y aplicación de pastas de reintegración volumétrica, teniendo en cuenta los requisitos más importantes que deben cumplir: compatibilidad, estabilidad, inocuidad, buena adhesión y retratabilidad, utilizando para ello los mucílagos de dos plantas de origen americano, pero presentes ya en la flora mundial: sábila (*Aloe barbadensis*) y nopal (*Opuntia robusta*).

El objetivo principal es proponer una alternativa más a la reintegración volumétrica en esculturas policromadas con soporte lígneo y en las que sea posible el uso de pastas acuosas elaboradas a partir de estos productos vegetales en su función de aglutinantes, en las que la carga principal sea la médula de caña de maíz molida.

También es un objetivo fundamental el poder identificar, mediante la ejecución de diferentes pruebas y análisis, cuál de las pastas elaboradas es más estable y apta según su comportamiento frente a factores de deterioro, para ser utilizada con esta finalidad. Para poder corroborar esto de manera adecuada y confirmar la idoneidad de los materiales que componen las pastas, es importante evaluar su comportamiento analizando sus características físicas y mecánicas en laboratorio y comprobando su degradación tras su exposición a la intemperie.

Con esta investigación se pretende, además, dar a conocer las propiedades y promover el uso de recursos naturales, fomentando así la necesaria tendencia actual que se dirige a hacer más sostenibles y respetuosas las intervenciones de restauración en bienes culturales.

Antecedentes

La reintegración volumétrica de escultura policromada es una acción dentro del campo de la restauración que ha sido poco estudiada o simplemente poco innovada, limitándose normalmente a la utilización de los procesos ya establecidos o derivando en el uso de resinas sintéticas que no siempre resultan adecuadas y compatibles con la naturaleza material de la obra (Ferrandis 2017).

Por la variada y difusa información existente es difícil relacionar el uso de pastas de reintegración con un tipo de obra o problemática específica. Por lo común están ligadas al aglutinante que se utiliza, y de esta manera podrían ser clasificados en dos grandes grupos: naturales y sintéticos (Pérez Jordà 2014). Los de origen natural son de mayor uso en el campo de la restauración de bienes muebles (Legorburu Escudero 1999) y entre estos los más utilizados tradicionalmente han sido las colas animales, ceras, gomas, resinas y aceites. Una pasta de reintegración volumétrica puede tener uno o más aglutinantes y estos ser mezclados con cargas de entre las cuales, las más comunes, han sido el carbonato o sulfato de calcio, pero también el serrín de madera, el papel molido, o las harinas, entre otras.

Está comprobado el uso de adhesivos tanto de origen vegetal como animal para la realización de objetos cotidianos desde períodos muy tempranos en la historia de la civilización, siendo hasta el año dos mil antes de nuestra era cuando esta práctica se hace común, como es el caso de los murales de la tumba de Rekhmara en Tebas, donde se ha comprobado la utilización de adhesivos de origen natural para la elaboración de los procesos pictóricos (Liesa y Bilurbina 1990).

Pero no es hasta la revolución industrial cuando aparecen los primeros polímeros y con ellos comienza la experimentación para elaborar pastas con adhesivos sintéticos, siendo las décadas de los 80's y 90's del siglo XX, cuando se empiezan a utilizar masillas a base de acrílicos, vinílicos, siliconas y resinas epoxídicas («Historia de los adhesivos, cronología y evolución de los adhesivos y pegamentos.», s. f.).

En la actualidad se opta por el análisis y experimentación con materiales y procesos de restauración que puedan

mejorar los existentes, y mediante los cuales se logre la estabilidad estructural y estética de las obras a largo plazo. Ejemplo de ello es la presente investigación con la que se pretende ampliar los usos que hasta el momento se le han dado al parénquima, mucílago o baba de las plantas de nopal (*Opuntia robusta*) y sábila (*Aloe barbadensis*), usados y experimentados actualmente como consolidantes, fijativos y aditivos en la elaboración de morteros y pinturas a la cal, aplicadas en construcción y procesos de restauración de inmuebles históricos (Torres Soria *et al.* 2015).

La investigación y práctica con estos aglutinantes vegetales, sobre todo con el nopal (*Opuntia robusta*), ha dado a conocer resultados comunes en los que se refiere al mejoramiento de las propiedades físicas de los morteros, pinturas a la cal y pinturas murales en general, en las que suelen emplearse como aditivos. Esto se debe a que ambas plantas tienen propiedades comunes como la capacidad de formar redes moleculares y retener fuertemente grandes cantidades de agua, así como de modificar aspectos tales como textura, viscosidad y elasticidad, además de resultar buenos gelificantes, espesantes y emulsificantes (Pérez *et al.* 2015).

Su experimentación como aglutinantes en la elaboración de pastas para la restitución de faltantes de esculturas policromadas, puede dar como resultado el expandir sus usos en cuanto a la aplicación que se les ha dado hasta el momento, limitada a la intervención de bienes inmuebles.

Metodología

En el ámbito de la restauración de bienes culturales muebles, el comportamiento de los materiales aplicados en procesos de intervención siempre dará resultados diferentes y dependerá de una serie de factores que pueden o no controlarse. Algunos de los condicionantes que provocarán resultados diversos son: la naturaleza del material, calidad, proceso de obtención o elaboración, proporciones y forma de aplicación en la obra (Legorburu Escudero 1999).

Otro factor que hará reaccionar la pasta de caña de maíz es el medio en el que la obra se encuentra, pues no se produce el mismo comportamiento cuando el bien cultural se alberga en el interior de algún inmueble que cuando se encuentra situado a la intemperie, añadiendo a esto cada una de las variantes que tales circunstancias conllevan: humedad, temperatura, cambios climáticos, ventilación, iluminación, etc. (Blasco-Pérez 2015)

Por lo tanto, antes de emplear cualquier tipo de material en la restauración de un bien debe conocerse su comportamiento, es decir, cómo reacciona internamente ante sus propias características o propiedades y cómo lo hace en conjunto con el resto de los elementos que lo integran. [Figura 1]

Para conocer dicho comportamiento se ha procedido a la realización de 12 probetas de forma cilíndrica con una dimensión de 7 cm de diámetro por 4 cm de altura, con un



Figura 1.- Parénquima de la sábila (*Aloe barbadensis*) visto con microscopio estereoscópico a 8x. Se aprecia la forma hexagonal de las células (Elaboración propia 2017)

volumen total de 153,94 cm³, todas idénticas en tamaño para evitar añadir variables innecesarias.

A continuación se presenta un esquema de las variantes elegidas: aglutinantes, carga orgánica incorporada, carga inerte, fungicida (que permanece constante en todas las pruebas) y formas de extracción del aglutinante. [Figura 2] [Tabla 1]



Figura 2.- Vista de las 12 probetas. Se aprecia la diferencia de color y textura según la fórmula empleada (Elaboración propia 2017)

Probeta	Cantidad y tipo de aglutinante	Carga orgánica (caña de maíz) / g	Carga inerte (carbonato de calcio) / g	Carga inerte (pigmento) / g	Fungicida (ácido acético al 3% en agua) / ml	Método de extracción del aglutinante
1	150 ml Sábila (<i>Aloe barbadensis</i>)	20	0	0	2	Rallado
2	150 ml Sábila (<i>Aloe barbadensis</i>)	15	5	0	2	Rallado
3	150 ml Sábila (<i>Aloe barbadensis</i>)	15	0	5	2	Rallado
4	150 ml Sábila (<i>Aloe barbadensis</i>)	20	0	0	2	Cocción
5	150 ml Sábila (<i>Aloe barbadensis</i>)	15	5	0	2	Cocción
6	150 ml Sábila (<i>Aloe barbadensis</i>)	15	0	5	2	Cocción
7	150 ml Nopal (<i>Opuntia robusta</i>)	20	0	0	2	Rallado
8	150 ml Nopal (<i>Opuntia robusta</i>)	15	5	0	2	Rallado
9	150 ml Nopal (<i>Opuntia robusta</i>)	15	0	5	2	Rallado
10	150 ml Nopal (<i>Opuntia robusta</i>)	20	0	0	2	Cocción
11	150 ml Nopal (<i>Opuntia robusta</i>)	15	5	0	2	Cocción
12	150 ml Nopal (<i>Opuntia robusta</i>)	15	0	5	2	Cocción

Tabla 1.- Variables en las proporciones materiales para la elaboración de las probetas.

Durante y después de la elaboración de las probetas se ha llevado a cabo el análisis y la comparación entre sí de sus características, propiedades y comportamiento tras ser sometidas a diferentes pruebas para conocer su porosidad, absorción, pH, etc. Cabe aclarar que la metodología empleada comprende pruebas de comportamiento de carácter acumulativo.

Con el fin de evitar la aparición de microorganismos durante el secado de las pastas y etapas posteriores, fueron añadidas cantidades establecidas [Tabla 1] de ácido acético en una concentración del 3 % en agua. (Delhey *et al.* 2009)

En el momento de la elaboración, el parénquima fue incluido condicionado por el método de extracción: en el caso del rallado de las pencas, fue mezclado en frío; y con la extracción mediante cocción, el parénquima fue aplicado en caliente. Esto produjo, como se verá más adelante, una diferencia considerable en los resultados.

Al poseer las pastas distintas temperaturas, estas se midieron con un termómetro láser con el objetivo de determinar el comportamiento de las probetas

relacionando los resultados obtenidos con los dos procesos de extracción de los aglutinantes: en frío y caliente. Tras la extracción del parénquima en frío y caliente se realizaron las mezclas con las proporciones establecidas. Las pastas fueron aplicadas dentro de moldes de PVC hasta que secaron por completo y fueron retiradas. La intención en esta fase de la investigación es poder valorar la pasta en sí misma y determinar su comportamiento sin que se vea modificado o entre en interacción con ningún factor externo; por eso el uso de moldes de PVC que, debido a su naturaleza sintética, plástica e impermeable, permite la inalterabilidad del producto en evaluación.

Con una balanza digital la masa de cada probeta se registró diariamente, partiendo desde el día de su elaboración hasta conseguir el secado completo. De esta manera ha sido posible conocer la cantidad de agua que perdían diariamente, al igual que el lapso necesario para terminar el proceso de secado absoluto y la masa final de cada probeta. La temperatura promedio del espacio donde se albergaron las probetas durante su secado, ubicado en un interior, fue de 19,5 °C, con una humedad relativa (HR) del 67 %.

El pH, se midió en las pastas realizadas mediante la colocación de tiras indicadoras. Previo a la elaboración de las probetas fue registrado el pH de los productos utilizados puros: nopal, sábila y médula molida de caña de maíz, con el fin de poder analizar cómo cambia el nivel de pH al realizar las mezclas (Blasco-Pérez 2015). La medición se realizó inmediatamente después de su elaboración, es decir, cuando aún estaban frescas.

En el caso de la medición de capilaridad de las pastas se realizó la siguiente prueba: antes de comenzar se aplicó una capa impermeabilizante transparente en la superficie de cada una de las 12 probetas excepto en las caras que quedarían en contacto con el fondo del recipiente donde serían colocadas todas las probetas. Esto se hizo con el objetivo de limitar la absorción de agua solo a la zona en contacto con la superficie y evitar variaciones. Antes de ser acomodadas las probetas, fueron tomadas y registradas sus masas iniciales. Se añadieron 300 ml de agua purificada en la superficie del recipiente y durante un minuto se apreció la absorción de agua por los capilares de la cara donde no fue aplicado el impermeabilizante. Al término del lapso, las probetas se retiraron del agua y fueron pesadas nuevamente para conocer la cantidad de agua absorbida.

El análisis de absorción por inmersión se realizó sumergiendo en su totalidad las 12 probetas en un recipiente con agua purificada. Después de transcurrido un día en inmersión, se sacaron del agua, se colocaron en un papel secante e inmediatamente después se tomaron las masas con la balanza digital. Durante el segundo y tercer día, se repitió este proceso hasta comprobar que no había variaciones de masas, lo que indicaba que las probetas habían alcanzado el nivel máximo de absorción (Pérez Jordà 2014).

Posteriormente, las probetas fueron expuestas a la intemperie durante cinco meses estando en contacto directo con variaciones de temperatura, humedad relativa, viento, lluvia y sol. El periodo de exposición a los condicionantes atmosféricos, aunque en un principio pudiera parecer breve, se consideró suficiente para valorar los deterioros a corto plazo e intuir los posibles deterioros a largo, pues las consecuencias del intemperismo fueron analizadas y comparadas. Para medir la temperatura y la humedad a la que habían sido expuestas se utilizó un termohigrómetro que registraba las variaciones cada media hora. Para el resto de datos, como la velocidad del viento y las precipitaciones, se utilizó una aplicación para sistema Android versión 7.0.

Resultados

— Tipo de extracción del parénquima de las plantas

La temperatura mínima de aplicación del aglutinante fue de 23,3 °C en el caso de la probeta 9, y la máxima

temperatura fue de 44,4 °C en el caso de la probeta 12. La temperatura promedio de la aplicación del parénquima en las pastas fue: en frío 24,9 °C y en caliente 41,7 °C.

Con la extracción por rallado (frío) se logró un mayor aprovechamiento del parénquima, obteniendo hasta 500 ml. de una penca de nopal de la especie *Opuntia robusta*. De la penca de sábila, con una dimensión de 40 cm de largo y 7 cm de ancho de la especie *Aloe barbadensis*, se obtuvieron en promedio 90 ml.

Al mezclar las pastas, la adhesión con la médula de caña de maíz fue satisfactoria. La viscosidad de la sustancia permite crear una masa trabajable hasta dos días después de haber sido elaborada, ya que mantiene la adhesión necesaria para manipularla sin que se desintegre. Cuando el parénquima está en estado natural, mantiene su viscosidad y alta adhesión por lo que al combinarlo con la médula de caña es fácil obtener una mezcla homogénea de manera sencilla y rápida.

Mediante la extracción por cocción (caliente) el rendimiento es menor y el proceso es más lento debido a que se necesitan prolongados periodos de cocimiento de la penca (hasta 4 o 5 horas) para que el parénquima se desprenda por completo de la piel. Otro aspecto que se modifica durante el proceso de cocción es el color, debido a que se produce la oxidación de la sustancia por el calor. También disminuye la viscosidad y aumenta el contenido de agua, influyendo considerablemente en su poder adherente. Al elaborar las pastas con aglutinante caliente, es difícil cohesionar el parénquima con la caña de maíz y conseguir que la mezcla resulte homogénea, ya que estas se tornan granuladas y pulverulentas. Si la mezcla es manipulada en los días posteriores a su elaboración, previamente al secado, se desintegra debido a que no tiene la adhesión necesaria. Esto se produce porque al calentar las pencas de ambas plantas, cambia su composición química produciendo daños en las membranas celulares, las cuales desempeñan un papel clave en la estructura de los tejidos del parénquima. Por tanto, para la elaboración de las pastas, se plantea como mejor opción utilizar la extracción mediante rallado en frío.

— Análisis de modelado

La facilidad para modelar la pasta está directamente relacionada con la extracción del parénquima; aquellas probetas realizadas con el aglutinante frío mantuvieron la viscosidad y adhesividad necesaria para unirse correctamente con la médula de caña y manipularse con facilidad, ya sea para crear alguna forma o introducirse en un molde.

Los primeros días después de la elaboración de las pastas es posible volver a modelarlas o moldearlas, consiguiendo realizar con ellas cualquier volumen sin que lleguen a

desintegrarse, debido a que el aglutinante pierde agua y muy poco poder de adhesión.

En los casos en los que fue utilizado el parénquima extraído por cocción se redujo la maleabilidad de la pasta, pues al manipularla se pulverizaba y perdía agua que se quedaba en el área en la que era trabajada. Posiblemente el motivo de esto es la aportación extra y no mensurable de agua al incluirse líquido durante el proceso de cocción de la penca.

— Análisis del proceso de secado

La masa inicial de las pastas elaboradas tenía un valor entre 150 y 160 g, y al finalizar el proceso de secado llegaron a solo 19 g, es decir, perdieron en promedio cerca de 133.1 g, lo que representa el 87% de su masa inicial, que realmente corresponde al contenido de agua de la pasta.

Las probetas terminaron la mayor parte de su proceso de secado entre 23 y 32 días. Sin embargo, durante los primeros días del segundo mes posterior a su elaboración continuaron perdiendo agua en mínimas cantidades, entre 0,2 y 0,1 g diarios [Tabla 2]. Este fenómeno probablemente sea debido a la presencia y secado del líquido contenido naturalmente en la médula de caña de maíz.

Probeta	Tiempo de secado / días	Masa inicial / g	Masa final / g	Masa perdida / g	Pérdida de masa / %
1	24	151,0	19,3	131,7	87,2
2	24	154,6	19,5	135,1	87,3
3	24	151,6	19,1	132,5	87,4
4	28	149,9	19,9	130,0	86,7
5	24	153,6	19,5	134,1	87,3
6	28	159,5	19,9	139,6	87,5
7	32	142,6	19,8	122,8	86,1
8	31	148,0	19,4	128,6	86,8
9	23	144,3	10,8	124,5	86,2
10	28	156,9	19,9	137,0	87,3
11	24	158,6	19,8	138,8	87,5
12	29	162,7	19,9	142,8	87,7

Tabla 2.- Resultado de la pérdida de peso masa durante el proceso de secado.

— pH

Antes de realizar las mezclas, se midió el pH de los materiales utilizados para su elaboración, partiendo de un pH ligeramente ácido, ya que la sustancia parenquimática

de la planta de sábila (*Aloe barbadensis*) y nopal (*Opuntia robusta*) tienen ambas un pH de 5 y la médula de caña de maíz un pH de 7. [Figura 3]

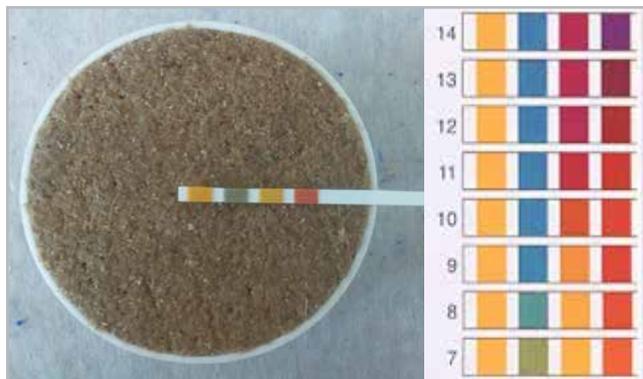


Figura 3.- Medición del pH en probeta número 1 con resultado 7,5 (Elaboración propia 2017)

Las 12 probetas en general alcanzaron un pH de entre 6 y 8, lo que indica que se mantienen aproximadamente dentro de rangos neutros que tienden a ser ligeramente ácidos o levemente alcalinos. Las pastas elaboradas con parénquima de nopal (*Opuntia robusta*) resultaron levemente más ácidas con unos pH de entre 6 y 7, mientras que las de sábila (*Aloe barbadensis*) se mantuvieron con un pH de entre 7 y 8, lo que indica que, en cualquiera de los dos casos, el pH de la mezcla de los productos es adecuado para su aplicación en bienes culturales.

— Capilaridad

La absorción de las pastas fue elevada, en promedio 0,70 ml/g de líquido en un minuto (tabla 3), abarcando la mitad de su volumen y altura total. Esto indica que el diámetro de los capilares es pequeño lo que provoca su rápida absorción.

En la mayoría de las probetas se apreció un nivel homogéneo alcanzado por el agua, debido a que la naturaleza de los componentes es semejante en todos los casos, la carga de polvo de médula de caña de maíz tiene una textura fina, lo que ocasionó que el agua fluyera hacia arriba más allá de lo que podría hacer el líquido en el caso de probetas con componentes más gruesos, es decir probetas en las que la médula y los parénquimas no fueron tamizados y colados de manera adecuada durante la elaboración de las pastas.

En las probetas en las que se utilizó el parénquima obtenido mediante cocción, se apreció una ascensión del agua un poco desigual lo que indica que en estas mezclas los componentes de las pastas tienen partículas de diferentes tamaños que han influido en aspectos como la cohesión, ya que las zonas de las probetas donde el agua subió heterogéneamente tendían a pulverizarse y desprenderse en pequeños fragmentos. [Tabla 3]

Probeta	Masa inicial / g	Mas tras 1 minuto / g	Agua absorbida / ml	Índice de absorción por minuto / ml*g ⁻¹
1	17,9	30,7	12,8	0,71
2	19,5	31,9	12,4	0,63
3	18,8	24,1	5,30	0,28
4	19,0	42,0	23,0	1,20
5	19,0	36,7	17,7	0,93
6	19,3	36,8	17,5	0,90
7	19,8	29,4	9,60	0,48
8	18,9	24,2	5,30	0,28
9	16,9	28,0	11,1	0,65
10	18,9	36,2	17,3	0,08
11	18,2	38,6	20,4	1,12
12	19,5	43,5	24,0	1,23

Tabla 3.- Resultado de la absorción por capilaridad

— *Absorción por inmersión*

La inmersión de las probetas de nopal (*Opuntia robusta*) fue ligeramente más rápida, posiblemente debido a que era un poco mayor la masa de dichas pastas que contribuyen a romper de manera más rápida la tensión superficial del agua en donde fueron sumergidas.

En la inmersión de las probetas, se logró apreciar que las elaboradas con parénquima de sábila (*Aloe barbadensis*) producían mayor cantidad de burbujas de aire que salían del interior, indicando una mayor porosidad que las hace más ligeras y más lentas para romper la tensión superficial del líquido y sumergirse.

Cuando las pastas eran sacadas del agua quedaban algunas partículas en el líquido, y en estos casos las probetas elaboradas con parénquima de sábila (*Aloe barbadensis*) obtenido por cocción fueron las que dejaron mayor cantidad de pasta pulverizada al humedecerse, indicando que existe una mejor cohesión en las mezclas con nopal (*Opuntia robusta*) y parénquimas extraídos por rallado.

— *Exposición a la intemperie*

Durante el tiempo de exposición de las probetas a factores ambientales (viento, humedad, temperatura, lluvia, etc.) los resultados fueron positivos para todas las pastas debido a que no se produjeron fragmentaciones por la pérdida de cohesión y las disgregaciones en las zonas aristadas que se presentaron fueron mínimas, lo que indica que la adhesión de los aglutinantes empleados con la médula de caña es buena.

Las probetas elaboradas con parénquima de nopal (*Opuntia robusta*) tuvieron menor resistencia al ser sometidas a estos factores de deterioro, pues trascurridos 15 días comenzaron a perder volumen, deformarse y agrietarse, a causa de la posible deshidratación de las partículas del aglutinante y debido a que el contenido de agua es mayor en el nopal (*Opuntia robusta*) que en la sábila (*Aloe barbadensis*), siendo este más susceptible a la degradación por la exposición directa al sol.

Las pastas con aglutinante de sábila (*Aloe barbadensis*) mantuvieron el volumen, la forma inicial y tampoco se agrietaron, sin embargo, en aquellas en las que se incluyó el carbonato de calcio como aditivo adicional se apreció una migración de color blanco hacia la parte inferior, consecuencia posible de la humedad y elevada porosidad de la pasta. [Figura 4]





Figura 4.- Comparación de las 12 probetas antes y después del proceso de envejecimiento por intemperismo (Elaboración propia 2017)

— *Deterioro biológico*

La presencia en las mezclas de ácido acético para evitar la aparición de *Sclerotinia sclerotioru*, el hongo más común en este tipo de preparaciones por las características de los componentes, (Delhey *et al.* 2009) u otro tipo de microorganismos, tuvo un resultado satisfactorio en la totalidad de las probetas sin importar el tipo de parénquima utilizado.

Discusión

En definitiva, las pastas resultantes de la combinación de la médula molida de caña de maíz con los aglutinantes vegetales extraídos de la especie *Opuntia robusta* y de la especie *Aloe barbadensis*, han brindado resultados satisfactorios.

El parénquima de ambas plantas obtenido mediante rallado (frío), tiene la viscosidad necesaria para crear una pasta con buena adhesión, y es estable frente a factores de envejecimiento. Presentó también la maleabilidad suficiente para poder obtener formas volumétricas mediante modelado o ser aplicada a un molde y poder ser desmoldada sin complicaciones y sin deformaciones tras el secado. [Figura 5]

El proceso de secado es paulatino y constante, lo que permite seguir trabajando las pastas de dos a tres días después de su elaboración, siendo esta una ventaja para



Figura 5.- Amasado de la pasta. Se observa la maleabilidad, la textura, la facilidad de modelado (Elaboración propia 2017)

el restaurador en el caso de que se presente la necesidad de realizar modificaciones o correcciones en el modelado o en casos en los que el proceso se dilate por tratarse de reintegraciones volumétricas de grandes dimensiones. En el caso de realizar reposiciones de faltantes de grandes dimensiones, por las características que las pastas han demostrado tener, podrían elaborarse mediante moldes con el fin de poder reproducir motivos seriados (ej. relieves o molduras en retablos dorados).

Otra de las ventajas es que no presentan contracciones o agrietamientos derivados del secado rápido como suele pasar en ocasiones con la aplicación de algunas pastas a base de cola animal o con aglutinantes sintéticos.

Con la medición de pH fue importante saber que las pastas elaboradas entran en rangos neutros de entre 6 y 8. Al realizar cualquier proceso de intervención, no sólo de esculturas sino de bienes muebles en general, se debe siempre evitar la aplicación de materiales que puedan aumentar drásticamente la acidez o basicidad de la obra, debido a que ambos extremos suelen ser factores de deterioro que pueden generar futuros daños. Comúnmente en el ámbito de restauración se da preferencia a la utilización de productos o materiales con pH neutro. Eso convierte a las mezclas elaboradas en productos aptos para su aplicación sobre obra artística.

Otra característica de las pastas fue su alta absorción, lo cual supone una desventaja en casos en los que la obra a reintegrar volumétricamente se encuentre en espacios con HR alta o al exterior. Sin embargo, se comprobó que los capilares de las pastas son pequeños y sus poros se encuentran interconectados, lo que favorece que el líquido absorbido no permanezca atrapado, por el contrario, facilite su circulación rápida en el interior de la masa entre los poros hasta salir nuevamente al exterior. [Figura 6]



Figura 6.- Pasta vista al microscopio estereoscópico a 8x. Se ve la forma de las células del parénquima mezclado con la caña de maíz molida (Elaboración propia 2017)

A diferencia de la madera que es afectada de diferente forma según la dirección de sus fibras, las pastas creadas con médula de caña de maíz molida tienen comportamientos isotropos, es decir, mantienen su forma en presencia de humedad debido a que los materiales constitutivos se encuentran en pequeñas partículas con variadas direcciones por lo que su comportamiento no depende de estos condicionantes.

Aunque las pastas mostraron buen comportamiento al ser sometidas a la intemperie, se determinó que las probetas

elaboradas con parénquima de nopal (*Opuntia robusta*) no soportaron correctamente los diferentes cambios de humedad, viento y temperatura. Las pastas elaboradas con sábila (*Aloe barbadensis*), por el contrario, resistieron altas y bajas temperaturas (entre 33 °C de máxima y 5 °C de mínima), sol, viento directo y cambios constantes de HR, (entre 19 y 94 %, con cambios bruscos de ± 40 % en 5 horas) presentando mínimos agrietamientos y cambios de color, además de muy poca retracción por secado en comparación a lo ocurrido con las pastas elaboradas con nopal (*Opuntia robusta*), lo que indica que sólo las elaboradas con aglutinante extraído del parénquima de sábila (*Aloe barbadensis*) podrían llegar a ser utilizadas para la reintegración volumétrica de esculturas albergadas al exterior.

Conclusiones

Con los resultados obtenidos hasta el momento, se puede proponer la elaboración de una pasta para reintegración volumétrica de esculturas policromadas a base de médula molida de caña de maíz como carga orgánica y el parénquima de sábila de la especie *Aloe barbadensis* obtenido mediante rallado como aglutinante, a las que además puede añadirse el Carbonato de Calcio como carga inerte adicional con la función de dar cuerpo a la mezcla y favorecer la adhesión de los componentes y ácido acético como aditivo con la función de fungicida.

De manera general y a modo de síntesis, las propiedades y características de estas pastas son: ligereza, buena adhesión y cohesión, pH neutro, maleabilidad, secado uniforme y paulatino, alta absorción, circulación fluida de la humedad, nula contracción, buen comportamiento ante los agentes atmosféricos del exterior, gran estabilidad al interior, nula toxicidad, resistencia a la presión de hasta seis veces su peso, además de que los materiales compositivos son completamente naturales y pueden ser obtenidos con facilidad debido a su presencia en abundancia en la flora de casi todo el mundo.

Pero de todas las probetas realizadas y con todas sus variantes compositivas, una de ellas resultó tener unas características ideales para el uso propuesto y mostró un comportamiento más estable que las demás ante las pruebas realizadas. Su composición y procedimiento de realización fue: como carga la médula seca y molida de caña de maíz, como aglutinante el parénquima de *Aloe barbadensis* extraído mediante rallado y como fungicida una pequeña porción de ácido acético al 3 %. Esta mezcla, a diferencia del resto, mantuvo mejor cohesión y menor degradación ante la manipulación y agentes de deterioro a los que se expuso, manteniendo su estabilidad física y química, su cohesión, su color original y su forma.

Aún queda mucho trabajo por realizar, varias líneas de investigación se abren a partir de esta, como por ejemplo la comparación mecánica de nuestras pastas con los

más comunes sistemas de reintegración volumétrica empleados en escultura, muchos de ellos sintéticos (resinas epoxídicas, masillas de aglutinantes a base de polímeros termoestables o termoplásticos, etc.); el contraste de los aglutinantes evaluados en esta investigación con otros también tradicionales como serían las colas de origen animal y naturaleza proteica, o la aplicación y evaluación del comportamiento del producto en diferentes piezas de obras reales que a priori resulten adecuadas para ser reintegradas con estas pastas. Es por ello que seguimos indagando, elaborando pruebas y análisis que permitan conocer más aspectos relacionados con esta investigación, y actualmente se continúa analizando la adhesividad que la pasta mantiene al contacto con superficies de madera y su comportamiento al ser aplicada sobre alguna base de preparación.

Existen muchas posibilidades pensadas sobre su versatilidad y actualmente algunas de ellas en proceso de análisis, como la factibilidad de pigmentarla o añadirle colorantes de origen natural, o poder elaborar moldes para el vaciado de ciertos materiales; quizás también pueda aplicarse para sustituir objetos hechos con madera, corcho o materiales sintéticos (como el poliestireno expandido o espuma de poliuretano), lo que aumenta sus usos más allá del campo artístico, pudiendo considerar su utilización en ramos industriales o de construcción gracias al elevado peso que una pequeña y ligera cantidad de pasta puede soportar.

Sin embargo, los resultados obtenidos hasta el momento son solo un indicio que permite reconocer la viabilidad y las propiedades adecuadas que la médula de caña, junto a los aglutinantes vegetales, posee para ser utilizada en la reintegración volumétrica de esculturas policromadas.

En definitiva, consideramos que esta investigación contribuye a enriquecer los estudios relativos a la conservación del patrimonio y supone una aportación que respalda y confirma la posibilidad de uso de unos materiales tradicionales, económicos, inocuos y de nulo impacto ambiental, que garanticen la sostenibilidad de los tratamientos de restauración.

Referencias

ACADÉMIE D'ORLÉANS (2001). *Duhamel du Monceau: 1700-2000: un européen du Siècle des Lumières*. Orléans: Académie d'Orléans.

BLASCO-PÉREZ, V. (2015). *Nace, crece y envejece. La imaginaria Novohispana de caña de maíz. Una aproximación al comportamiento del material*. Valencia: Universitat Politècnica de València.

CRUZ CHAGOYÁN, GABRIELA, OLVERA CORONEL, LILIA PATRICIA, & VELASCO FIGUEROA, IRAIS (2010). Los soportes de madera en esculturas policromadas mexicanas, restauradas en la ENCRyM. *Intervención* (México DF), 1(2), 34-45. Recuperado en 27 de junio

de 2022, de <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sciarttext&pid=S2007-249X2010000200006&lng=es&tlng=>.

DELHEY, R., KIEHR, M., ALLIEVI, M. I., LUSTO, J., FRAYSSINET, S., SIDOTI HARTMANN, B., ... SERVERA, A. (2009). "Sclerotinia sclerotiorum en plantas cultivadas e invasoras del sur pampeano y norte patagónico, Argentina", *Phyton* (Buenos Aires), 78 (2): 111-115.

FERRANDIS PINAZO, A. (2017). Nuevas masillas de relleno para reintegración volumétrica de escultura ligera en cartapesta y papelón. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/89382>

Historia de los adhesivos, cronología y evolución de los adhesivos y pegamentos. (s. f.). <https://www.losadhesivos.com/historia-de-los-adhesivos.html> [consulta: 20/12/2017].

LEGORBURU ESCUDERO, M. P. (1999). "Estucos o materiales de relleno". *Restauración & rehabilitación*, 28: 68-73.

LIESA, F., & BILURBINA, L. (1990). *Adhesivos industriales*. Barcelona: Marcombo.

PÉREZ JORDÀ, Z. P. (2014). *Masillas de relleno para la reintegración volumétrica de escultura lígnea*. Nuevas propuestas. Valencia: Universidad Politècnica de Valencia.

PÉREZ, N. A., CHARUA, D., & FERNÁNDEZ, S. (2015). Extracción y purificación del mucílago y goma de nopal para su uso en conservación. *Estudios sobre conservación, restauración y museología*, 2 (0). <https://www.revistas.inah.gob.mx/index.php/estudiosconservacion/article/view/5473> [consulta: 21/6/2018].

TORRES SORIA, P., CRUZ FLORES, S., PEÑA PELAÉZ, N. C., FERNÁNDEZ MENDIOLA, S. E., RODRÍGUEZ IBARRA, M. A., & CRUZ BECERRIL, A. (2015). "La baba y el mucílago de nopal, una alternativa natural para la conservación de acabados arquitectónicos de tierra". *Antropología. Boletín Oficial del Instituto Nacional de Antropología e Historia*, 0 (99): 92-114.

Autor/es



Valle Blasco-Pérez

valblape@crbc.upv.es

Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universitat Politècnica de València

<https://orcid.org/0000-0001-9500-3156>

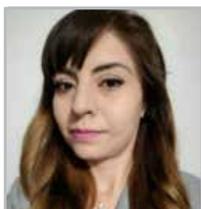
Doctora en Ciencia y Restauración del Patrimonio Histórico-Artístico (UPV). (2015) Tesis doctoral: Nace, crece y envejece. La imaginaria Novohispana de caña de maíz: una aproximación al comportamiento del material. Sobresaliente Cum Laude. Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales (UPV). (2007-2008). Licenciada en Bellas Artes (Universitat Politècnica de València) con especialidad en Conservación y Restauración de Bienes Culturales. (2002-2007).

Licenciada en Historia del Arte (Universitat de València) (1995-2000). Beca MAE-AECID (2008-2009) en la Real Academia de España en Roma. (2008-2009). Premio INAH "Paul Coremans" a la mejor tesis doctoral (2016). Profesora-investigadora de Tiempo Completo en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. (2012-2019). Profesora Contratada Doctora en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universitat Politècnica de València, España. (2019-actualidad). Líneas de investigación: Escultura Policromada, Comportamiento de los materiales en escultura ligera, escultura con caña de maíz, Patrimonio Rural, Proyectos de dinamización del patrimonio rural, etc.

Artículo enviado 01/02/2021
Artículo aceptado el 12/07/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.954>



Yazmin del Carmen Fraga Valero
casafragarestauraciones@gmail.com
Licenciada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales Muebles por la UASLP

Egresada de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. Obtiene en 2018 el título de licenciada en Restauración de Bienes Culturales Muebles mediante la tesis de investigación *Evaluación y aplicación de pasta de caña con aglutinantes autóctonos en procesos de restauración de escultura policromada*. Durante su formación académica participa en diferentes cursos, encuentros y congresos referentes a gestión, investigación y difusión del patrimonio cultural del estado de San Luis Potosí. Consigue obtener durante cinco años consecutivos la mención de Excelencia Académica, galardón que la Universidad otorga a alumnos con desempeño sobresaliente. En 2018 forma parte del Sexto Encuentro de Jóvenes Investigadores en el Estado con el tema de investigación *Evaluación y aplicación de aglutinantes autóctonos en procesos de restauración de escultura policromada*, obteniendo el primer lugar a nivel universitario público-privado y la oportunidad de asistir al Quinto Congreso Interinstitucional de Jóvenes Investigadores a nivel nacional. Ha colaborado en proyectos de investigación y restauración para el patrimonio cultural del estado. También ha participado en el análisis y registro gráfico de bienes muebles e inmuebles del Templo del Carmen, Panteón del Saucito y Panteón de Real de Catorce espacios ubicados en San Luis Potosí. Actualmente realiza intervenciones en bienes muebles de índole particular, además de investigaciones y experimentación de materiales naturales viables como alternativas para utilizar en procesos de restauración con los cuales puedan obtenerse mejores resultados en la compatibilidad química de materiales, mejorar apariencia estructural y estética, disminuir costos y la exposición del restaurador a materiales sintéticos, tóxicos o dañinos por el periodo prolongado de exposición.

La retícula de Kevlar® 49 como sistema de refuerzo en el tratamiento de rasgados en la conservación curativa de pintura sobre lienzo

Daniel Morales-Martín, Luis Rodrigo Rodríguez Simón

Resumen: En los últimos años la fibra de aramida, comercialmente denominada Kevlar®, ha sido utilizada en los tratamientos del soporte textil en pintura de caballete. Este material, presente en distintos formatos, tiene una serie de cualidades fisicoquímicas y morfológicas que lo hacen de interés para la consolidación local o general de los lienzos. En el siguiente trabajo se ha utilizado el hilo de Kevlar® 49 para confeccionar diferentes retículas que sirven como refuerzo puntual en la intervención de rasgados en los soportes de tela pintados. A través de 24 maquetas se han estudiado diferentes tipos de retículas que han sido sometidas a envejecimiento acelerado. Finalizados los ensayos se ha desestimado uno de los modelos testados debido a la rigidez del refuerzo realizado. Sin embargo, se han destacado las cualidades del resto de pruebas, demostrando que este material y la metodología de aplicación propuesta suponen un buen método de consolidación del soporte textil.

Palabras clave: Kevlar 49, retícula, desgarró, mínima intervención, pintura sobre lienzo, restauración

The Kevlar® 49 grid as a reinforcement system in the treatment of tears in the remedial conservation of easel paintings

Abstract: In recent years, aramid fibre, commercially called Kevlar®, has been used in the treatment of the textile support in easel paintings. This material, present in different formats, has a series of physical-chemical and morphological qualities that make it of interest for the local or general consolidation of canvases. In the following work, the Kevlar® 49 thread has been used to make different grids that serve as punctual reinforcement in the intervention of tears on the painted fabric supports. Through 24 models, different types of grids that have been subjected to accelerated ageing have been studied. Once the tests were finished, one of the tested models was rejected due to the stiffness of the applied reinforcement. However, the qualities of the rest of the tests have been highlighted, showing that this material and the proposed application methodology represent a good method of consolidating the textile support.

Keywords: Kevlar 49, grid, tear, minimal intervention, painting on canvas, restoration

A rede de Kevlar® 49 como sistema de reforço para o tratamento de rasgões na conservação curativa de pinturas sobre tela

Resumo: Nos últimos anos, a fibra de aramida, comercialmente conhecida como Kevlar®, tem sido utilizada no tratamento de suporte têxtil em pintura de cavalete. Este material, presente em diferentes formatos, tem uma série de qualidades físico-químicas e morfológicas que a tornam interessante para a consolidação local ou geral de telas. No trabalho que se apresenta, o fio Kevlar® 49 foi utilizado para fazer diferentes redes que servem como reforço pontual na intervenção de rasgões em suportes de tela pintados. Através de 24 maquetes, diferentes tipos de rede foram estudados e sujeitos a um envelhecimento acelerado. No final dos ensaios, um dos modelos testados foi rejeitado devido à rigidez do reforço. No entanto, salientaram-se as qualidades do resto dos testes, demonstrando que este material e a metodologia de aplicação proposta são um bom método para consolidar o suporte têxtil.

Palavras-chave: Kevlar 49, rede, rasgão, intervenção mínima, pintura sobre tela, restauro

Introducción

La conservación-restauración de pintura sobre lienzo ha experimentado un continuo y creciente desarrollo, tanto teórico como técnico, desde la segunda mitad del siglo XX hasta la actualidad. Estos avances conciernen a los principios de intervención de todos y cada uno de los múltiples y muy variados estratos que constituyen en conjunto la obra pictórica. No obstante, a partir de la conferencia internacional *Comparative lining techniques* celebrada en el Museo Nacional Marítimo de Greenwich en abril de 1974, el soporte textil, hasta entonces sacrificado sistemáticamente en aras de preservar el valor estético de la pintura, adquirió mayor relevancia al debatirse las aptitudes de los tratamientos por el momento realizados: la forración a la gacha y el entelado a la cera-resina (Hedley y Percival 1974). Desde entonces, los profesionales, con una visión multidisciplinar, han centrado su trabajo en la búsqueda continuada de tratamientos de conservación y restauración adaptados a las casuísticas específicas de cada obra y al criterio de mínima intervención. Este último, entendido como el sumo respeto por la originalidad histórica y material de la obra, considera la necesidad de conservación, siempre que sea posible, de todos los elementos intrínsecos a la naturaleza de la pintura y en la aplicación eficaz de tratamientos que supongan la mínima aportación material sobre ésta (Salas y Porras-Isla 2018: 31; Roudet 2009).

Hoy se cuenta con protocolos de actuación que buscan minimizar el carácter invasivo de los procesos de intervención y, a su vez, garantizar la reversibilidad o, en su defecto, la retratabilidad de los mismos sin cuestionar la estabilidad de la obra original (Salas y Porras-Isla 2018: 54). Estas pautas son la suma de experiencias profesionales que en el transcurso del paso del tiempo han incorporado distintos tratamientos de tipo local y nuevos materiales para paliar los deterioros del soporte textil en pintura de caballete. Actualmente, la adhesión hilo a hilo, diseñada por Winfried Heiber en la década de 1980, es uno de los tratamientos alternativos al entelado y a la colocación de parches más eficientes, ciñéndose estrictamente al área afectada. A pesar de conseguir una resistencia equiparable a la de un lienzo nuevo (100 gramos de carga por cada hilo intervenido), su propio autor reconoce la posibilidad de contar con un sistema de refuerzo adicional que garantice la estabilidad física de la unión (Hackney 2020: 202-206; Heiber 2007: 106). Como refuerzo se ha recurrido frecuentemente a la adhesión de parches de tela natural o sintética. Sin embargo, se ha demostrado que, al restringir localmente el movimiento natural del soporte, pueden llegar a marcarse por el anverso de la pintura (Orata 2010: 36).

Otros métodos de refuerzo son los cosidos quirúrgicos, las grapas (papel japonés, fibra de vidrio, tejido no tejido, entre otros), los puentes de hilo o los sistemas reticulados (Orata 2010: 46-50; Sánchez 2012: 93). Estos últimos, objeto de estudio del presente trabajo, tienen unas características de sumo interés práctico en la conservación curativa del soporte textil en pintura de caballete.

La retícula de hilos como sistema de consolidación de rasgados en la pintura sobre lienzo

Este sistema de refuerzo ha sido empleado, desde principios del presente siglo, para la consolidación del soporte textil en la pintura de caballete, utilizado como alternativa a otros tratamientos de tipo local, como la colocación de parches, o de tipo general, como el entelado.

Este método presenta una serie de ventajas frente a las intervenciones tradicionales. La retícula funciona en dos direcciones, horizontal y vertical, siguiendo la estructura básica del soporte, comportándose como un "tejido de trama muy abierta". Supone un aporte mínimo de peso a la obra y limita y localiza el adhesivo a los puntos de intersección de los hilos de la retícula. Este aspecto favorece la reversibilidad o retratabilidad del tratamiento (Orata 2010: 44). El principal inconveniente de la retícula es el posible encogimiento de los hilos al cortarlos del bastidor de tensado en el que se han preparado. Este fenómeno puede generar tensiones y deformaciones en el soporte, poniendo en riesgo la estabilidad física de la pintura. De este modo, Fratelli y sus compañeros (2008) determinan en su estudio que la retícula es un sistema de consolidación estructural que no puede realizarse de forma deliberada con cualquier material.

Los casos de estudio que se presentan a continuación demuestran que la retícula de hilos es un tratamiento de gran versatilidad: *La crocifissione di Dro* (anónimo, siglo XVI-XVII) y *L'Industria* (Bartolomeo Giuliano, siglo XIX), realizadas respectivamente por OCRA Restauri di Arco en 2006 y por la Galleria d'Arte Moderna de Milano en 2008, ambas con la participación del Centro per lo Studio dei Materiali per il Restauro (CESMAR7). De acuerdo con el estudio de Lilia Gianotti (2005), en los dos trabajos, el refuerzo general con la retícula comenzó siendo un sistema temporal de apoyo para estabilizar la obra durante su intervención. Sin embargo, pasaron a convertirse en un sistema de consolidación estructural definitivo que funcionaba, en el primer caso, como un "entelado flotante", y en el segundo, como un "forrado". Además, en la intervención realizada por OCRA se han combinado dos sistemas reticulados: el ya mencionado y el refuerzo local de injertos con una retícula de 1,0 cm de densidad (Tomasoni 2005; Fratelli *et al.* 2008). También en obras de pequeño y mediano formato se ha utilizado este sistema como tratamiento, pero ajustado al criterio de mínima intervención, para estabilizar y paliar las alteraciones del soporte textil (Buzzegoli, Ciatti y Kunzelman 2003).

El hilo de Kevlar® en la conservación-restauración

Kevlar es la denominación comercial de la fibra de aramida o PPT (poliparafenilentereftalamida) sintetizada en 1965 por la empresa Du Pont. Químicamente esta fibra orgánica se clasifica como una poliamida aromática. Está formada por grupos amidas, de los cuales un mínimo del 85% se encuentran unidos a dos anillos aromáticos, responsables de la rigidez de la cadena polimérica resultante. Ésta posee

una estructura unidireccional con una alta orientación molecular y casi cristalina. Estos aspectos estructurales son los responsables de sus óptimas propiedades: buena estabilidad dimensional, mínimo coeficiente de dilatación, alta resistencia a la tracción (valor anisótropo, mayor en dirección longitudinal que transversal) y a la fatiga, elevada capacidad de absorción de energía, buena amortiguación de las vibraciones, inercia química y estabilidad térmica, entre otras (García *et al.* 2010).

Existen dos tipos comerciales de esta resina: Kevlar® 29 y Kevlar® 49. Ambos poseen propiedades similares [Tabla 1], si bien, difieren en su presentación y en el fin de su utilización. El Kevlar® 29 está hilado, mientras que el Kevlar® 49, denominado hilo plano, se presenta como un haz de microfibras sueltas y paralelas entre sí. Éste último está diseñado para ser embebido en una resina. De este modo, los filamentos que conforman el hilo están tratados superficialmente para favorecer la impregnación de las resinas, lo que también influye en su absorción de humedad, próxima al 10 % (Besednjak 2009: 5).

La fibra de aramida se emplea, primordialmente, en la industria aeroespacial y armamentística como recubrimiento ignífugo de alta resistencia mecánica, entre otros usos. De este modo, las principales fuentes de información acerca de análisis formales, estudios de envejecimiento y aplicaciones, son textos ajenos al campo de la conservación-restauración. No obstante, al igual que sucedió con otros productos y materiales, las peculiaridades del Kevlar® no tardaron en llamar la atención de los restauradores. Trece años después de su descubrimiento, Parrini analizó sus propiedades en combinación con las de otras fibras con el objetivo de encontrar un tejido de alta resistencia para la forración de pinturas sobre lienzo (1978). Desde entonces, otros profesionales han seguido profundizando en el estudio de este material aplicado a la restauración de obras de arte. Como recogen en su publicación Ezio Buzzegoli y sus compañeros (2003), el investigador Viswah Raj Mehra, pionero en tratamientos alternativos al entelado de los lienzos en pintura de caballete, valoró la alta resistencia a la rotura y la ligereza de los hilos de aramida como propiedades fundamentales para su empleo. En los últimos años, se ha recurrido a este material como método de refuerzo alternativo a otros sistemas de intervención más invasivos, ha sido utilizado para la consolidación puntual o general de los soportes de tela pintados y sus distintas versiones de hilado han sido aprovechadas para la realización de puentes de hilo, de retículas y de otros refuerzos adicionales (Orata 2010: 62-63; Fratelli *et al.* 2008; Górecka *et al.* 2015).

Propiedades	Kevlar® 49	Kevlar® 29
Resistencia a la tracción (GPa)	2,8 – 3,4	2,8 – 3,0
Alargamiento a la rotura (%)	1,9 – 2,4	3,3 – 4,4
Resistencia específica (GPa cm ³ /g)	1,9 – 2,3	1,9 – 2,2
Módulo elástico (GPa)	120 – 186	58 - 80
Densidad (Kg/m ³)	1450 - 1470	1390 - 1440
Diámetro del filamento (µm)	12	12

Tabla 1. - Presentación de las propiedades físico-mecánicas de las dos modalidades comerciales de Kevlar® (Besednjak 2009: 5).

El hilo de Kevlar® 49 posee características físicas y formales que lo hacen más idóneo para la consolidación del soporte de lienzo. Por un lado, la mínima elasticidad de las microfibras que constituyen el hilo garantiza la estabilidad del método de refuerzo durante su manipulación; mientras que su mayor poder de humectación proporciona una mejor superficie de contacto entre el material y el reverso de la tela. Por otra parte, su presentación ofrece una gran versatilidad, de modo que se puede obtener un hilo más o menos ancho según la tensión aplicada a la hora de confeccionar el sistema de refuerzo seleccionado y, además, tiene la ventaja de alternar el corte y la terminación del hilo pudiendo dejarlo recto o abrir las fibras del cabo.

Dadas estas cualidades se ha considerado conveniente llevar a cabo la presente investigación con la finalidad de explorar las propiedades del hilo de Kevlar® 49 en la confección de retículas como sistema de refuerzo local del soporte textil.

Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es el de conocer el comportamiento y la idoneidad de la retícula de hilo de Kevlar® 49 como método de refuerzo de un desgarró en "L", previamente sellado. Los factores que se han medido en los ensayos han sido la densidad de la retícula, su modo de aplicación, la reversibilidad del tratamiento y su comportamiento en relación con el soporte textil ante unas condiciones de humedad, temperatura y radiación ultravioleta determinadas, así como comprobar de forma preliminar la estabilidad química del hilo utilizado.

Fase experimental

—Elaboración de las maquetas

Para el desarrollo de esta investigación se han elaborado 24 probetas cuya estructura pictórica está compuesta por una tela impermeabilizada y clavada perimetralmente a un bastidor de madera. No se aplicó ningún tipo de preparación, ni de imprimación, ni tampoco de pintura con el propósito de suprimir cualquier película de color que, posteriormente, pudiera interferir en la valoración visual de las posibles alteraciones generadas en el anverso del lienzo a causa del sistema de refuerzo objeto de estudio.

Sobre un bastidor de 19 x 24 cm se ha tensado una tela 100 % de lino con ligamento de tafetán simple y una densidad de 14 x 12 hilos/cm². Siguiendo las indicaciones del tratadista Francisco Pacheco, como capa aislante o de impermeabilización se aplicó cola de conejo al 9 % en frío, es decir, coagulada (Pacheco 1982: 113). En cada maqueta se realizó un desgarró horizontal en forma de "L" de 10 x 5 cm. A continuación, se sellaron los desgarró con cola de esturión al 20%, espesada con almidón de trigo al 18% en una proporción de 1:1.

El hilo de resina de aramida utilizado ha sido el modelo BHK805TEX de la casa comercial *ClipCarbono*. Es un hilo plano con un ancho de 1,5 mm y un espesor de 0,07 mm, aproximadamente [Figura 1]. Los microfilamentos que conforman el hilo tienen un peso de 0,805 g/m, una densidad de 1,45 g/m³, una resistencia a la tracción de 2,880 MPa, un módulo de tracción de 100 GPa y un alargamiento a la rotura del 2,8% (VV.AA. 2018).

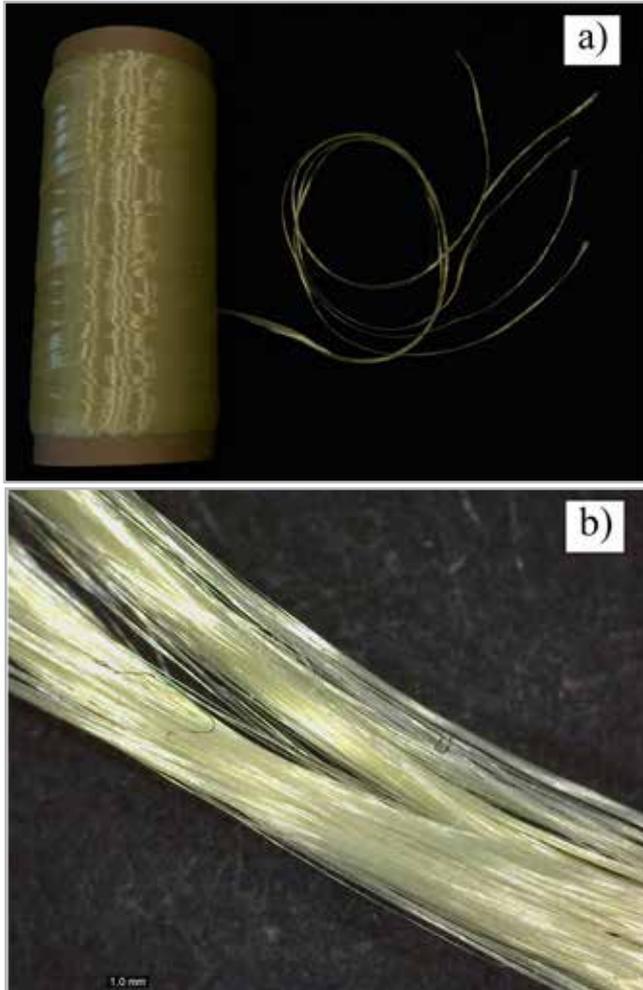


Figura 1.- a) Formato comercial del hilo de Kevlar® 49 modelo BHK805TEX. b) Microfotografía (Dino-Lite AM3113T) del mismo hilo donde se observan los microfilamentos que lo conforman.

Se han ensayado tres tipos de retícula con una densidad de 0,5 cm, 1,0 cm y 1,5 cm. Para su realización se han construido tres bastidores de madera (uno por modelo) con unas dimensiones de 15 x 11 cm. En cada canto se han practicado una serie de ranuras con una separación de 0,5 cm; 1,0 cm y 1,5 cm. La confección de la retícula de 0,5 cm ha requerido un total de 7 metros de hilo, la de 1,0 cm 4 metros y la de 1,5 cm 2,5 metros. A la hora de hacer la retícula se ha modulado manualmente el hilo, obteniendo así un refuerzo cuyos hilos tienen un ancho de 1,5 mm (formato comercial) [Figura 2 a] y otro con una medida de 0,7 mm aproximadamente [Figura 2 b y c]

Para determinar las dimensiones del refuerzo se estimó un margen de 3 cm a cada lado del desgarro. De este modo la retícula cubre un área de 126 cm². Según su densidad se tendrán más o menos puntos de unión en esta área. En las retículas de 0,5; 1,0 y 1,5 cm se cuenta respectivamente con 280, 68 y 44 puntos de unión.

La adhesión de la retícula al reverso de la tela de la maqueta se ha realizado con una dispersión acrílica (Plextol® B500) diluida al 40 % en agua y posteriormente espesada con metilcelulosa en una proporción del 4 % respecto al peso total de la disolución. El refuerzo se ha adherido de forma directa e indirecta. En el primer caso se ha colocado la retícula (tensada en su bastidor) sobre la zona a consolidar y en la intersección de los hilos de Kevlar® se ha aplicado el adhesivo, dejándolo secar bajo peso ligero. En el segundo caso los puntos de la mezcla a base de Plextol® B500 se han puesto por la cara de la retícula que va a estar en contacto directo con el soporte. Cuando el adhesivo ha alcanzado el estado de mordiente, se ha colocado la retícula sobre el rasgado facilitando la unión mediante peso ligero durante el secado.

Una vez el refuerzo está correctamente adherido al reverso de la maqueta, se han cortado los hilos para liberar la retícula del bastidor de tensado. Para evitar crear un filo recto que pueda marcarse por el anverso de la tela, se ha alternado el largo de los hilos entre 1,0 y 0,5 cm. De este modo, se traza una línea en zig-zag. Se han ensayado dos formas de terminación de los cabos: rectas, tal cual quedan una vez cortados [Figura 2 b], y abiertas, separando las fibras del hilo con una sonda de exploración dental [Figura 2 a y c]. El segundo formato guarda cierta similitud con los sistemas tradicionales (desflecado)

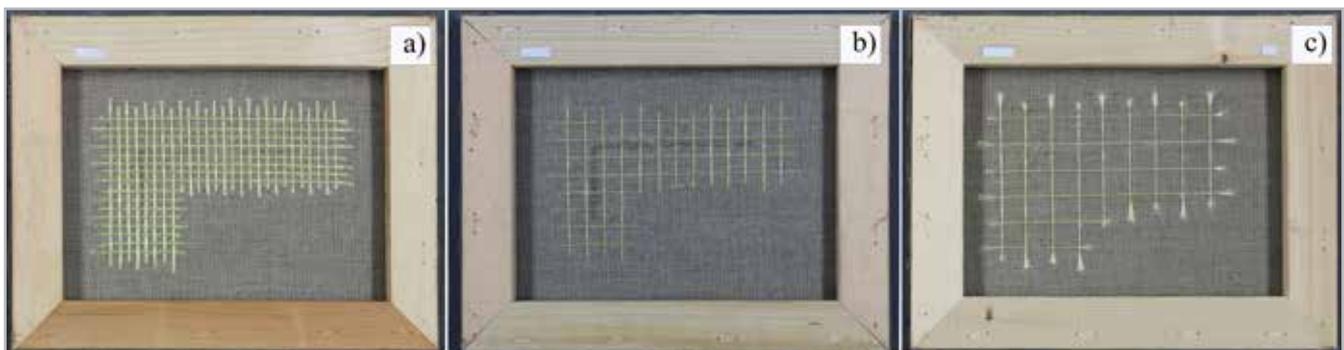


Figura 2.- Fotografías del reverso de las maquetas 3, 14 y 23 donde se muestran algunos de los diferentes modelos de retículas de refuerzo analizados.

utilizados en la manipulación de las telas para minimizar las marcas del tejido nuevo en el anverso de la obra tras adherir un parche (Calvo 1997: 166). La adhesión se hizo de acuerdo con el método utilizado para la unión de la retícula, de forma directa e indirectamente [Tabla 2].

Maqueta	Densidad de la retícula	Ancho del hilo de la retícula	Terminación del hilo de la retícula	Adhesión de la retícula
1	0,5 cm	1,5 mm	Recta	Directamente
2	0,5 cm	1,5 mm	Recta	Indirectamente
3	0,5 cm	1,5 mm	Abierta	Directamente
4	0,5 cm	1,5 mm	Abierta	Indirectamente
5	0,5 cm	0,7 mm	Recta	Directamente
6	0,5 cm	0,7 mm	Recta	Indirectamente
7	0,5 cm	0,7 mm	Abierta	Directamente
8	0,5 cm	0,7 mm	Abierta	Indirectamente
9	1,0 cm	1,5 mm	Recta	Directamente
10	1,0 cm	1,5 mm	Recta	Indirectamente
11	1,0 cm	1,5 mm	Abierta	Directamente
12	1,0 cm	1,5 mm	Abierta	Indirectamente
13	1,0 cm	0,7 mm	Recta	Directamente
14	1,0 cm	0,7 mm	Recta	Indirectamente
15	1,0 cm	0,7 mm	Abierta	Directamente
16	1,0 cm	0,7 mm	Abierta	Indirectamente
17	1,5 cm	1,5 mm	Recta	Directamente
18	1,5 cm	1,5 mm	Recta	Indirectamente
19	1,5 cm	1,5 mm	Abierta	Directamente
20	1,5 cm	1,5 mm	Abierta	Indirectamente
21	1,5 cm	0,7 mm	Recta	Directamente
22	1,5 cm	0,7 mm	Recta	Indirectamente
23	1,5 cm	0,7 mm	Abierta	Directamente
24	1,5 cm	0,7 mm	Abierta	Indirectamente

Tabla 2.- Relación de las características de las retículas de refuerzo testadas en el estudio.

Envejecimiento acelerado en cámara climática

El estudio de envejecimiento acelerado se ha realizado en una cámara climática de la marca Memmert, modelo HPP110. Se ha establecido una temperatura de 50°C y una humedad relativa oscilante entre el 30% y el 90%. En el interior de la cabina se han incorporado dos lámparas Vilalta de luz día con radiación ultravioleta de 20W. El tiempo de exposición de cada maqueta ha sido de 192 horas.

Análisis colorimétrico

La evaluación de la estabilidad química del hilo de Kevlar® 49 se ha llevado a cabo a través de su medición colorimétrica antes, durante y después del proceso de envejecimiento artificial. Se ha utilizado un colorímetro PCE-TCR 200. Las mediciones se han tomado en muestras del hilo BHK805TEX tras 0, 24, 48, 72 y 192 horas de exposición en la cámara climática. Se han tomado 3 medidas consecutivas sobre el mismo punto. La evaluación de las variaciones cromáticas se realizó de acuerdo al espacio CIE 1976 que está definido por tres coordenadas cartesianas. Un eje vertical representa la *claridad* del color (L) y dos ejes perpendiculares en plano a L constituyen las *coordenadas cromáticas* (verde : $a^* < 0 < a^*$: rojo ; azul : $b^* < 0 < b^*$: amarillo) (Doménech 2018: 240).

Examen con luz rasante

La estabilidad mecánica de cada retícula en relación con los movimientos del soporte pictórico se ha evaluado cualitativamente mediante la observación de las maquetas con luz rasante antes y después del proceso de envejecimiento acelerado.

Reversibilidad

Una vez finalizado el proceso de envejecimiento artificial se estudió la reversibilidad de cada retícula. Para ello, se levantó manualmente el refuerzo tirando de él en sentido horizontal y con un ángulo plano respecto al reverso de la maqueta. Los residuos generados tras esta operación se evaluaron cualitativamente a diferentes escalas de aumento y bajo luz visible y luz ultravioleta con un microscopio digital USB, marca Dino-Lite y modelo AM3113T.

Resultados y discusión

—Observaciones previas

Durante la reproducción del rasgado en las maquetas 2, 5, 10, 16 y 24 se produjo, a causa del impacto de la herramienta utilizada, una pequeña deformación que dio lugar a la falta de proximidad entre los cabos de los hilos seccionados [Figura 3]. Para homogeneizar el trabajo y los resultados no se realizó ningún tipo de intervención para conseguir su aproximación.

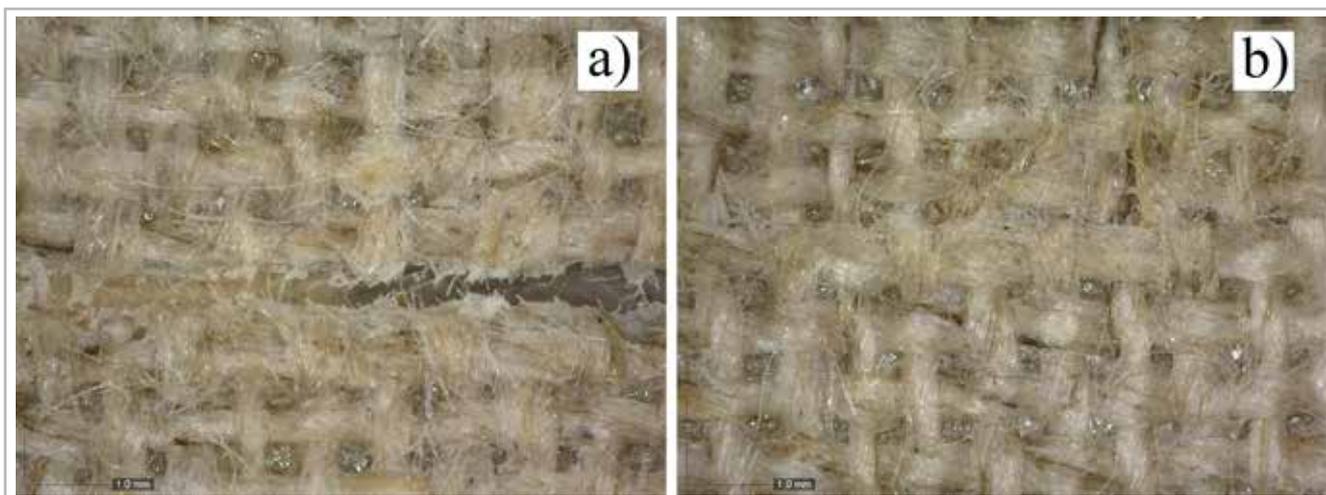


Figura 3.- Microfotografías tomadas con un microscopio digital USB en la zona de sutura del rasgado. a) Detalle de la falta de proximidad entre los cabos seccionados. b) Detalle de un desgarro correctamente sellado.

Evaluación del envejecimiento del hilo de Kevlar® ante radiación ultravioleta

Tras realizar las mediciones colorimétricas del hilo de Kevlar® 49 a lo largo de su exposición a radiación ultravioleta se ha detectado un cambio cromático en el eje de coordenadas a* [Tabla 3]. Esta variación se produce rápidamente, de modo que, pasadas 24 horas, el valor Δa^* es igual a 1. Este parámetro sigue en aumento hasta finalizar el ensayo (192 horas $\Delta a^* = 3,10$). A partir de 96 horas bajo dicha fuente de iluminación el cambio es perceptible por el ojo humano, ya que el valor ΔE^* es superior a 3 ($\Delta E^* = 3,02$ y $\Delta E^* = 3,22$ a 96 y 192 horas de exposición respectivamente).

Horas	L	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
0	66,05	-4,29	22,48	-	-	-	-
24	65,64	-3,29	21,46	0,41	1,00	1,02	1,79
48	65,21	-2,34	21,92	0,84	1,95	0,56	2,20
72	64,99	-2,18	22,02	1,06	2,11	0,46	2,40
96	65,42	-1,34	22,71	0,63	2,95	0,23	3,02
192	65,26	-1,19	22,09	0,79	3,10	0,39	3,22

Tabla 3.- Resultados del análisis colorimétrico del hilo de Kevlar® 49 durante su exposición a radiación ultravioleta.

A pesar de la resistencia inicial del hilo de Kevlar® a factores como la tracción mecánica, la humedad, la temperatura y los agentes contaminantes (Mead et. al. 1982), este presenta una gran inestabilidad frente a la radiación ultravioleta, concretamente a la región del ultravioleta cercano, 350-420 nm. Este agente de degradación ejerce un proceso de fotooxidación en el grupo amida que constituye la estructura molecular de este material. Además de un cambio cromático, el resultado de esta alteración puede hacer que la fibra pierda hasta el 50% de su resistencia mecánica, si bien, este fenómeno se produce ante condiciones extremas como las establecidas en el ensayo realizado (Zhang et al. 2006).

Valoración del comportamiento mecánico de la retícula de Kevlar® 49 en relación al soporte textil

Durante el proceso de envejecimiento acelerado en cámara climática el soporte textil de las maquetas ha experimentado movimientos de expansión y contracción debido a las oscilaciones higrométricas. Este fenómeno se ha reflejado conjuntamente en el lienzo y en las retículas de refuerzo.

El investigador Alain Roche analiza el comportamiento ante variaciones termohigrométricas del tejido de lino impermeabilizado con cola de origen animal y tensado en un bastidor (2003: 28-31). Según estos, los soportes con dichas características experimentan el siguiente proceso: a una humedad relativa baja, en torno al 15%, se mantiene la tensión inicial de la tela; a partir del 25% de humedad comienza a producirse una caída lineal de la tensión, la cual alcanza el valor mínimo cuando la humedad es del 70%, punto en el que el estrato de cola se encuentra completamente relajado. De este modo, cuando la humedad relativa sigue en aumento, el soporte textil impone su comportamiento, iniciándose así un proceso de tensado. Ante estas condiciones ambientales el tejido se tensa rápidamente debido al hinchamiento de los hilos que lo constituyen. Esta propiedad es de carácter anisótropo, siendo mayor en el sentido de la trama que en el de la urdimbre. Sin embargo, el nuevo valor de tensión no es igual al inicial, el cual no vuelve a alcanzarse.

Los soportes de estas características tienen dos intervalos críticos frente a fluctuaciones termohigrométricas. El primero se sitúa entre el 30% y el 60% de humedad relativa, momento en el que empieza a decaer la tensión de la tela hasta aproximarse a su valor mínimo; y el segundo, está comprendido entre el 85% y el 90% de humedad, cuando la tela empieza a recuperar tensión.

Una vez finalizado el ensayo se ha visto cómo la tela está correctamente tensada, sin apreciarse ningún tipo

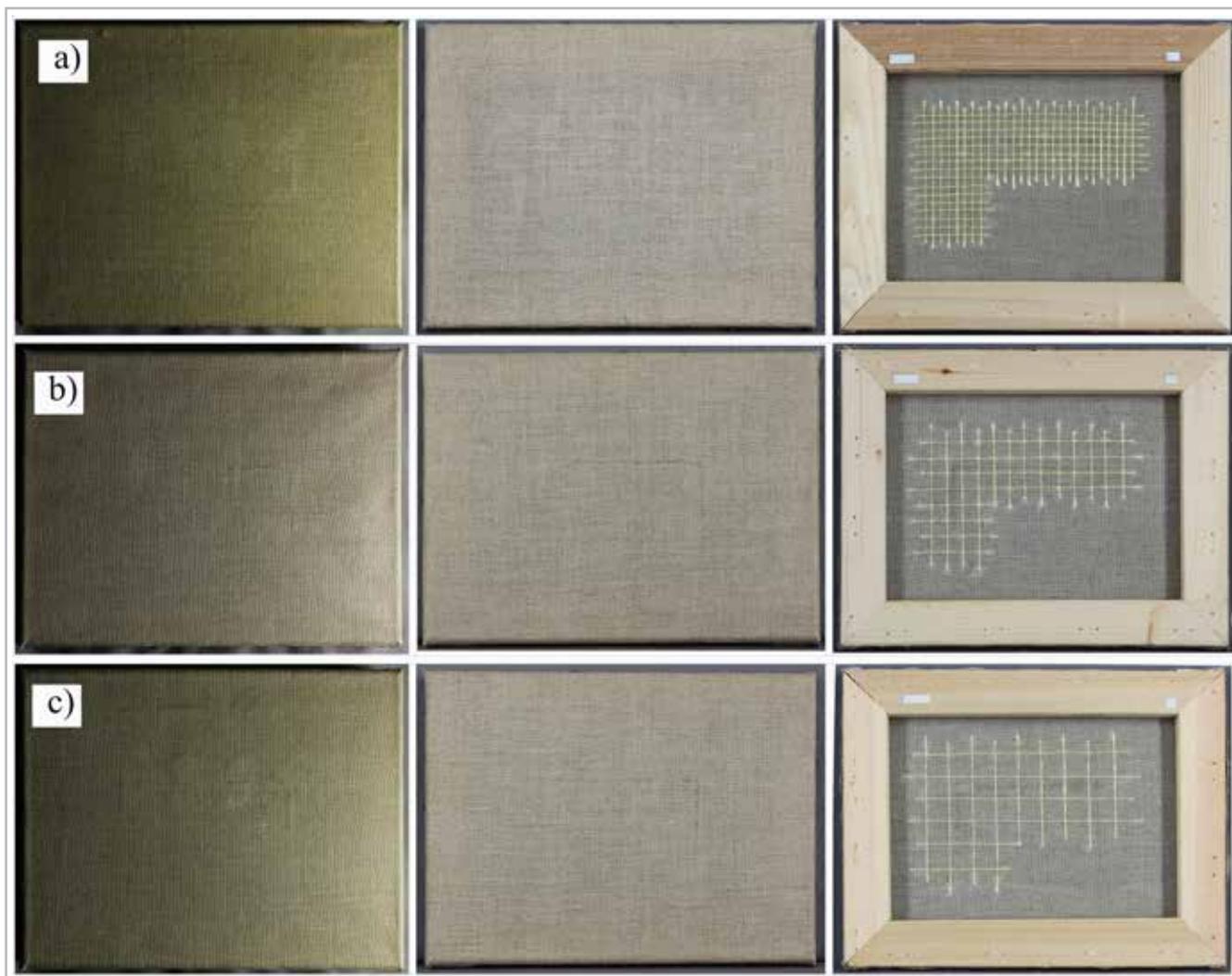


Figura 4- a) Secuencia fotográfica de la maqueta 7 tras finalizar el ensayo en cámara climática: anverso visto con luz rasante y visible y reverso. b) Secuencia fotográfica de la maqueta 15 tras finalizar el ensayo en cámara climática: anverso visto con luz rasante y visible y reverso. c) Secuencia fotográfica de la maqueta 22 tras finalizar el ensayo en cámara climática: anverso visto con luz rasante y visible y reverso.

de interferencia por parte del refuerzo del reverso, independientemente de la densidad de la retícula y de su modo de adhesión [Figura 4]. Sin embargo, observando la retícula se puede ver cómo en esta sí se han producido una serie de fenómenos que se describen a continuación y que varían en función de la densidad de los hilos que la constituyen.

El refuerzo con una densidad de 0,5 cm se ha despegado en algunos puntos, lo que ha generado una serie de abolsados que se acentúan en la parte circundante al rasgado [Figura 5]. Esto se debe a que este modelo de retícula genera un refuerzo rígido incapaz de adaptarse adecuadamente a los movimientos de la tela. Ante la relajación del tejido y su posterior tensado los puntos de unión de la retícula se han despegado para poder liberar la tensión sufrida por los hilos de Kevlar®.

Los refuerzos con una densidad de 1,0 y 1,5 cm se han adaptado a los movimientos de expansión y contracción

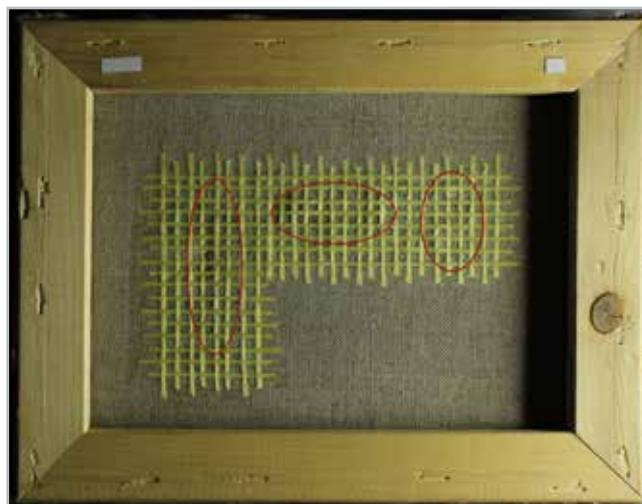


Figura 5- Fotografía con luz rasante del reverso de la maqueta 1 tras el ensayo en cámara climática. En la imagen se señala en color rojo los puntos donde la retícula se ha despegado, formándose abolsados entre el refuerzo y el soporte.

de la tela. Una vez que las maquetas pasan del 70% de humedad relativa y el soporte comienza a tensarse nuevamente, sin llegar a recuperar su valor inicial, el hilo de Kevlar® ha sido capaz de amortiguar las tensiones de dicho proceso. Esto se ve reflejado en el hecho de que al no recuperar la tensión inicial la parte del hilo que no está adherida al soporte ha quedado ligeramente comprimida [Figura 6]. Además, este fenómeno se acentúa en el sentido vertical de la retícula, que se corresponde con los hilos de la trama donde se produce mayor tensión (Roche 2003: 22). El encogimiento del soporte y la retícula no se hace perceptible en la cara del anverso ya que ambos elementos se han movido de forma armónica sin generar tensiones.

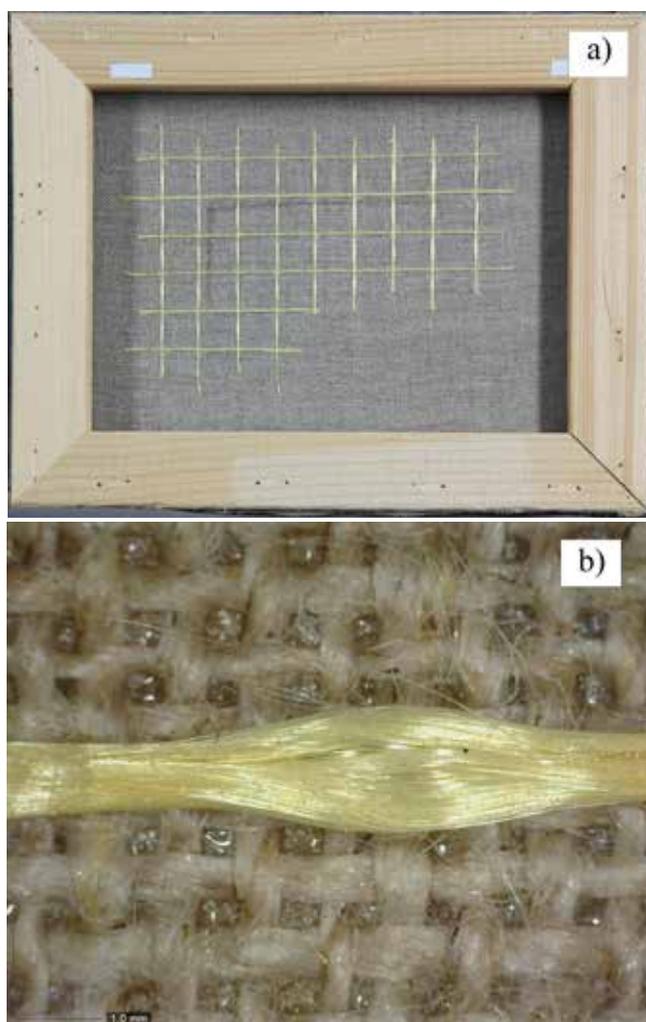


Figura 6- a) Reverso de la maqueta 21 donde se aprecia la compresión de los hilos de la retícula de Kevlar®. b) Microfotografía de la deformación sufrida por los hilos de la retícula ante los movimientos del soporte textil durante su exposición a variaciones de humedad relativa.

En las maquetas, 2, 5, 10, 16 y 24 el rasgado se ha abierto debido a un defecto en el proceso de sellado (falta de contacto entre los cabos seccionados), siendo indiferente la densidad de la retícula de hilo de Kevlar® [Figura 7].

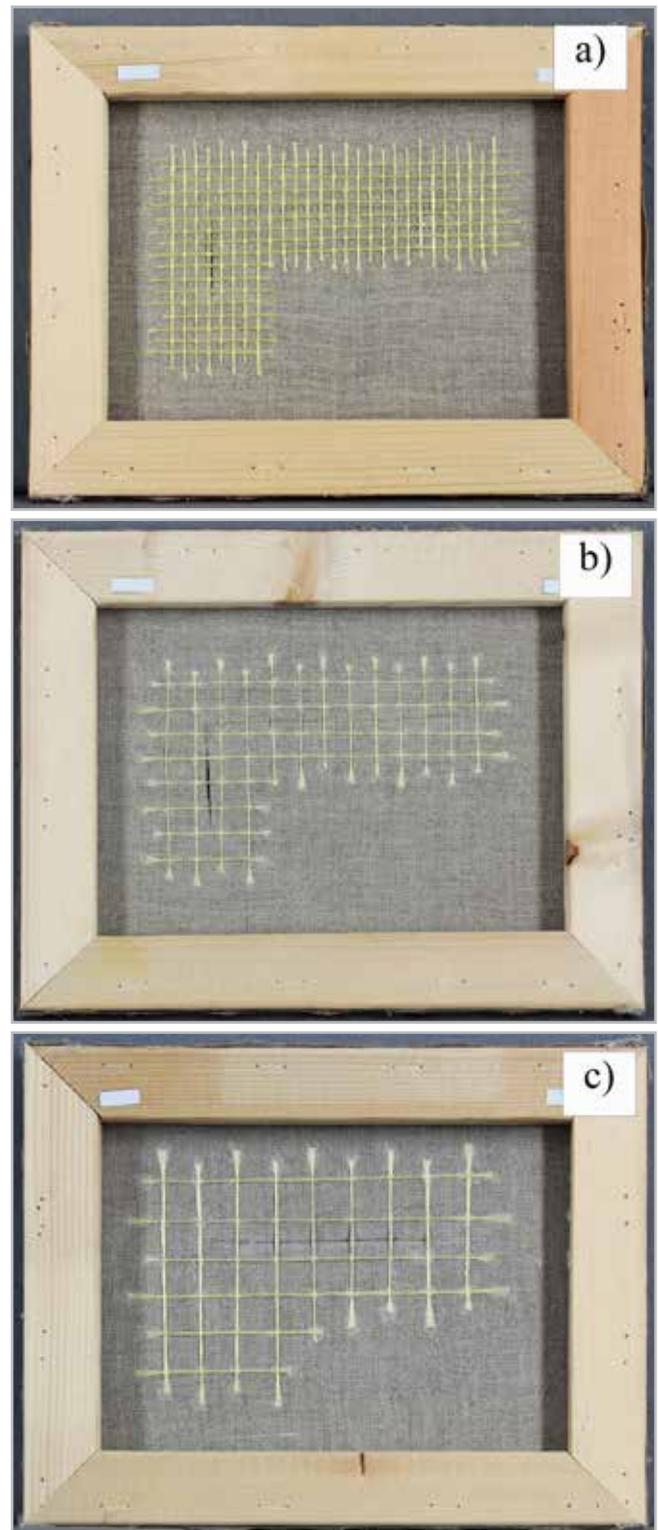


Figura 7- Fotografías del reverso de las maquetas 5 (a), 16 (b) y 24 (c), donde el rasgado se ha abierto tras el ensayo de envejecimiento acelerado.

Reversibilidad

Tras retirar mecánicamente la retícula de refuerzo se observó, visualmente y a escala microscópica, dos aspectos: el tipo de fallo adhesivo producido y la cantidad de residuos

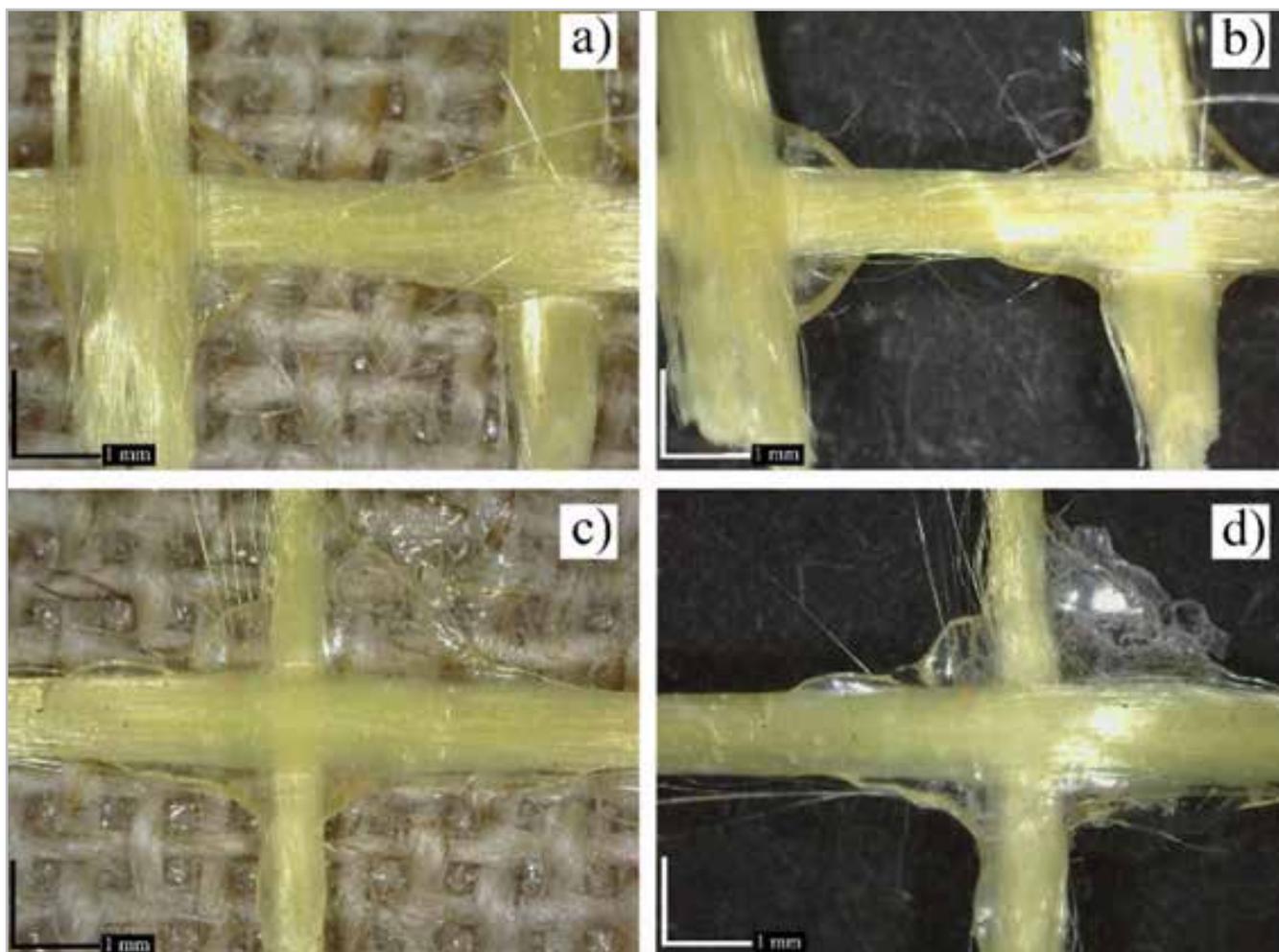


Figura 8- a) Microfotografía de los puntos de unión de la maqueta 2 (adhesión indirecta) antes de la prueba de reversibilidad. b) Microfotografía de los puntos de unión de la imagen anterior sobre un fondo negro tras retirar la retícula de refuerzo. c) Microfotografía de un punto de unión de la maqueta 23 (adhesión directa) antes de la prueba de reversibilidad. d) Microfotografía del punto de unión de la imagen anterior sobre un fondo negro tras retirar la retícula de refuerzo.

que quedan en el reverso de la maqueta. De acuerdo a la norma *Adhesivos. Designación de los principales modelos de rotura*, a la hora de eliminar mecánicamente la retícula se ha generado un fallo de tipo cohesivo, es decir, se ha producido la rotura de la junta adhesiva. Según este estándar este es el tipo de separación deseable, de lo contrario la unión puede resultar ineficiente (fallo adhesivo) o sobredimensionada (fallo de sustrato) (Organización Internacional de Normalización [ISO] 2010). En la figura 8 se presenta una comparativa entre los puntos adheridos directa e indirectamente antes y después del ensayo de reversibilidad. A través de la imagen se puede ver cómo, en ambos métodos de adhesión, la mayor parte del adhesivo queda adherida al refuerzo y no al reverso de la maqueta. Además, en este punto, se puede distinguir la cantidad de adhesivo que aporta cada sistema de unión, siendo esta mayor en la aplicación directa. Aún así, la mayor parte del adhesivo se queda unido a la retícula.

Conclusiones

Finalizados los ensayos experimentales se ha llegado a las siguientes conclusiones, donde, por un lado, cabe

destacar, de forma aislada, las propiedades del hilo de Kevlar® 49 modelo BHK805TEX.; y, por otro, las cualidades de este material como método de refuerzo de rasgados en soportes textiles mediante la confección de una retícula.

En primer lugar, en relación a los aspectos formales de este hilo se ha de resaltar su versatilidad, ya que ha permitido obtener diferentes versiones de un mismo refuerzo al modificar el ancho del hilo con el que se han confeccionado. Además, se puede modular fácilmente la terminación de los cabos de la retícula para así minimizar las posibles marcas en el anverso de la pintura a lo largo del tiempo. En segundo lugar, y en referencia al estudio de su estabilidad química, se ha de tener en cuenta que la degradación del Kevlar® se produce en un rango de radiación ultravioleta que en el contexto de su aplicación como sistema de refuerzo en pintura sobre tela no se produce. En este punto, tomando como referencia a Stephen Hackney (2020: 124), se ha de reflexionar acerca de los estudios de envejecimiento acelerado de los distintos materiales que se pueden encontrar en el mercado. Muchos de estos análisis, como el caso de la mayoría de los que se han realizado sobre la resina de

aramida, se hacen bajo estándares industriales. De este modo, sus resultados no se pueden extrapolar de forma literal al ámbito de la conservación-restauración, sino que se han de aplicar razonadamente y de acuerdo a los fines que se quieren alcanzar con su aplicación a dicho campo.

En cuanto al hilo de Kevlar® 49 como método de refuerzo en forma de retícula, en base a lo observado en las maquetas 2, 5, 10, 16 y 24, hace necesario la correcta intervención previa en el rasgado. Este paso precedente debe asegurar la adecuada unión de los cabos seccionados, llevando a cabo, si fuera necesario, trabajos de aproximación de los bordes del roto.

De los tres tipos de retícula se descarta la que tiene una densidad de 0,5 cm, ya que genera un refuerzo muy rígido que no se adapta a los movimientos de contracción y expansión del soporte ante fluctuaciones termohigrométricas y se termina despegando puntualmente. Sin embargo, las retículas de 1,0 y 1,5 cm han demostrado cumplir satisfactoriamente su función como sistema de refuerzo local en todas aquellas maquetas donde la unión del rasgado era correcta.

Dentro de las dos retículas mencionadas, los modelos que presentan el hilo con su formato comercial (1,5 mm de ancho) y aquellos en los que éste ha sido modificado manualmente (0,7 mm de ancho) han presentado un comportamiento óptimo. La única diferencia entre ambos es el aspecto estético, siendo más llamativa la retícula confeccionada con el hilo ancho. Lo mismo sucede con los dos tipos de terminaciones, ambas se han mantenido estables sin generar alteraciones en las maquetas.

La aplicación del adhesivo, a base de una dispersión acrílica espesada con un éter de celulosa, de forma directa e indirecta ha resultado apropiada tanto en operatividad como en reversibilidad. Los dos sistemas han generado una unión estable donde la mayor parte de residuos queda adherida a la retícula una vez que se retira.

Finalmente, en base a los resultados obtenidos en el estudio realizado, se determina que el hilo de Kevlar® 49 modelo BHK805TEX, en forma de retícula, con una densidad de 1,0 y 1,5 cm, es un sistema de conservación curativa apropiado para el refuerzo de rasgados previa y correctamente sellados.

Referencias

BESEDNJAK, A. (2009). *Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones*, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.

BUZZEGOLI, E., CIATTI, M., KUNZELMAN, D. (2003). "Tecniche alternative per la conservazione dei dipinti su tela: l'esperienza del seminario di Vishwa Raj Mehra". *OPD Restauro*, 15: 123-135.

CALVO, A. (1997). *Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z*. El Serbal, Barcelona, España.

DOMÉNECH, M. T. (2018). *Análisis químico y examen científico de patrimonio cultural*, Síntesis, Madrid, España.

FRATELLI, M., TIBILETTI, A., RIGGIARDI, D. et. al. (2008). "Open studio sulle semilunette della Galleria Vittorio Emanuele II conservate allá Galleria d'Arte Moderna di Milano". In *atti 2° Congresso Internazionale Cesmar7 Colore e conservazione, l'attenzione alle superficie pittoriche, material e metodi per il consolidamento e método scientifici per valutarne l'efficacia*. Milano: Il prato.

GARCÍA, J. M., GARCÍA, F. C., SERNA, F. et. al. (2010). "High-performance aromatic polyamides". *Progress in Polymer Science*, 35 (5): 623-686. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.09.002>.

GIANOTTI, L. (2005). "Sistema di supporto provvisorio reticolare per un dipinto su tela temporaneamente privato del suo telaio ligneo". In *atti 2° Congresso Internazionale Cesmar7 Colore e conservazione, minimo intervento conservativo nel restauro del dei dipinti, a cura del cesmar7*. Padova: Il prato.

GÓRCEKA, K., SKŁODOWSKI, M., PAWŁOWSKI, P. et. al. (2015). "New Materials and Methods Used in the Conservation of the XVIIIth Century Curvilinear Canvas Painting "Adoration of the Magi" from the SaintAubain Cathedral Church in Namur (Belgium)". *European Journal of Science and Theology*, 11 (2): 45-53.

HACKNEY, S. (2020). *On canvas. Preserving the structure of paintings*, The Getty publications, The Angels, USA.

HEDLEY, G. A., & PERCIVAL-PRESCOTT, W. (1974). *Conference on comparative lining techniques: National Maritime Museum* [Greenwich], April 1974. [Greenwich], [National Maritime Museum].

HEIBER, W., DEMUTH, P. (2007). *Microcirugía textil para el tratamiento de rasgados en pintura sobre lienzo*, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

MEAD, J., MEAD, K., AUERBACH, I. et. al. (1982). "Accelerated aging of Nylon 66 and Kevlar 29 in elevated temperature, elevated humidity, smog and ozone". *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development*, 21: 163-170. <https://doi.org/10.1021/i300006a006>

ORATA, L. (2010). *Tagli e strappi nei dipinti su tela. Metodologie di intervento*, Nardini, Firenze, Italia.

Organización Internacional de Normalización. (2022). *Adhesivos. Designación de los principales modelos de rotura*. (ISO: 10365).

PACHECO, F. (1982). *Arte de la Pintura. Concepto, técnicas, colores y medios en el siglo de Oro, 1649*. Leda, Barcelona, España.

PARRINI, P. (1978). "A new lining canvas". In *5th Triennial meeting ICOM Committee for Conservation*, Zagreb,

ROCHE, A. (2003). *Comportament mécanique des peintures sur toile*, CNRS, Paris, Francia.

ROUDET, L. (2009). "L'intervention minimale en conservation-restauration des biens culturels: exploration d'une notion". *Conservation-Restauration des Biens Culturels*, 27: 21-24.

SALAS, C., PORRAS-ISLA, M. (2018). *Proyecto Coremans. Criterios de intervención en pintura de caballete*, Ministerio de Cultura y Deporte, Madrid, España.

SÁNCHEZ, A. (2012). *Restauración de obras de arte. Pintura de caballete*, Akal, Madrid, España.

TOMASONI, B. (2005). *La crocifissione di Dro. Un'esperienza di minimo intervento su un dipinto di grandi dimensioni*. Il Prato, Padova, Italia.

VV. AA. ClipCarbono (2018). "Aramid roving 805 tex" <https://www.clipcarbono.com/es/comprar-telas-y-refuerzos-para-resinas-composite/779-bobina-de-hilo-de-fibra-de-kevlar-805tex.html>

ZHANG, H., ZHANG, J., CHEN, J. et. al. (2006). "Effects of solar UV irradiation on the tensile properties and structure of PPTA fiber". *Polymer Degradation and Stability*, 91: 2761-2767. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2006.03.025>

Cano y otros artistas de los siglos XVI y XVII. Materializándose en las atribuciones de "La Pequeña Madonna de Foligno" a Rafael Sanzio y la pintura sobre alabastro "Maja y Celestina" a Francisco de Goya.

Artículo enviado 23/09/2021
Artículo aceptado el 18/07/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1056>

Autor/es



Daniel Morales-Martín

[damora03@ucm.es](mailto:damura03@ucm.es)

Dpto. Pintura y Conservación-Restauración en la Facultad de Bellas Artes, UCM

<https://orcid.org/0000-0003-1966-0511>

Conservador-Restaurador de Bienes Culturales por la Universidad de Granada (2013-2018). Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico por la Universidad Pablo de Olavide (2018-2019). Investigador predoctoral (Beca de Formación del Profesorado Universitario del Ministerio de Universidades de España) en el Departamento de Pintura y Conservación-Restauración en la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid. Miembro del grupo de investigación Conservación de Arte Contemporáneo y Nuevos Medios del Grupo Español del IIC. Participante en eventos nacionales e internacionales de difusión científica y autor de diversos artículos de investigación.



Luis Rodrigo Rodríguez Simón

lrsimon@ugr.es

Universidad de Granada

<https://orcid.org/0000-0003-2840-8027>

Doctor en Bellas Artes. Licenciado en Historia del Arte y en Ciencias Biológicas. Diplomado en Conservación y Restauración de Pintura. IP del Grupo de Investigación HUM-839. Desempeña su actividad profesional como Profesor Titular de Restauración de Pintura de Caballete en la Universidad de Granada. Su actividad investigadora está dirigida a la aplicación de metodologías científicas para la investigación de pinturas, con especial interés en la obra de Alonso

Caracterización de pigmentos históricos a través de técnicas de imagen, en diversas bandas del espectro electromagnético

Miquel Àngel Herrero-Cortell, Marta Raïch, Paola Artoni, José Antonio Madrid

Resumen: El presente artículo propone una prueba de concepto para la observación mediante técnicas de imagen multibanda de 63 pigmentos de referencia histórica (usados desde la Antigüedad hasta el siglo XX). La respuesta de estos pigmentos se ha documentado en varios puntos de espectro mediante la construcción de sus imágenes, por reflexión, transmisión, luminiscencia y falso color, desde el visible (VIS) hacia sus dos extremos, ultravioleta (UV) e infrarrojo (IR), completando además el estudio con la imagen radiográfica (RX). Cada pigmento responde de manera diferente en cada una de las técnicas usadas, en función de su comportamiento espectral, lo que genera un patrón de conducta único para cada materia. El conjunto de técnicas utilizadas conforma una metodología que plantea 11 posibles formas de ver, entendiéndolas de manera aislada, si bien es en la lectura transversal y confrontación de todas ellas donde se alcanzan unos resultados más completos, a través de un método inductivo basado en la observación. Se trata de un estudio de carácter novedoso que, aunque cuenta con precedentes aislados, compendia por primera vez en forma de imágenes, el aludido comportamiento espectral de tales pigmentos. Así, los resultados obtenidos pretenden contribuir a la mejorar la lectura e interpretación de los análisis no invasivos por imagen aplicados a obras pictóricas, permitiendo la identificación preliminar de algunos pigmentos.

Palabras clave: pigmentos, imagen multibanda, fotografía, reflectografía, falso color, radiografía

Characterization of historical pigments through imaging techniques, in various bands of the electromagnetic spectrum

Abstract: This paper proposes a proof of concept for the observation using multiband imaging techniques of 63 historical pigments (used from Antiquity to the 20th century). The response of these pigments has been documented at various points of the spectrum by constructing their images, by reflection, transmission, fluorescence, and false color, from the visible (VIS) to its two extremes, ultraviolet (UV) and infrared (IR). The study has been also completed with the radiographic image (RX). Each pigment responds differently in each of the techniques used, depending on its spectral behavior, which generates a unique behavior pattern for each material. The set of techniques used make up a methodology that proposes 11 possible ways of seeing, although it is in their transversal reading and confrontation where more complete results are achieved, through an inductive method based on observation. This is a novel study, which although it has isolated precedents, summarizes for the first time in the form of images, the spectral behavior of such pigments. The results obtained intend, thus, to contribute to the improvement the interpretation of non-invasive imaging techniques applied to pictorial artworks, allowing the preliminary identification of some pigments.

Keywords: pigments, multiband imaging, photography, reflectography, false color, radiography

Caracterização de pigmentos históricos através de técnicas de imagem em várias bandas do espectro electromagnético

Resumo: Este artigo propõe uma prova de conceito para a observação mediante técnicas de imagem multi-banda de 63 pigmentos históricos de referência (utilizados desde a antiguidade até ao século XX). A resposta destes pigmentos tem sido documentada em vários pontos do espectro através da construção das suas imagens, por reflexão, transmissão, luminescência e falsa cor, desde o visível (VIS) até aos seus dois extremos, ultravioleta (UV) e infravermelho (IR), completando o estudo com a imagem radiográfica (RX). Cada pigmento responde de forma diferente em cada uma das técnicas utilizadas, em função do seu comportamento espectral, o que gera um padrão de comportamento único para cada material. O conjunto de técnicas utilizadas constitui uma metodologia que propõe 11 formas possíveis de ver, compreendendo-as isoladamente, embora seja na leitura transversal e no confronto de todas elas que se obtêm resultados mais

completos, através de um método indutivo baseado na observação. Trata-se de um novo estudo que, embora tenha precedentes isolados, resume pela primeira vez sob a forma de imagens, o comportamento espectral acima mencionado destes pigmentos. Assim, os resultados obtidos destinam-se a contribuir para melhorar a leitura e interpretação da análise não invasiva da imagem aplicada a obras pictóricas, permitindo a identificação preliminar de alguns pigmentos.

Palavras-chave: pigmentos, imagem multibandas, fotografia, refletografia, falsa cor, radiografia

Introducción. Multibanda en la aproximación a la identificación pigmentaria en pinturas

En las últimas décadas, gracias a la inclusión de los sistemas de captación digital, el estudio de pinturas mediante metodologías no invasivas ha estado en constante crecimiento. De gran interés son, específicamente las técnicas de imagen en varios puntos del espectro electromagnético. El protocolo de imagen multibanda (o en su término en inglés *multiband technical imaging*, MBTI), es un método ampliamente usado para el examen de obras de arte (Dyer *et al.* 2013; Grifoni *et al.* 2015; Herrero *et al.* 2018; Piccolo *et al.* 2020).

Algunas de las técnicas que conforman MBTI han venido tradicionalmente usándose por conservadores, restauradores, e historiadores del arte, para el estudio de las pinturas, siendo conocidas para ciertas funciones específicas, como pueden ser la de la documentación del dibujo subyacente en el caso de la fotografía infrarroja (IR) y reflectografía (IRR), o la visualización de barnices y repintes mediante luminiscencia ultravioleta (UVL). Otras tienen un carácter más innovador y sólo se han ido incorporando en los últimos años, como la luminiscencia infrarroja (IRL) o las imágenes en falso color (UVFC e IRFC). Aunque las diversas técnicas que conforman MBTI tienen un valor específico como técnicas aisladas, cuando se usan conjuntamente y a través de la confrontación de resultados, posibilitan una lectura transversal que ofrece mucha más información, al poder confrontarse entre ellas. Esto puede ayudar a una mejor comprensión del proceso de ejecución de una pintura, arrojando datos procedimentales y pesquisas materiales, que posibilitan, a menudo un entendimiento mayor de aspectos de carácter conservativo. Además, tal confrontación posibilita la identificación preliminar de ciertos pigmentos (Cosentino *et al.* 2014: 7; Raich *et al.* 2019). Esto es debido al comportamiento específico que algunos materiales usados en la pintura adoptan en la banda visible, ultravioleta e infrarroja. Cabe matizar que se trata siempre de aproximaciones que posteriormente deben apoyarse con otras técnicas analíticas.

Aunque no existe un consenso universal sobre las técnicas que comprende MBTI, a menudo se consideran las imágenes que se obtienen en puntos diversos del espectro electromagnético, entre las que destacan las siguientes, para las que en adelante se utilizarán sus respectivos acrónimos: radiografía (RX); ultravioleta reflejado (UVR); fotografía visible de luminiscencia inducida por ultravioleta (UVL); fotografía visible (VIS); transiluminación (TL); fotografía infrarroja (IR); transirradiación infrarroja (IRT),

luminiscencia infrarroja (IRL); reflectografía infrarroja (IRR); imagen infrarroja de falso color (IRFC); y ultravioleta de falso color (UVFC). Son en esencia las principales técnicas de imagen que se pueden aplicar al estudio y documentación del patrimonio pictórico en bandas diferentes.

La radiografía ha sido probablemente, de entre las técnicas de imagen aplicadas al patrimonio, la que cuenta con una mayor tradición, dada su transversalidad a todas las manufacturas y tipologías de objetos con las que nos podemos encontrar (Díaz 1975; Lang y Middleton 1997; Madrid 2010, 2014). Eso conlleva también una gran cantidad de referencias escritas sobre las conclusiones a las que se puede llegar en su aplicación en el estudio y análisis patrimonial (Vanpaemel 2010). Concretamente, de los relacionados con el examen de pinturas, destacan los estudios de Burroughs, (1928) o Hours-Miedan, (1964). Pero la gran mayoría de ellos solo nos van a referir información de lo que la imagen visible esconde y muy pocos se dedican específicamente a la respuesta de los pigmentos (Poldi, Villa 2006: 177-178) y su relación con la propia obra e incluso poniendo en duda la teoría y la práctica (Garrido y Cabrera 1983: 86).

Otra de las técnicas fundamentales más usadas en el ámbito de la conservación es la llamada de manera genérica y poco precisa 'fotografía ultravioleta'. Cabe precisar, ante todo que la verdadera fotografía UV es la de reflexión (UVR), mientras que lo que se suele denominar fotografía UV es en realidad fotografía visible de luminiscencia inducida por ultravioleta (UVL). La complejidad de obtención de UVR sin reflejos ni destellos, propios de los barnices y aglutinantes, y la menor información que de ella se desprende –en comparación con la luminiscencia VIS inducida por UV (UVL)–, ha hecho de esta técnica un recurso menos usado en ámbito patrimonial (Poldi-Villa 2006:161). Aun así, la imagen UVR es de utilidad, por ejemplo, en el mapeo de pigmentos blancos (Cosentino 2015: 58-61). Por su parte la UVL (habitualmente denominada UVF), ha ocupado un lugar preeminente en nuestro ámbito. Así es muy abundante la literatura que desde los primeros estudios de Rorimer (1931) ha ido sucesivamente creciendo (Aldrovandi, Picollo 1999: 67-84), especialmente en lo concerniente a la visualización de repintes y barnices (Mairinger 2000: 56-65), pero también en lo tocante al fenómeno de luminiscencia propio de los materiales pictóricos (René de la Rie 1982: 1-7; 65-69; 102-108 y 1986: 91-108; y Poldi-Villa 2006: 157-161). En la actualidad se cuenta ya con publicaciones específicamente dedicadas a estas técnicas en las que se desgranar desde fundamentos físicos hasta preceptos teóricos y prácticos, abundando en metodologías, equipamientos, filtros o fuentes de radiación (Picollo *et al.* 2021).

La reflectografía y la fotografía infrarroja constituyen otras dos técnicas que cuentan con mayor tradición en el estudio de pinturas en el rango IR (Poldi-Villa, 2006). En general, se trata de dos técnicas que operan en longitudes diferenciadas del espectro, pese a que a menudo son confundidas, pues ambas comparten un idéntico fundamento de reflexión (Fischer, Kakouli 2006; Garagano, Ludwig, Poldi 2007). Mientras que el término fotografía infrarroja (IR) alude a las imágenes tomadas en una banda cercana del infrarrojo (700-1100nm), la reflectografía opera en longitudes de entre 1100 y 2500nm (Cosentino 2014). En esencia son imágenes muy parecidas y, aunque algunos pigmentos exhiben comportamientos similares en ambas longitudes de onda, otros sufren cambios importantes en su capacidad de reflexión/absorción deviniendo más transparentes o menos (Poldi-Villa 2006; Cosentino 2014).

Desde hace una década, comienza a incorporarse al estudio patrimonial la imagen de luminiscencia infrarroja (IRL), tanto por excitación con luz visible como por radiación UV (Dyer, Verri y Cupitt, 2013). La técnica del IRL es bien conocida para la caracterización de determinados materiales, entre los que destaca el azul egipcio (Bridgman y Gibson 1963; Thoury *et al.* 2011; Verri 2009); los pigmentos a base de cadmio (Accorsi *et al.* 2009; Thoury *et al.* 2011; Cosentino 2016:5-6) e incluso la identificación de pigmentos blancos de titanio a base de rutilo (Keller *et al.* 2019: 201-231). Es por ello que es una de las pocas técnicas cuya función exclusiva es el mapeo de ciertos pigmentos, como sucede también, aunque no de modo exclusivo para las imágenes de falso color.

Las imágenes de falso color vienen utilizándose en el patrimonio como imágenes híbridas compuestas digitalmente obtenidas intercambiando capas RGB entre las regiones IR, UV y VIS para discriminar entre materiales que tienen el mismo color, pero presentan comportamientos espectrales diferentes, en el infrarrojo y el ultravioleta. Si se utilizan conjuntamente (UVFC+IRFC), la información que puede recabarse de ellas es aún más interesante, pues ambas sirven para los propósitos de identificación preliminar de ciertos pigmentos, al tiempo que permiten evidenciar diversos aspectos procedimentales y materiales. Probablemente sea el IRFC la más conocida de estas técnicas y sobre la que más bibliografía existe (Poldi, Villa 2006:127-137) y una de las que más información aportan al análisis multibanda (Herrero-Cortell *et al.* 2018:11; Raich *et al.* 2019). Antiguamente el IRFC se hacía con películas especiales (Moon *et al.* 1992), pero actualmente se trata ya de una imagen híbrida digital. No obstante, existen otros tipos de infrarrojo de falso color (Aguilar-Téllez *et al.* 2014:3-15), puesto que no existe una única metodología para la consecución de este tipo de imágenes, aunque las más frecuentes tienden a substituir en el RGB el canal rojo por el verde; el verde por el azul, y el rojo por la imagen IR en escala de grises (Cosentino 2014; Cosentino 2015; Cosentino 2016; Herrero-Cortell *et al.* 2018; Raich *et al.* 2019). Es habitual la utilización de esta técnica para la identificación preliminar pigmentaria (Cosentino 2014); (Raich 2019; Keller *et al.* 2020:216). Cabe matizar que, de seguir este procedimiento, los diversos sensores, así como

la variedad de filtros infrarrojos con diversos pasos de onda, pueden repercutir notablemente en los resultados, por lo que es aconsejable experimentar con probetas y mock-up con el equipamiento que se vaya a utilizar para sistematizar los resultados y comprender las respuestas cromáticas que se obtienen con un determinado dispositivo y filtro. Las imágenes UV de color falso (UVFC) se han explorado, recientemente, como otro medio posible para observación preliminar de los materiales constituyentes de las obras de arte y, en particular, para la identificación no destructiva y sin contacto de materiales como el de barniz o determinados pigmentos (Warda 2011). Las imágenes UVR registran la absorción y reflexión de los rayos UV sobre un determinado objeto, y en las imágenes de color falso, la imagen de UV reflejada se combina con los dos canales de luz visible de una imagen de luz normal, similar a las imágenes de infrarrojos de falso color estándar. Esta técnica fue desarrollada por primera vez por Aldrovandi *et al.* (2004) para el análisis no destructivo de pigmentos y desde entonces se ha aplicado a pinturas de caballete y murales, sobre papel (Coccolini 2010) y textiles y, recientemente, para la identificación preliminar de materiales resinosos (Rogge & Lough 2016), aunque es habitual la experimentación de esta técnica en la caracterización pigmentaria (Keller *et al.* 2020: 216).

Por último, algunas técnicas, como las de transmisión (TL-IRT), a menudo han sido escasamente atendidas en la literatura, pese a la cantidad y calidad de información que arrojan, de índole conservativa, procedimental y material (Herrero-Cortell *et al.* 2020).

La motivación de este estudio nace de la ausencia de publicaciones previas de carácter compilatorio sobre la apariencia de estratos pigmentarios en diversas bandas, de una manera normalizada. La confrontación de fenómenos de reflexión, transmisión o luminiscencia es precisamente útil en la discriminación pigmentaria. A diferencia de otros trabajos que eventualmente se centran en la apariencia de los pigmentos en una determinada banda o mediante una determinada técnica, este estudio aborda transversalmente el comportamiento y aspecto de tales materias en bandas diversas, y con diversas técnicas de imagen. Al tiempo se consideran algunas variables como su naturaleza (translúcida o cubriente) en otras partes del espectro, o cómo afectan el número de capas a su posible identificación. A lo largo del presente estudio, se expondrá la metodología experimental empleada y irán desglosando los resultados obtenidos mediante cada técnica.

Materiales y Métodos

El objetivo del presente artículo es una aproximación experimental a la observación de 63 pigmentos y lacas históricas mediante técnicas de luminiscencia, reflexión, transmisión y falso color. Se trata de una selección de las materias fundamentales reportadas tanto en la literatura artística y técnica como en análisis de pinturas, y ampliamente usadas entre la Antigüedad y el siglo XX.

La selección es ampliable a otros pigmentos que, por el momento han quedado excluidos por haberse considerado menos relevantes, pero que se incluirán en ulteriores estudios. La mayoría de los pigmentos han sido producidos por la empresa Kremer (a excepción del amarillo de cromoplomo, de Sennelier), o bien elaborados por los propios autores siguiendo recetas históricas y utilizando para ello matrices naturales. Concretamente, las lacas de reseda y cochinilla se elaboraron fijando el tinte en con un mordiente de alumbre de roca, siguiendo recetas históricas (Kirby *et al.* 2014). Otros, como el negro carbón (de vid) o el azafrán, que no precisan de un mordiente, se molieron directamente en aceite, y no se obtuvieron de ningún proveedor de materiales artísticos.

Para la realización del experimental, todos los pigmentos se han aglutinado con aceite de lino rectificado y han sido aplicados sobre un lienzo industrial (100 x 81 cm) preparado a base de cola de conejo y sulfato de calcio, con una carga de blanco titanio. Se eligió el lienzo por ser el soporte muy común y por la versatilidad que presenta, permitiendo además aplicar técnicas de transmisión. El área sobre la que se ha aplicado cada pigmento (8 x 8 cm) se ha dividido en cuatro franjas, sobre las que se han dispuesto hasta cuatro capas de pintura de cada pigmento, aplicadas con un espesor estimado similar (200-300 µm). Esto facilita el poder visualizar efectos de transparencia, opacidad, o saturación, evidentes a través de las distintas técnicas de imagen utilizadas, en función de las propiedades de cada material [Figura 1b]. Cada pigmento fue aplicado con un pincel, para evitar contaminaciones cruzadas. La mezcla de pigmento y aceite se realizó estimativamente en cada caso, buscando unas correctas proporciones reológicas de la pintura, ya que cada pigmento necesita una cantidad diversa de aglutinante

y, además, esta puede variar en función de parámetros como la humedad y temperatura. En nuestro caso, por las condiciones del laboratorio y los largos tiempos requeridos para la realización del experimental (8 meses) no pudieron garantizarse siempre iguales por completo.

Con el fin de valorar la capacidad de estas imágenes de evidenciar un posible dibujo subyacente, tanto en técnicas de reflexión, como de transiluminación y transirradiación, se han trazado distintas líneas con diversos medios y materiales, típicamente utilizados en los diseños preparatorios de diversas épocas. Todo ello con la intención de observar la capacidad cubriente de cada pigmento en el rango visible y, comparativamente su comportamiento en otras bandas del espectro. La línea 1 corresponde a la tinta sepia (Windsor and Newton®); la línea 2 a la tinta metalogálica en solución acuosa al 50%; la línea 3 la misma tinta concentrada; la línea 4 a la sanguina; la línea 5 al grafito; la línea 6 al lápiz Conté; y, por último, la línea 7 al carboncillo [Figura 1a].

De la probeta objeto de estudio, se han realizado las siguientes técnicas de imagen, para las que en adelante se utilizarán sus respectivos acrónimos: radiografía (RX); ultravioleta reflejado (UVR); fotografía visible de luminiscencia inducida por ultravioleta (UVL); fotografía visible (VIS); transiluminación (TL); fotografía infrarroja (IR); transirradiación infrarroja (IRT), luminiscencia infrarroja (IRL); reflectografía infrarroja (IRR); imagen infrarroja de falso color (IRFC); y ultravioleta de falso color (UVFC) [Figura 2].

Los pigmentos utilizados en la prueba de concepto se especifican en la Tabla 1, en la que aparecen en el orden de secuencia, con indicación del fabricante y número de referencia, a excepción de cuatro casos de producción propia:

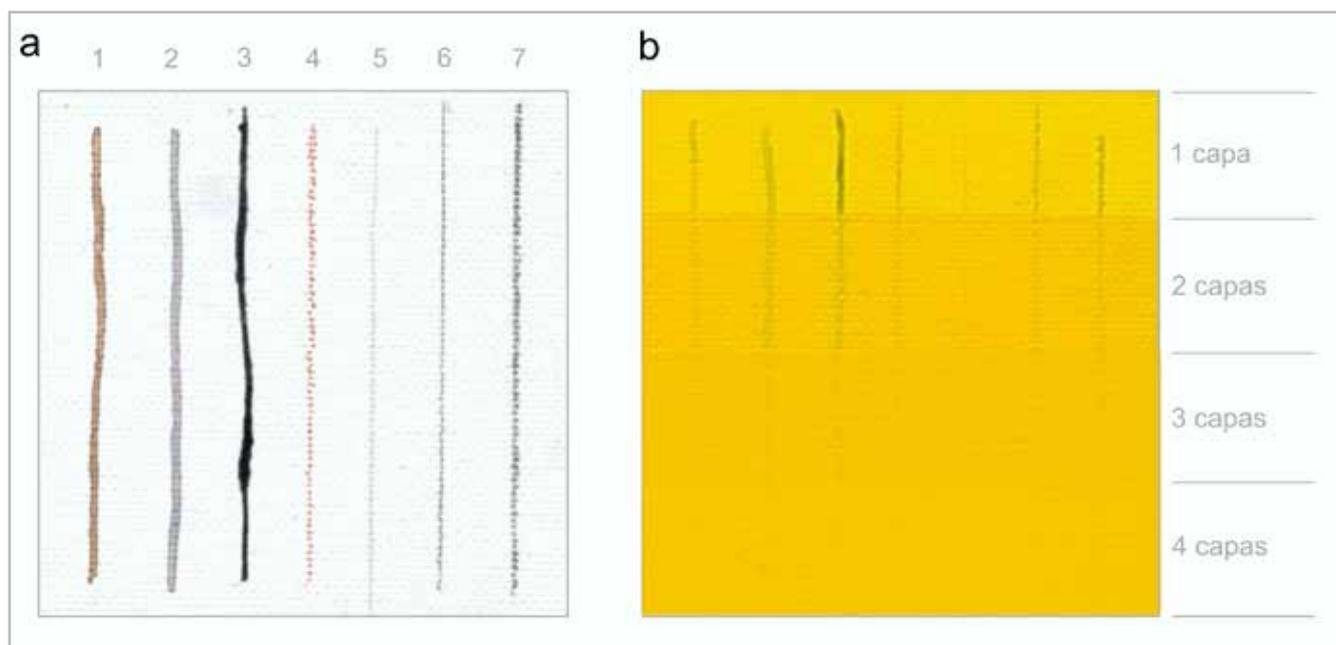


Figura 1.- a) A la izquierda: líneas trazadas en cada cuadrado: 1) tinta Sepia Windsor and Newton; 2) tinta metalogálica 50%; 3) tinta metalogálica, 4) sanguina; 5) grafito, 6) lápiz Conté, 7) carboncillo. b) A la derecha, ejemplo del cuadrante de amarillo de plomo-cromo, que ilustra el esquema de disposición de color para cada uno de los pigmentos, aplicados en 4 capas.

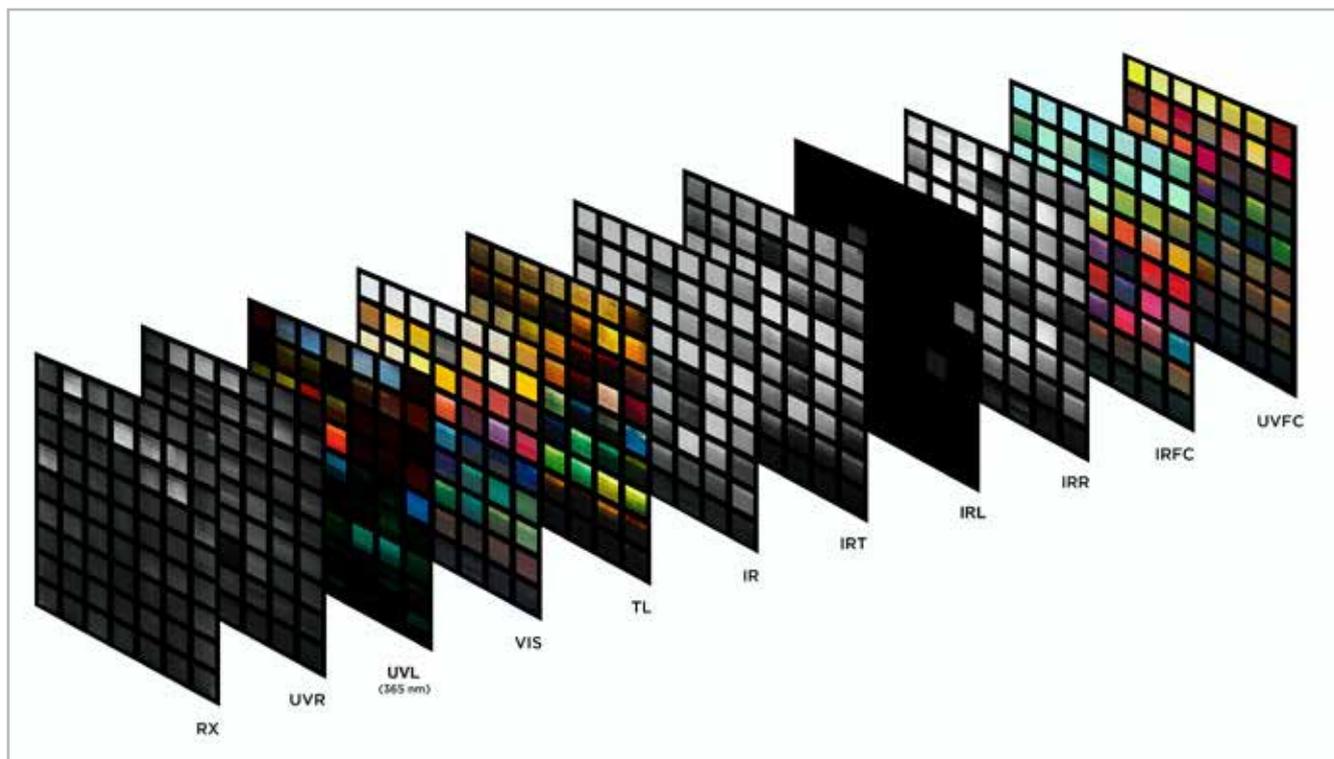


Figura 2.- Secuencia de imágenes multibanda de la tabla de pigmentos objeto de estudio. La extrusión permite observar las diferentes respuestas cromáticas de cada una de las parcelas pigmentarias contenidas

Nº	Pigmento	Fabricante	Referencia	Nº	Pigmento	Fabricante	Referencia
1	Blanco Titanio Rutilo	Kremer	46200	33	Azul de Prusia	Kremer	45202
2	Albayalde (blanco de Plomo)	Kremer	46000	34	Índigo	Kremer	36007
3	Litopón	Kremer	46100	35	Esmalte	Kremer	10000
4	Blanco de zinc	Kremer	46300	36	Azul egipcio	Kremer	10060
5	Creta de Campaña	Kremer	58000	37	Azul cerúleo (cobalto)	Kremer	45730
6	Carbonato de Calcio	Kremer	58100	38	Violeta de cobalto	Kremer	45800
7	Ocre italiano	Kremer	40220	39	Azul de ftalocianina	Kremer	23050
8	Siena natural	Kremer	40400	40	Verdigrís	Kremer	44450
9	Oropimente	Kremer	10700	41	Verde de cadmio	Kremer	44510
10	Rejalgar	Kremer	10800	42	Verde óxido de cromo	Kremer	44200
11	Litargirio	Kremer	46010	43	Tierra verde francesa	Kremer	40830
12	Amarillo de Nápoles	Kremer	10130	44	Verde de cobalto	Kremer	44100
13	Amarillo de plomo-estaño	Kremer	10100	45	Crisocola	Kremer	10350
14	Amarillo de cromo-plomo	Sennelier	549	46	Resinato de cobre	Kremer	12200
15	Laca de reseda	Producción propia		47	Verde Viridiana	Kremer	44250
16	Azafrán	Producción propia		48	Tierra verde de Verona	Kremer	41700
17	Amarillo de cadmio limón	Kremer	21010	49	Malaquita	Kremer	1003700

18	Amarillo de cobalto	Kremer	43500	50	Verde de ftalocianina	Kremer	23000
19	Cinabrio natural	Kremer	10610	51	Ocre francés	Kremer	40012
20	Bermellón	Kremer	42000	52	Tierra roja andaluza	Kremer	11276
21	Rojo de Borgoña	Kremer	11574	53	Sombra natural	Kremer	40610
22	Minio	Kremer	42500	54	Sombra tostada oscura	Kremer	40700
23	Almagra	Kremer	40545	55	Sombra tostada rojiza	Kremer	40710
24	Hematites	Kremer	48651	56	Siena tostada oscura	Kremer	40430
25	Laca de Rubia	Kremer	372045	57	Ocre Habana francés	Kremer	40080
26	Carmín <i>Lac Dye</i>	Kremer	36020	58	Negro de Kassel	Kremer	41000
27	Laca de cochinilla	Producción propia		59	Gris de manganeso	Kremer	47510
28	Rojo cadmio claro	Kremer	21120	60	Negro marfil	Kremer	12000
29	Carmín de alizarina	Kremer	23600	61	Negro de huesos	Kremer	47100
30	Ultramar (lapislázuli)	Kremer	10510	62	Negro de humo	Kremer	47250
31	Azurita	Kremer	10200	63	Negro carbón	Producción propia	
32	Azul <i>bice</i>	Kremer	10184				

Tabla 1.- Pigmentos utilizados en el presente estudio, con indicación, con indicación del fabricante y número de referencia. En la web del fabricante mayoritario (www.kremer-pigmente.de) pueden encontrarse las respectivas fichas técnicas de cada uno de ellos, con indicaciones de su formulación, etc.

Para obtener las diversas imágenes que conforman el presente estudio, se han utilizado diversos equipamientos y dispositivos de iluminación. Por una parte, para VIS, TL, IR, IRL, IRT, UVR, y UVL se ha utilizado una Cámara Nikon® D800 digital *full spectrum* (36 MP, con sensor CMOS, de sensibilidad entre 300 y 1100 nm), con un objetivo Nikon Nikkor de 50 mm 1:1. Los diversos filtros utilizados han sido: a) para UVR, B+W403 acoplado al X-Nite CC1; b) para VIS y TL, X-Nite CC1; c) para UVL, B+W420 más X-Nite CC1; d) para IR e IRL, Heliopan RG1000. Alternativamente, en fechas más recientes, fue probado el set de filtros Robertina® de CHSOS, de 52 mm, obteniendo idénticos resultados.

Para IRR, se utilizó una cámara OSIRIS (Opus Instruments, 16 MP, con sensor InGaAs), reportada frecuentemente como uno de los dispositivos más adecuados para esta técnica (Bonanno *et al.* 2017:32), con filtro Heliopan RG1000.

Para la obtención de imágenes VIS, IRR, e IR se utilizaron dos lámparas halógenas (800W) con difusor, mientras que para las técnicas de UV se utilizó una lámpara *Fabrizio* UV high-Flux 365nm LED (filtrada y exclusivamente con paso UV y corte de emisión VIS-IR) proporcionada por CHSOS, que fue utilizada para UVL y UVR. Para obtener las imágenes de IRL se utilizó una bombilla de luz blanca LED filtrada mediante con X-Nite CC1 y la antedicha lámpara UV. La geometría de las fuentes de iluminación y radiación fue cambiando para adaptarse a cada técnica. VIS, IR e IRR se utilizaron dos fuentes frontales a 45°, mientras que en técnicas de transiluminación

y transirradiación una sola y con difusor, ubicada en la parte posterior del lienzo, a una distancia de 80 cm. IRL, UVR y UVL utilizaron una única fuente que se fue barriendo por la superficie del lienzo jugando con el tiempo de exposición. Para el calibrado de las imágenes se ha utilizado una tarjeta CHSOS, consistente en una tarjeta AIC PhD (*The American Institute of Conservation Photo Documentation*), que incorpora adiciones pigmentarias que responden en bandas IR y UV. Las imágenes se tomaron en RAW y se corrigió su color mediante el balance de blancos, usando el gris neutral N8 de la tarjeta AIC. Además, se corrigió la exposición: N8 150 +/- 5 para VIS. El mismo gris se utilizó en la corrección de otras imágenes 100+/-5 para IR e IRR, 50 para UVR (Cosentino 2015 d: 290).

En la obtención de la radiografía se empleó una unidad de rayos X modelo TRANSXPORITX 50, de General Electric. Este equipo tiene un tubo de rayos X de 3 kW y un foco de 2,3 mm con una filtración total de 2 mm de aluminio, características que le permiten trabajar en voltajes muy bajos con un rango de 20 a 110 kV, los más usados en el estudio de este tipo obras. Para el procesado de las imágenes se usó un digitalizador CR 30-X de AGFA. Esta estación del trabajo permite el procesado digital de chasis de radiografía computerizada de tipo indirecto CR MDT4.0T, también de AGFA, con un formato de 35 x 43 cm y un tamaño de matriz de píxel de 3480 x 4248. El sistema se completa con el software específico para el procesamiento de imágenes MUSICA (*Multi Scale Image Contrast Amplification, o amplificación de contraste de imágenes multiescala*), también

de esta misma empresa. Los chasis empleados se montan en una instalación dedicada a radiografías telemétricas, en su nombre comercial CR Easylift de la empresa AGFA, que facilitan un área de radiografía efectiva de 126 × 33 cm en cada una de sus exposiciones. De esta manera conseguimos la superposición en línea de tres chasis, lo que le otorga el área que hemos indicado. Así mismo, se cuenta con un Indicador de Calidad de Imagen tipo dúplex (Image Quality Indicator, IQI) de la norma ISO 19232 de la empresa Kowotest, paera tratar de cuantificar la calidad de imagen. Para la ejecución de la radiografía de este lienzo (100 × 81 cm) se procesaron 12 radiografías de 35 × 45 cm. Los parámetros de disparo fueron, en todas las exposiciones, de un voltaje de 37 kV, una intensidad de corriente de 20 mA, y 3 seg., colocando la fuente o foco, con respecto a la obra, a 320 cm de distancia.

Por último, las imágenes híbridas UVFC e IRFC fueron utilizadas como técnicas auxiliares para la identificación preliminar pigmentaria. En el caso de IRFC se cuenta con abundante literatura al respecto, (Poldi, Villa 2006: 127-137; Cosentino 2014; 2016: 4-5; Raich *et al.* 2019), pero UVFC viene usándose igualmente con análogos fines. (Aldrovandi *et al.* 2004; Warda 2011). Ambas fueron montadas utilizando la imagen VIS y la imagen IR o UV, en función de la técnica, y combinando sus canales RGB (Cosentino, Stout 2014).

Resultados y discusión

Tras tomar las correspondientes imágenes técnicas (VIS, TL, IR, IRT, IR, IRL, UVR, UVL), realizar las imágenes de falso

color (IRFC, UVFC), y obtener la reflectografía (IRR) y la radiografía (RX) se procedió a la confrontación de resultados. Se atendió de manera especial a los cambios que podía producir la superposición de capas de un mismo material, su transparencia, su opacidad, o sus propiedades intrínsecas en las diferentes bandas del espectro y en diversos fenómenos (reflexión, transmisión o luminiscencia). Aunque son fenómenos que, de manera aislada no pueden compararse, en una lectura transversal aportan pistas que sí permiten intuir, al menos, de qué pigmento puede tratarse, al tiempo que permiten una mejor comprensión de la metodología utilizada en el proceso de creación de una determinada pintura, así como de sus patologías, los tres pilares fundamentales que sustentan el protocolo multiband (Herrero-Cortell *et al.* 2018). A continuación, se presentan los resultados, agrupándolos en función de la idoneidad comparativa de las técnicas. Somos conscientes de que la presentación no responde al esquema lineal del espectro, pero hemos considerado más operativo hacerlo de este modo, como se podrá colegir del propio discurso.

— VIS

La fotografía visible se usó, en primer lugar, como imagen de referencia para observar y monitorizar el comportamiento de los diversos pigmentos, en términos de opacidad y transparencia, y para poder en segundo lugar confrontar estas propiedades propias de cada pigmento en diversas bandas y bajo diversos fenómenos [Figura 3]. En la imagen visible puede observarse el aspecto



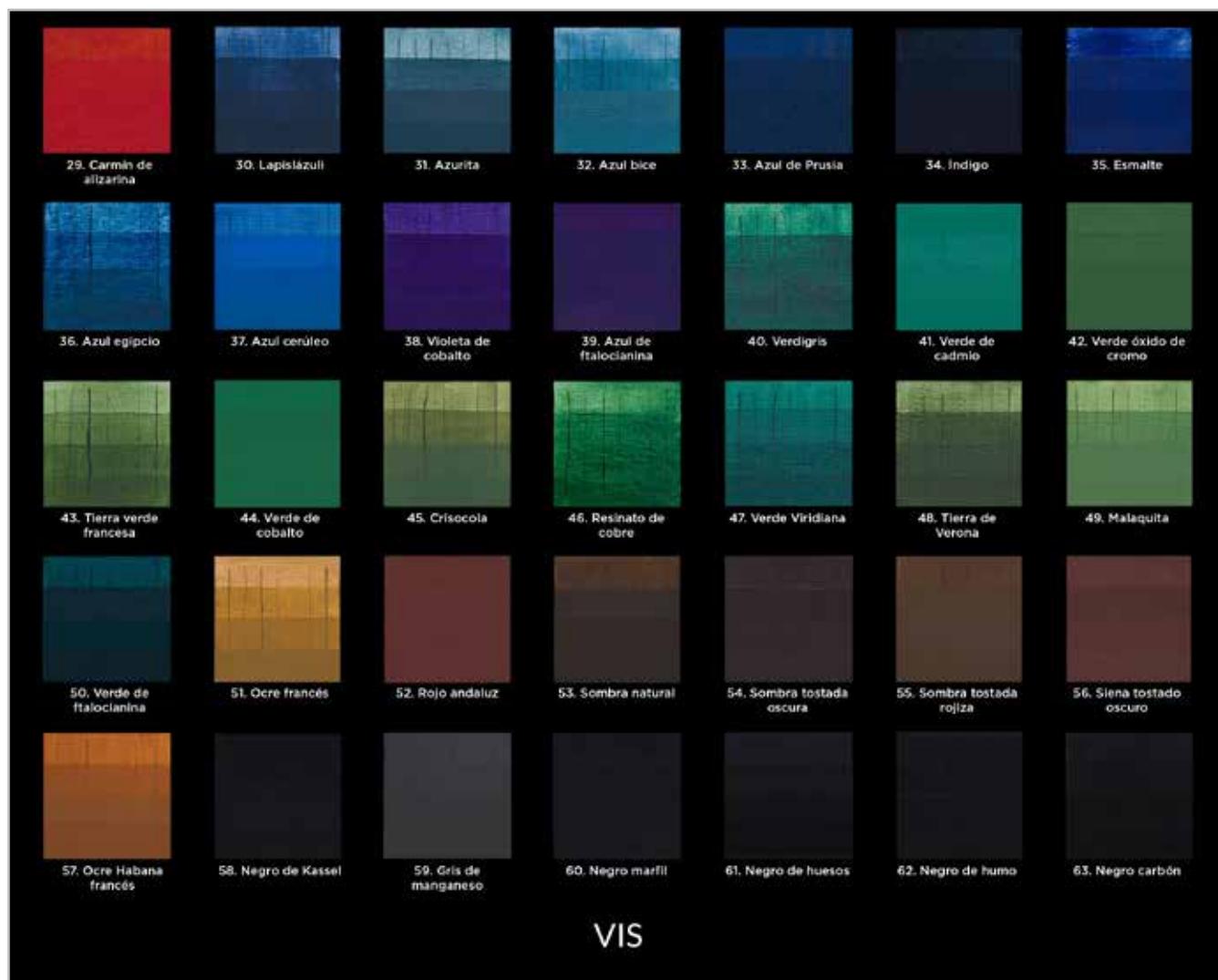


Figura 3.- Presentación de los 63 pigmentos. Las características intrínsecas a cada pigmento, en relación a saturación, transparencia o poder cubriente, pueden ser observadas y confrontadas en el resto de técnicas.

natural de los pigmentos al ser aplicados sobre el lienzo. Mientras que algunos son completamente transparentes, como los carbonatos cálcicos (5-6), las lacas (15, 25, 27), la tierra verde francesa (43) o el resinato de cobre (46), una buena mayoría son semitraslúcidos. Otros, en cambio, son completamente cubrientes, como el cinabrio (19), el bermellón (20), la hematites (23), el *lac-dye* (24), o el rojo de cadmio, (26), por poner algunos ejemplos. Algunos, como el índigo (34) o el azul ftalo (39) son muy absorbentes y por tanto oscuros. Es interesante notar cómo la apariencia que se manifiesta en el visible puede potencialmente cambiar en otras bandas o con otras técnicas.

— TRANSLUMINACIÓN (TL) Y TRANSIRRADIACIÓN (IRT)

En general, en transiluminación y transirradiación el dibujo subyacente realizado con medios carbonosos y ferrogálicos es mucho más perceptible, (Herrero-Cortell *et al.* 2021) mientras que, por el contrario, la tinta sepia la sanguina y la tinta aguada resultan más difíciles de

percibir, por el escaso contraste con el soporte [Figura 4]. En términos de identificación preliminar pigmentaria, con estas técnicas los resultados son muy limitados (Herrero-Cortell *et al.* 2020), aunque ciertos pigmentos presentan comportamientos únicos, que los hacen fácilmente identificables. Los ocre y tierras, en general, (7, 8, 23, 24, 43, 48, 51-57) tienden a observarse mejor en IRT, hasta el punto en el que algunos, como los rojos férricos (23-24) bloquean por completo la luz, permitiendo, en cambio, el paso de radiación IR. Igualmente, el cinabrio y el bermellón (19 y 20) presentan un alto poder de bloqueo lumínico en TL, pero en cambio, devienen mucho más transparentes en IRT. Algunos pigmentos como el *lac dye* (26), el rojo de cadmio (28) o el carmín de alizarina (29), que se muestran cubrientes VIS, se vuelven translúcidos en TL y transparentes en IRT. Como los pigmentos tierra, los azules tienden a una mayor transparencia en IRT respecto a TL, con la excepción del Prusia (33). Un caso muy particular es el índigo (34) altamente absorbente (y en consecuencia muy oscuro) en el rango visible y, en cambio paradójicamente claro en el IR, lo que hace

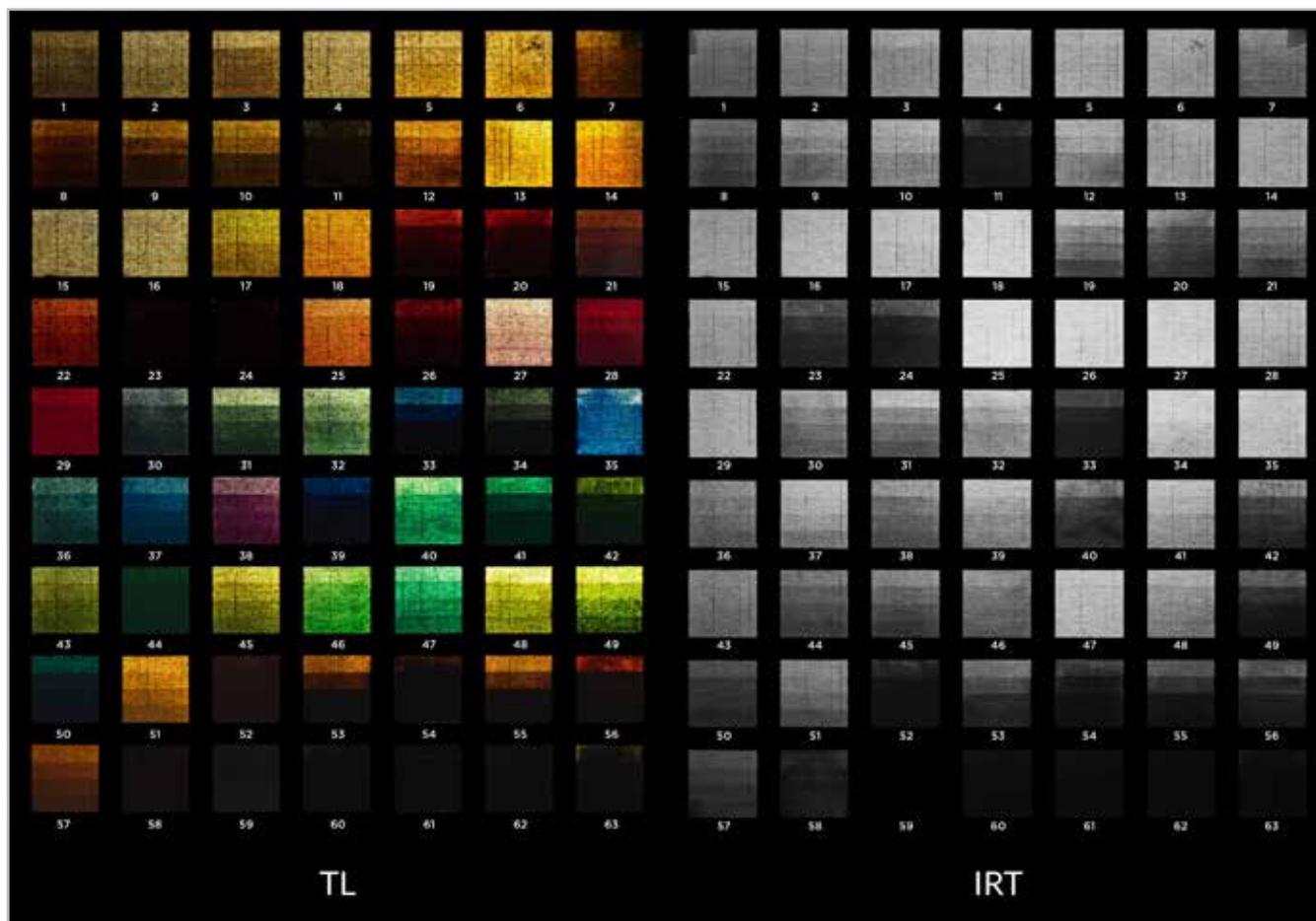


Figura 4.- Confrontación de la tabla con 63 pigmentos en transiluminación (TL) y transirradiación infrarroja (IRT).

que mientras que en TL posea notable capacidad de bloqueo lumínico, en IRT devenga muy claro, más incluso que el esmalte (35) de conocida transparencia. El azul de ftalocianina (39) y el verde de cadmio (41) muestran igualmente esta misma tendencia. A la inversa ocurre con el verdigrís (40) el resinato de cobre (46), o la malaquita (49) que son mucho más transparentes en el rango visible y más absorbentes en el IR, lo que hace que IRT sea una técnica muy poco apropiada para su exploración. Por último, mientras que el negro de Kassel (58), altamente absorbente en TL, es algo más permeable al paso de radiación en IRT, al contrario de lo que sucede con el gris de manganeso (59) que absorbe por completo la radiación IR, más incluso que la luz visible.

— ULTRAVIOLETA REFLEJADO (UVR) Y LUMINISCENCIA VISIBLE POR RADIACIÓN ULTRAVIOLETA (UVL)

Como se ha anticipaba en la introducción, las técnicas a continuación expuestas tienen en común el hecho de que ambas utilizan radiación ultravioleta filtrada, pero como fenómenos son bien diferentes pues uno es de reflexión y acontece en la banda ultravioleta (UVR) y el otro de luminiscencia (UVL) en realidad ocurre en la banda visible, pero mediante excitación ultravioleta.

El componente visible inducido por la excitación UV (radiación de luminiscencia) puede ser registrado fotográficamente.

La imagen ultravioleta reflejada (UVR) [Figura 5] está algo limitada a la hora de evidenciar rasgos que permitan trazar una idiosincrasia pigmentaria a través del espectro. Aún con ello UVR es de utilidad, como se ha dicho, por ejemplo, en el mapeo de pigmentos como el blanco de titanio (1) o el zinc (4), que suelen ser altamente absorbentes, frente al albayalde (2) o el litopón (3) (Cosentino 2015: 58-61); (Cosentino 2014). Otros como el azul cerúleo o el violeta de cobalto (37-39) resultan relativamente brillantes, al igual que el verde Viridiana (47), y forman grises medios frente a casos como el índigo (34) o el resinato de cobre (46), altamente absorbentes y, en consecuencia, oscuros.

Por su parte, el fenómeno de luminiscencia pigmentaria en pintura puede depender de múltiples factores, como la cantidad de capas, la presencia subyacente de materiales fluorescentes o absorbentes, el tipo de aglutinante o la eventual presencia de barnices que pueden mitigar o acentuar este tipo de respuestas. No obstante, se han propuesto lecturas en base a dichas respuestas a través de diagramas de flujo (Cosentino 2014). Entre los pigmentos que exhiben luminiscencia [Figura 5] se encuentran todos

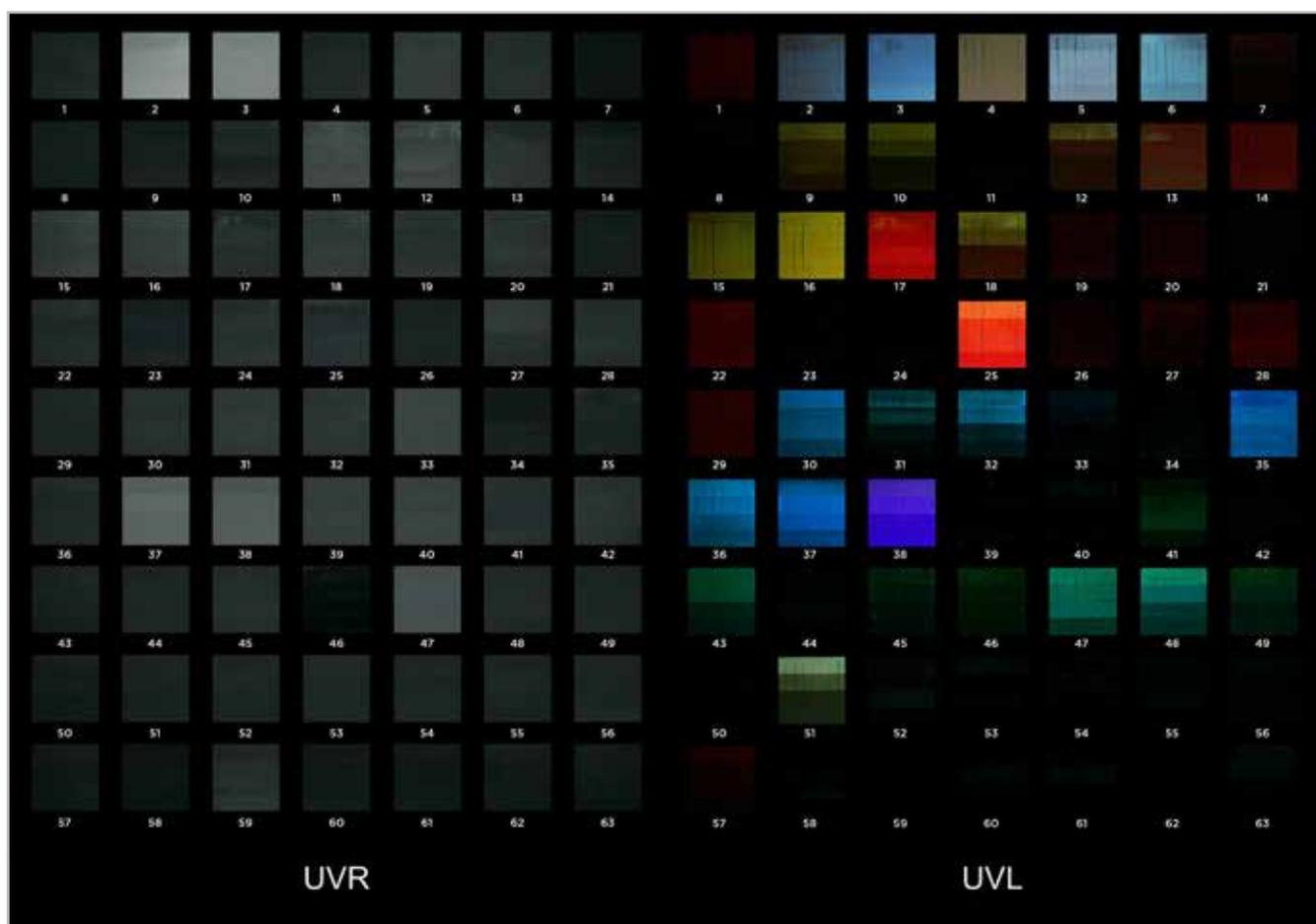


Figura 5.- Confrontación de la tabla con 63 pigmentos en fotografía infrarroja (IR) y reflectografía infrarroja (IRR).

los blancos a excepción del titanio (1). El albayalde (2) y el litopón (3) suelen presentar una luminiscencia azulada, al igual que los carbonatos cálcicos (5-6). El blanco de zinc (4), en cambio, presenta una luminiscencia cálida, que puede percibirse de color rosáceo (Poldi-Villa 2006: 160) o amarillenta (Cosentino 2014:7). Oropimente y rejalgar (9-10) exhiben cierta luminiscencia amarillenta oscura, mucho más brillante en el caso de colorantes amarillos como el azafrán o la resaca (15-16). El amarillo de cadmio (17) exhibe una característica luminiscencia roja, por lo general de gran intensidad, mientras que el amarillo de cobalto (18) puede llegar a presentar una señal moderada, pese a que eventualmente se describe como un pigmento sin luminiscencia (Cosentino 2014:7). La laca de rubia (25) posee una intensa respuesta naranja de gran saturación y alta luminiscencia. El lapislázuli (30), el esmalte (35), el azul egipcio (36) y el azul cerúleo (37) exhiben una intensa luminiscencia azulada, mientras que otros como el *blue bice* (32) poseen una señal mucho más débil. El violeta de cobalto (38) presenta una característica luminiscencia de análogo color. Entre los verdes, prácticamente solo el Viridiana (47) y la tierra de Verona (48) muestran una mínima luminiscencia, probablemente potenciada por el aglutinante oleoso, algo que también sucede, aunque en menor grado, en la malaquita (49) o en el ocre francés (51).

— FOTOGRAFÍA INFRARROJA (IR) Y REFLECTOGRAFÍA INFRARROJA (IRR)

Estas técnicas se han utilizado, habitualmente, como se ha dicho, para la observación de los dibujos subyacentes. Del mismo modo, los materiales con los que habitualmente se realizan los dibujos preparatorios de las pinturas son más o menos visibles, en función de su naturaleza, en cada una de las técnicas. En general conviene resaltar que los que tienen una composición rica en carbono son altamente visibles en ambas técnicas, pero más si cabe en IRR. Sin embargo, otros, como la tinta metalogálica, desaparecen cuando se aumenta la profundidad, deviniendo escasamente visible en IRR.

En la confrontación pigmentaria entre IR e IRR [Figura 6], hay algunas observaciones que se antojan interesantes. Por ejemplo, con análogas condiciones de iluminación/radiación, pigmentos como el titanio rutilo (1), albayalde (2), litopón (3) o blanco de zinc (4) presentan una respuesta más brillante en IRR respecto a IR. Lo mismo sucede con el oropimente y rejalgar (9-10), así como con otros amarillos como la resaca (15), azafrán (16), cadmio (17) y cobalto (18). En tales casos, IR posibilitan la lectura del dibujo subyacente. El azul de Prusia (33) y el verdigrís (40) se muestran completamente opacos y muy absorbentes

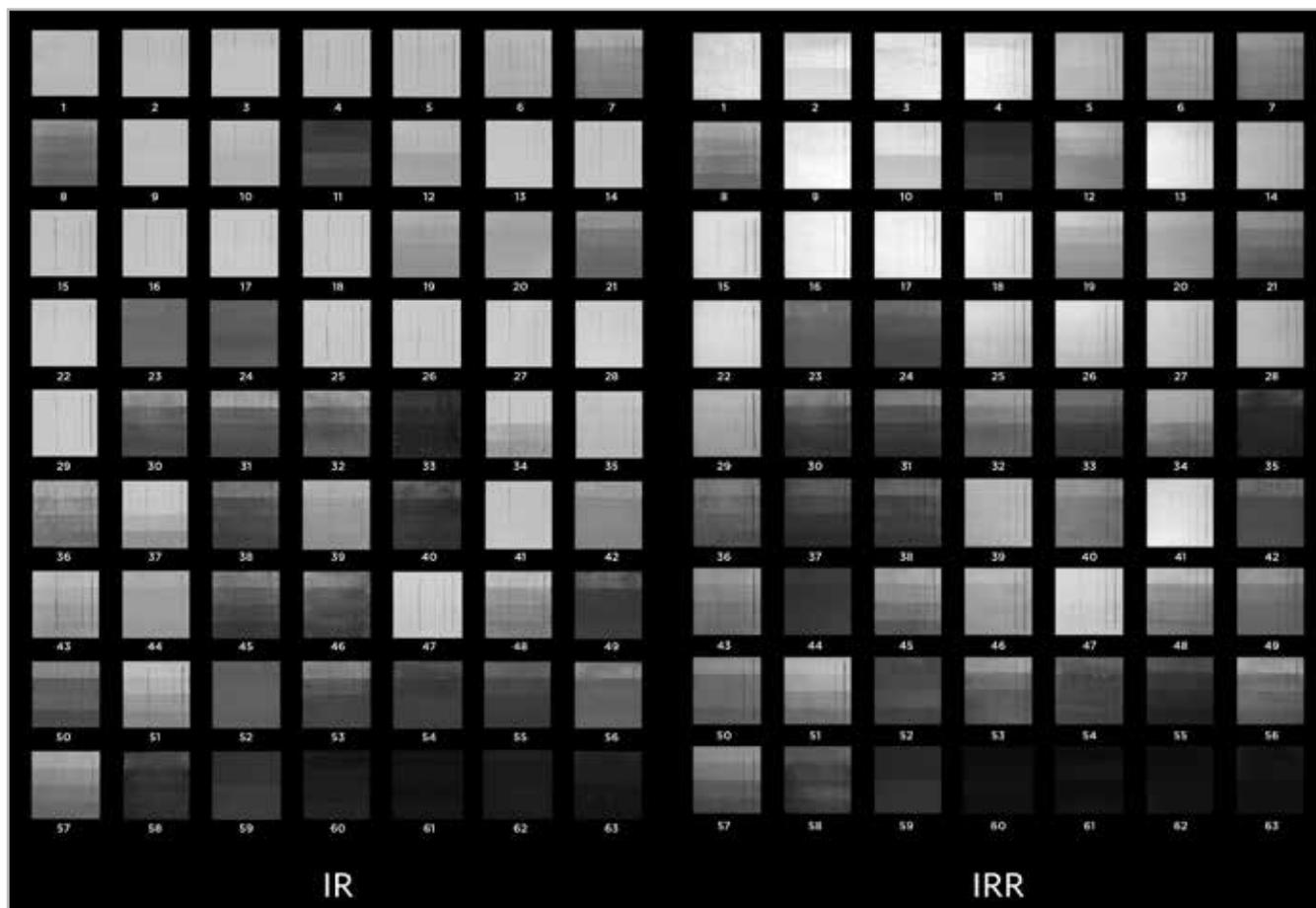


Figura 6.- Confrontación de la tabla con 63 pigmentos en transiluminación (TL) y transirradiación infrarroja (IRT).

en IR, mientras que, en cambio, permiten mostrar diseño subyacente en IRR. También el resinato de cobre (46) y la malaquita (49) resultan más claros en IRR, al contrario del verde de cromo (42) o el de cobalto (44) que presentan una respuesta más brillante en IR. Igualmente, el esmalte (35) o el cerúleo (37) son altamente absorbentes en IRR frente a su respuesta en IR, marcadamente luminosa.

— LUMINISCENCIA INFRARROJA INDUCIDA POR VIS Y UV (IRL)

Concretamente, en la imagen [Figura 7], puede apreciarse la confrontación entre dos tipologías de IRL: mediante excitación con luz visible (izquierda) y mediante radiación UV (365nm) (derecha). Los pigmentos partícipes en este fenómeno absorben la radiación visible y/o UV y emiten una banda amplia e intensa en el rango infrarrojo (IR), alrededor de 910 nm. Cuando la excitación se produce con radiación visible, al observar la imagen en una escala de grises, el azul egipcio (36) aparece de color blanco brillante, mientras que los pigmentos de base cadmio aparecen de gris claro a gris oscuro (17, 28, 41). Por último, el resto de pigmentos son completamente absorbentes, con excepción del azul cerúleo. En cambio, cuando la excitación se produce con radiación UV, son los pigmentos a base de cadmio los que exhiben un mayor brillo (17, 28, 41) destacando el rojo de cadmio

(28). Además, este tipo de radiación permite rastrear los blancos de titanio a base de rutilo (1) (Keller *et al.* 2019: 201-231).

— IMÁGENES DE FALSO COLOR: IRFC Y UVFC

En IRFC [Figura 8] los pigmentos blancos y la mayoría de los pigmentos amarillos (con la excepción de los ocres), se muestran de color blancuzco ligeramente verdoso. Cinabrio y bermellón (19-20) adoptan una tonalidad de color amarillo ocre. El minio (22) adopta un amarillo muy claro de tendencia brillante. La laca de rubia adopta una tonalidad amarilla intensa pero completamente transparente. Por su parte, el *lac dye* (26) y la cochinilla (27), como el resto de lacas rojizas de naturaleza orgánica, adoptan tonos de naranja rojizo, algo más claro y amarillento en el caso del rojo de cadmio (28) o el carmín de alizarina (29). Los azules oscilan entre los tonos rojos y violáceos, dependiendo de su naturaleza. El índigo y el esmalte (34-35) devuelven un rojo encendido; el azul egipcio y el cerúleo (36-37) magenta; el lapislázuli (30) un rojo oscuro granate, mientras que los azules cúpricos, como la azurita o el blue bice (31-32) conforman violáceos. Aún más variados en su respuesta son los verdes: el verde de cadmio (41) devuelve en IRFC un rosa intenso cercano al magenta, algo más apagado y oscuro

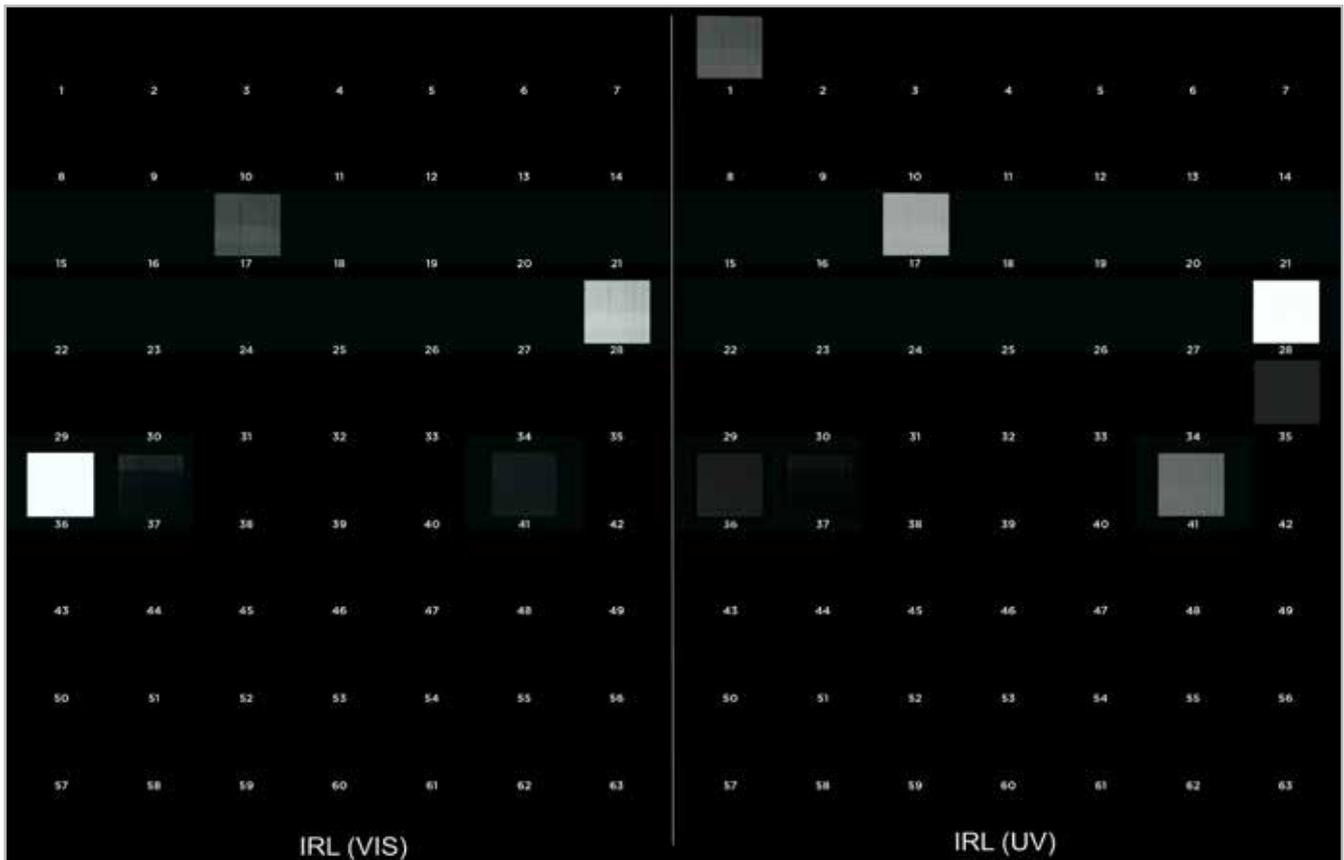


Figura 7.- Confrontación de la tabla con 63 pigmentos en luminiscencia infrarroja inducida por radiación visible (IRL_VIS), y luminiscencia infrarroja inducida por radiación ultravioleta (IRL_UV).

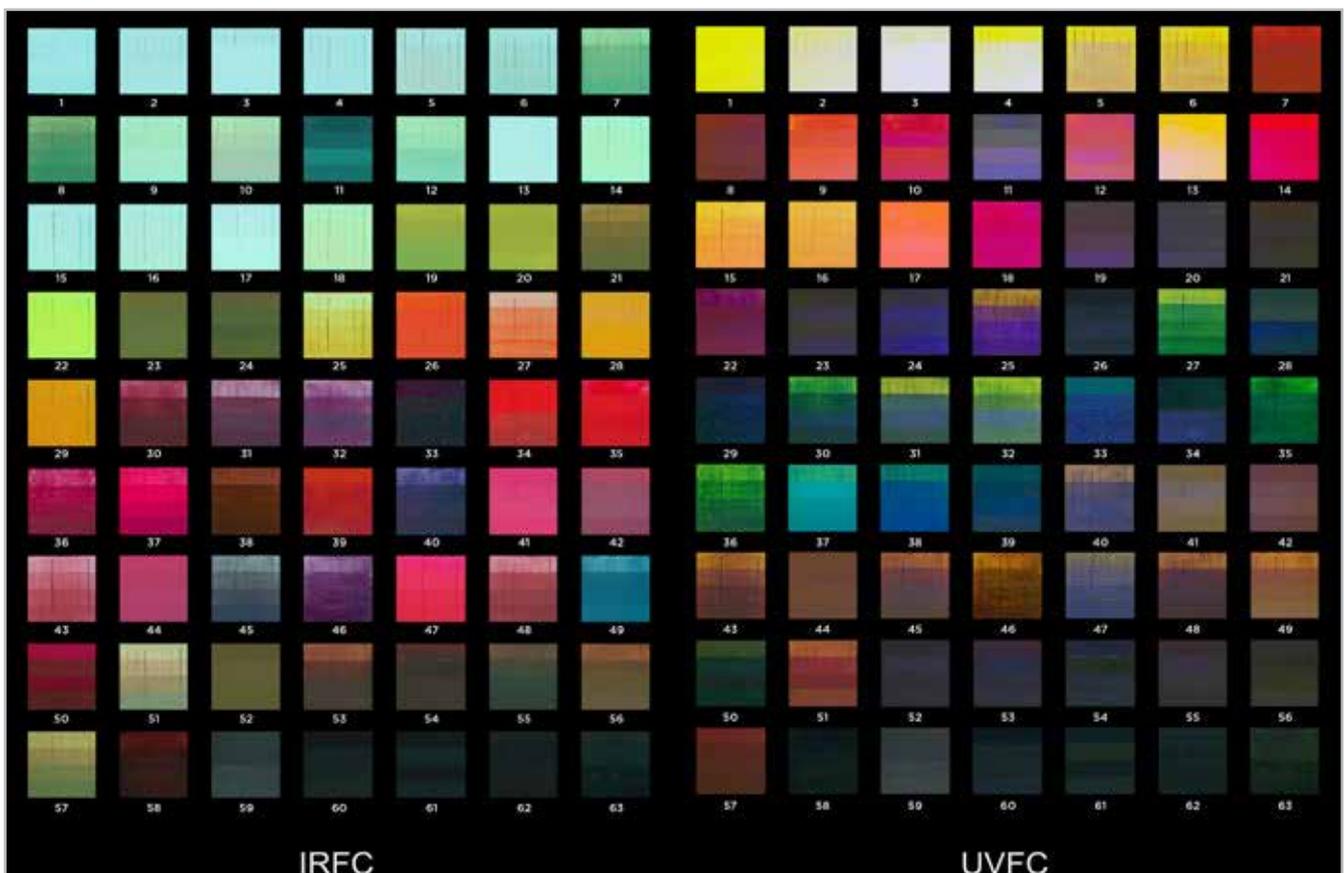


Figura 8.- Confrontación de la tabla con 63 pigmentos en infrarrojo de falso color (IRFC) y ultravioleta de falso color (UVFC).

en el caso de los verdes de cromo (42) o cobalto (44) y muy brillante en el caso de la Viridiana (47). El verdigrís (40) y el resinato (46) adquieren tonalidades moradas, más frías y azuladas en el caso del primero. Las tierras verdes (43, 48) dan tonos rojizos algo apagados, mientras que el verde de ftalocianina adopta un tono rojo intenso y oscuro (50). Por su parte, la malaquita muestra un comportamiento muy singular, con un característico color azulado (49). Las tierras devuelven tonalidades terrosas algo más verduscas que en VIS, mientras que el Kassel es, de entre todos los negros, el único que muestra un característico color marrón rojizo (58).

Como sucede con IRFC, la imagen UVFC también muestra ciertos comportamientos singulares [Figura 8] . Así, por ejemplo, el blanco de titanio muestra amarillo intenso, único en dicha familia. Los amarillos, en general, adoptan tonalidades rojizas: anaranjada en el caso del oropimente (9) y más roja en el caso del amarillo de cromo (14) o el de cobalto (18), siendo naranja clara, algo apagada en el caso del amarillo de estaño (17). Cinabrio y bermellón adoptan colores violáceos-grisáceos. El minio adquiere un color granate burdeos, mientras que la laca de rubia toma un matiz violeta transparente. Los azules tienden a ser verdes en UVFC (30-36), al igual que sucede con la laca de cohinilla (27). El azul cerúleo (37) toma un característico tono turquesa. Por su parte, los verdes (42-46) devuelven

tonalidades marrones, a excepción del verdigrís (40) y el Viridiana (47), cuya respuesta es grisácea-azulada. Es curioso el caso, por último, el verde ftalo (50), el único cuya respuesta en UVFC es igualmente verdosa.

— RADIOGRAFÍA

Normalmente nos encontraremos que toda la literatura apoya sus resultados en los análisis químicos efectuados en varios puntos del cuadro estudiado, correspondiendo las zonas más claras de una radiografía con aquellos pigmentos que han conseguido absorber y no dejar pasar la radiación que ha atravesado la superficie. Por consiguiente, todos aquellos pigmentos cuya composición cuente con algún tipo de material metálico –y este sea de un elevado número atómico– indudablemente serán los que mejor se podrán ver. Prueba de ello es que en el lienzo preparado para este estudio las áreas que ocupan el blanco de plomo (2) –cuya composición comercial es carbonato básico de plomo (Gettens *et al.* 1993: 67), – o el litargirio (11) proveniente del óxido de plomo (II) son las dos muestras que más resaltan. Por ejemplo, el blanco de plomo (2) cuenta con un coeficiente de absorción másico (μ/c) de 72,2 que es mucho más elevado en comparación con el del zinc, que es de 37,9 (Gettens *et al.* 1993: 77).

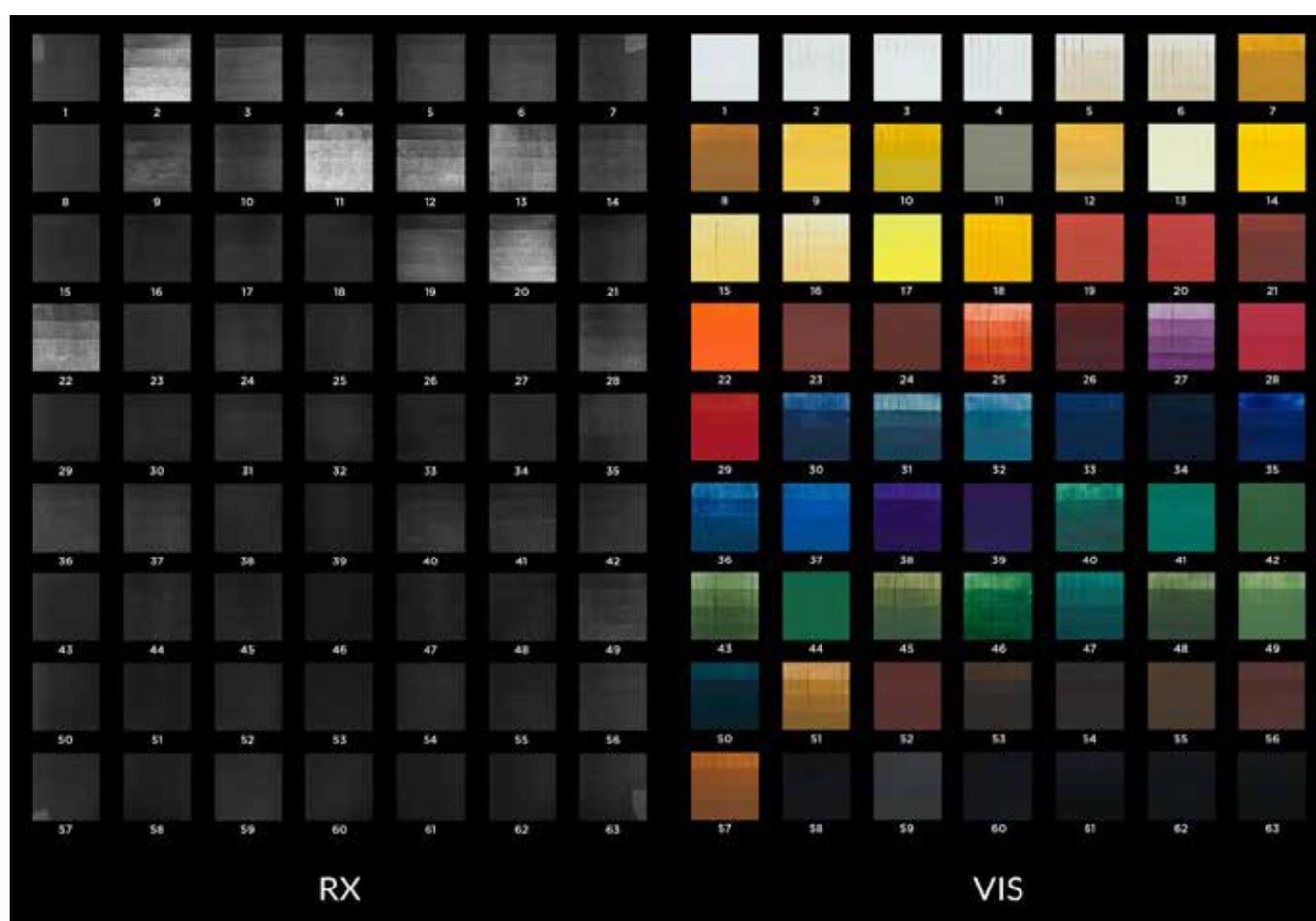


Figura 9.- Confrontación de la tabla con 63 pigmentos en radiografía (RX) e imagen visible de referencia (VIS).

CCP, CR	VIS	IR	NIR	SWIR1	SWIR2	NPPC	LEIR	SWIR	SWIR2	SWIR
1. Blanco (blanco rubio)										
2. Blanco de plomo										
3. Litado										
4. Blanco de zinc										
5. Crema de canchales										
6. Carmesí de casto de bronce										
7. Ocre italiano cotto										
8. Seta natural										
9. Ocre romano										
10. Rojizo										
11. Litargo										
12. Amarillo de Nápoles										
13. Amarillo de plomo blanco										
14. Amarillo de cenizas blancas										
15. Laca de naranja										
16. Azufre										
17. Amarillo de cadmio										
18. Amarillo de cobalto										
19. Círculo natural										
20. Bismuto										
21. Rojo de Bengala										
22. Rojo										
23. Anilino										
24. Hematita										
25. Laca de rubí										
26. Carmesí de Dyck										
27. Laca de cochino										
28. Rojo cadmio claro										
29. Carmesí de alúmina										
30. Caputivi										
31. Azurita										
32. Azul marino										
33. Azul de Prusia										
34. Indigo										
35. Sulfuro										
36. Azul apocrita										
37. Azul ceriseo										
38. Violeta de cobalto										
39. Azul de Prusia claro										
40. Verde										
41. Verde de azufre										
42. Verde azulado de cobre										
43. Tierra verde francesa										
44. Verde de cadmio										
45. Crocoíta										
46. Bismuto de cobre										
47. Verde viridiana										
48. Tierra de selenio										
49. Mármula										
50. Verde de bismuto										
51. Verde francés										
52. Rojo bismuto										
53. Sombra natural										
54. Sombra tostada oscura										
55. Sombra tostada roja										
56. Sombra tostada oscura										
57. Ocre Habana francés										
58. Negro de Ruess										
59. Ocre de mariposa										
60. Negro marfil										
61. Negro de hueso										
62. Negro de hueso										
63. Negro carbon										

Tabla 2. Esquema de las principales coloraciones obtenidas con los 63 pigmentos utilizados a lo largo de las diversas bandas espectrales. Los colores se han copiado digitalmente de las imágenes obtenidas, a modo orientativo.

Es curioso cómo la mayor radiopacidad sea la del litargirio (11), un óxido de plomo cuyo valor de pigmentación se ve comprometido por su escasa estabilidad cromática, (Doerner 1998:53), pero que debió de ser por su escaso poder colorante uno de los aditivos más comúnmente utilizados en pintura (Herrero-Cortell 2019:155). Así mismo, es interesante destacar cómo la adición de cargas secativas, como el acetato de plomo (sal de Saturno) o el litargirio (4), usado habitualmente en pintura, pueden conferir una mayor legibilidad en forma de luminiscencia a pigmentos que, por sí solos, no la tienen. Es muy probable que, de hecho, las propiedades secantes de todos los pigmentos a base plomo (principalmente albayalde (2), minio (22), amarillo de Nápoles (12), amarillo de cromo-plomo (14) y amarillo de plomo-estaño (13) se explorasen mezclándolos como secativos a pigmentos como las tierras, por ejemplo, cuyo proceso de secado es mucho más lento.

Por otro lado, resalta de este mosaico el bermellón (20), en menor medida el cinabrio natural (19) o el rojo de cadmio claro (28). En estos tres casos su evidente respuesta se basa en su composición a base de sulfuro de mercurio (HgS) o Cadmio (CdS), en las que su elemento metálico tiene un coeficiente de absorción muy significativo (Gettens et al. 1993; 13). En el caso del minio (22) nos encontramos con una similitud entre el coeficiente de absorción del mercurio y del plomo (West 1985: 129). A continuación, debemos colocar los verdes en cuya composición encontramos el cobre, como es el caso del verdigrís (40) o la malaquita (49) con un coeficiente de absorción másico que se puede considerar moderado (μ/c) de 27.0, pueden devolver una escasa respuesta luminiscente en RX (Gettens *et al.* 1993: 193), prácticamente nula para el resto de los pigmentos.

Por último, si nos ceñimos a la valoración de la capacidad de absorción de los pigmentos debemos ser conscientes de que no podemos olvidar las variables que se producen durante la ejecución de una obra, como es la mezcla pigmentaria y de materiales, así como el espesor de las pinceladas.

Conclusión

A lo largo del presente artículo se ha puesto de manifiesto cómo cambian los principales pigmentos históricos al ser observados en imágenes multibanda en diversos rangos del espectro, evidenciando utilidad de la confrontación de las distintas imágenes MBTI en propósitos como la identificación preliminar de pigmentos, o la observación del ductus pictórico. Para sintetizar los resultados de nuestro trabajo se ha elaborado una tabla en la que se ponen de manifiesto las diferencias cromáticas advertidas para cada caso [Tabla 2]. Los resultados cromáticos, aquí presentados, pretenden servir, por tanto, como una guía tentativa en la descripción visual del comportamiento los pigmentos más comunes en pinturas hasta el siglo XX, pero obviamente conviene utilizar otras técnicas para la confirmación definitiva.

Aun tratándose de pigmentos simples, el color puede ser susceptible de importantes cambios en función de factores como el grado de pureza pigmentaria, o la existencia de *fillers* y cargas, (que habitualmente pueden hallarse en polvos industriales). No debemos olvidar, además, que cuando nos enfrentamos a casos de pinturas reales, en muchos puntos los pigmentos no se encuentran en forma pura, siendo habituales las mezclas, diferencias en el espesor de las pinceladas y superposiciones en forma de veladuras; variables que podrían inducir a error en su interpretación. Igualmente, el tono del estrato de preparación puede interferir en la percepción del color en superficie, del mismo modo que el grosor de la aplicación puede resultar de gran relevancia en algunos pigmentos. Así mismo, los equipamientos utilizados para registrar las respectivas imágenes pueden influir sobremanera: fuentes de radiación/iluminación, filtros; sensores, etc.; así como por los propios parámetros técnicos de ejecución de cada captura (exposición, tiempo, contraste, calibrado, etc).

De cualquier modo, y para concluir, un protocolo de imagen multibanda lo más completo posible puede ser de gran utilidad en la caracterización y mapeo de los materiales constitutivos de las pinturas, pudiendo dar pistas sobre su ejecución misma o sobre las problemáticas conservativas que puedan afectar a una determinada obra de arte. La caracterización mediante imagen del comportamiento de estos 63 pigmentos contribuirá, sin duda, a enriquecer la interpretación de este tipo de análisis no invasivos sobre pinturas, permitiendo entender mejor la materia constitutiva de las mismas. En un futuro inmediato, cabrá continuar con una caracterización análoga para otros pigmentos más contemporáneos que han quedado fuera de este estudio, mientras que, en cambio, en un futuro a medio plazo, es posible que todos datos puedan usarse, por medio de inteligencia artificial para afinar las lecturas materiales, procedimentales y técnicas de las obras de arte, permitiendo, entre otras cosas mapear preliminarmente ciertos pigmentos en función de su comportamiento.

Agradecimientos

Los autores desean dar las gracias al Dr. Marcello Picollo, del Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara"/ CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche (IFAC-CNR) por sus consejos, correcciones y precisiones y por diversos análisis efectuados. Un agradecimiento también a Ana Victòria Pedret, Maria Luisa Ricci, Andrea La Bella, y Ariadna Piñol, que colaboraron en la elaboración de la probeta.

Referencias

AGUILAR-TÉLLEZ, D. M., RUVALCABA-SIL, J. L., CLAES, P., & GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, D. (2014). False color and infrared imaging for the identification of pigments in paintings. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, 1618: 3-15. <https://doi.org/10.1557/opl.2014.451>

- ACCORSI, G. VERRI, M. BOLOG NESI, N. ARMAROLI, C. CLEMENTI, C. MILIANI, A. ROMANI (2009). The exceptional near-infrared luminescence properties of cuprorivaite (Egyptian blue), *Chem. Com mun.*, 3392–3394. <https://doi.org/10.1039/b902563d>
- ALDROVANDI, A., E. BUZZEGOLI, A. KELLER, AND D. KUNZELMAN. (2004). Indagini su Superfici Dipinte Mediante Immagini UV Riflesse in Falso Colore. *OPD Restauro: Rivista dell'Opificio delle Pitre Dure e Laboratorio di Restauro di Firenze*, 16: 83-87.
- ALDROVANDI, A., E. BUZZEGOLI, A. KELLER, AND D. KUNZELMAN. (2005). Investigation of painted surfaces with reflected UV false color technique. In *8th International conference on "Non-destructive investigations and microanalysis for the diagnostics and conservation of the cultural and environmental heritage"*, Lecce, Italy, 15–19 May 2005, eds. C. Parisi, G. Buzzanca, and A. Paradisi. Brescia, Italy: Associazione Italiana Prove Non Distruttive Monitoraggio Diagnostic. 3-18.
- ALDROVANDI, A.; PICOLLO, M. (1999) *Metodi di documentazione e indagini non invasive sui dipinti*. Il Prato: Padova.
- BONANNO, A., BOZZO, G., STRANGES, F., & SAPIA, P. (2017). La riflettografia infrarossa tra fisica, arte e tecnologia. *Il Giornale di Fisica*, 1: 27-51. <https://doi.org/10.1393/gdf/i2017-10260-5>
- BRIDGMAN, C. F., AND GIBSON, L. H. (1963). Infrared Luminescence in the Photographic Examination of Paintings and Other Art Objects. *Studies in Conservation*, 8(3): 77-83. <https://doi.org/10.2307/1505133>
- BURROUGHS, A. (1928). *Notes on the principles and process of X-ray examination of painting*. Washington D C, Estados Unidos: Smithsonian report for 1927.
- CONTI, S., AND A. KELLER. (2010). Il Colore nei Materiali Tessili Antichi: Standard di Riferimento e Caratterizzazione dei Coloranti per Mezzo di Indagini Ottiche. *OPD Resatauro: Rivista dell'opificio delle Pietre Dure e Laboratorio di Restauro di Firenze*, 20: 57-72.
- COSENTINO, A. (2014). Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science*, 2(1): 1-12. <https://link.springer.com/article/10.1186/2050-7445-2-8>
- COSENTINO, A. (2015). Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination. *Conservar Património*, (21), 53-62. <https://www.redalyc.org/pdf/5136/513651366004.pdf>
- COSENTINO, A. (2016). Infrared technical photography for art examination. *e-Preservation science*, 13: 1-6.
- COSENTINO, A.; STOUT, S. (2014). Photoshop and multispectral imaging for art documentation. *e-Preservation Science*, 11, 91-98. <https://www.academia.edu/download/39236800/5450afd60cf249aa53dabdb8.pdf>
- DE LA RIE, R.E. (1982). Fluorescence of Paint and Varnish Layers (Part I). *Studies in Conservation*, 27: 1-7; 65-69; 102-108. <https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.1.1>
- DÍAZ, A. (1975). *Restauración y Conservación del Arte Pictórico*. Madrid, España: ArteRestauro.
- DOERNER, M. (2001). *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. Reverté.
- DYER, J., VERRI, G., AND CUPITT, J. (2013). *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence Modes: A User Manual*. London: The British Museum
- GARGANO, M., LUDWIG, N., & POLDI, G. (2007). A new methodology for comparing IR reflectographic systems. *Infrared Physics & Technology*, 49(3): 249-253. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350449506000855>
- GARRIDO, C., y CABRERA, J.M^a. (1983). "La Fragua de Vulcano". Estudio técnico y algunas consideraciones sobre los materiales y métodos del XVII. *Boletín del Museo del Prado*, 4(11): 79-95.
- GETTENS, R. J. FELLER, R; CHASE, W.T. (1993). Vermilion and Cinnabar. En Ashok Roy. (Ed), *Artists' Pigments. A handbook of their history and characteristics*. . Londres, Reino Unido: Archetype Publications. 2: 159-182.
- GETTENS, R. J.; WEST FITZHUNG, E. (1993). Malachite and Green Verditer. En Ashok Roy. (Ed), *Artists' Pigments. A handbook of their history and characteristics*. Londres, Reino Unido: Archetype Publications. 2: 183-202.
- GETTENS, R.J.; KÜHN, H.; CHASE, W.T. (1993). Lead White. En Ashok Roy. (Ed), *Artists' Pigments. A handbook of their history and characteristics*. Londres, Reino Unido: Archetype Publications. 2: 67-82.
- GRIFONI, E., BRIGANTI, L., MARRAS, L., ORSINI, S., COLOMBINI, M. P., LEGNAIOLI, S., PALLESCI, V. (2015). The chemical-physical knowledge before the restoration: the case of "The Plague in Lucca", a masterpiece of Lorenzo Viani (1882–1936). *Heritage Science*, 3(1): 26. <http://doi.org/10.1186/s40494-015-0055-0>
- HERRERO-CORTELL, M. Á. (2019). *Procedimientos técnicos, soportes y materiales utilizados en los obradores pictóricos de la corona de aragón (s. XV- XVI). Una aproximación a través del paradigma valenciano*. Lleida: Universitat de Lleida.
- HERRERO-CORTELL, M. Á., CREUS, M. R., ARTONI, P., & SANCHIS, I. P. (2018). Multi-band technical imaging in the research of the execution of paintings. The case study of the portrait of Carlos IV, by Francisco de Goya. *Ge-conservación*, 14: 5-15. <https://doi.org/10.37558/gec.v14i1.583>
- HERRERO-CORTELL, M., ARTONI, P., & RAÏCH, M. (2020). Transmitted light imaging in VIS and IR, in the study of paintings: a brief report on the behavior of the main historical pigments. *Cultura e Scienza del Colore-Color Culture and Science*, 12(02): 79-88. <https://doi.org/10.23738/CCSJ.120210>
- HERRERO-CORTELL, M. Á; ARTONI, P.M CREUS, M. R., ALIAGA, J. PUIG, I. (2021). Observando a través de los estratos: fotografía infrarroja

transmitida (IRT) aplicada al estudio técnico y documental de pinturas sobre lienzo. *Ge-conservación*, (19(1): 62-73. <https://doi.org/10.37558/gec.v19i1.840>

HOURS-MIEDAN, M. (1964). *Les secrets des chefs-d'oeuvre. L'oeuvre d'art est matière avant d'être message*. Paris, Francia: Éditions Robert Laffont.

KIRBY, J.; VAN BOMMEL, M.; VERHECKEN, A. (2014) *Natural Colorants for Dyeing and Lake Pigments. Practical Recipes and their Historical Sources*. London: Archetype.

KELLER, A. T., LENZ, R., ARTESANI, A., MOSCA, S., COMELLI, D., & NEVIN, A. (2019). Exploring the ultraviolet induced infrared luminescence of titanium white pigments. *Conservation 360*, 1:201-232. https://monografias.editorial.upv.es/index.php/con_360/article/view/79

LANG, J., & MIDDLETON, A. (1997). *Radiology of Cultural Material*. Londres: Elsevier Butterworth-Heinemann

MADRID, J.A. (2010). Catálogo radiográfico del servicio de rayos X del Laboratorio de Documentación y Registro. *Arché*, 10: 87-98. <http://hdl.handle.net/10251/85227>

MADRID, J.A. (2014). Dos décadas de inspección radiográfica en España: retrospectiva y horizontes en un contexto de cambio tecnológico. Intervención. *Revista Internacional de Conservación, Restauración y Museología*, 85: 85-93. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=355632777011>

MOON, T., SCHILLING, M. R., THIRKETTLE, S. (1992). A note on the use of false-color infrared photography in conservation. *Studies in Conservation*, 37 (1):42-52 <https://doi.org/10.2307/1506436>

MUCCHI, L., Y BERTUZZI, A. (1983). *Nella profondità dei dipinti. La radiografia nell'indagine pittorica*. Milan: Ed. Electa.

PICOLLO, M.; FUSTER LÓPEZ, L. STOLS-WITLOX, M. (2020). *UV-Vis Luminescence imaging techniques/ Técnicas de imagen de luminiscencia UV-Vis*. Editorial Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/138517>

POLDI, G.; VILLA, G.. (2006). *Dalla conservazione alla storia dell'arte: riflettografia e analisi non invasive per lo studio dei dipinti*. Edizioni della Normale, 3.

RAÏCH, M.; ARTONI, P.; HERRERO-CORTELL; M.; LA BELLA, A.; RICCI, M.L; HERNÁNDEZ, A. (2019). "Riconoscere dal colore. Pigmenti e coloranti dell'età moderna nell'analisi multibanda dei dipinti: uno strumento visivo per gli storici dell'arte e i conservatori", in *Colore e Colorimetria. Contributi multidisciplinari*, 120-127.

ROGGE, C; LOUGH, K. (2016). Fluorescence Fails: Analysis of UVA-Induced Visible Fluorescence and False-Color Reflected UVA Images of Tintype Varnishes Do Not Discriminate Between Varnish Materials. *Journal of the American Institute for Conservation*, 55(2): 138-147. <https://doi.org/10.1080/01971360.2016.1155813>

RORIMER, J.J. (1931). *Ultra-violet rays and their use in the examination of works of art*. New York: The Metropolitan Museum of Art.

THOURY, M., DELANEY, J.K., RIE, E.R., PALMER, M., MORALES, K., AND KRUEGER, J. (2011). Near-infrared luminescence of cadmium pigments: in situ identification and mapping in paintings. *Appl Spectrosc*, 65(8): 939-951.

VANPAEMEL, G. (2010). X-rays and Old Masters. The Art of the Scientific Connoisseur. *Endeavour* 34(2): 69-74.

VERRI, G. (2009). The spatially resolved characterisation of Egyptian blue, Han blue and Han purple by photo-induced luminescence digital imaging. *Analytical Bioanalytical Chemistry*, 394(4): 1011-1021.

WARDA, J., (ed.) (2011). *The AIC guide to digital photography and conservation documentation*. Washington, DC: Foundation of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

WEST FITZHUNG, E. (1985). Red Lead and Minium. En Robert L. Feller. (Ed), *Artists' Pigments. A handbook of their history and characteristics*, Londres, Reino Unido: Archetype Publications. 1: 109-139.

Autor/es



Miquel Àngel Herrero Cortell

mihercor@har.upv.es

Universitat Politècnica de Valencia

<https://orcid.org/0000-0002-3855-9542>

Doctor en Historia del Arte; Máster en Producción Artística y Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Su investigación se liga especialmente a las técnicas, procedimientos y materiales de la pintura y a la diagnosis artística con técnicas de imagen. En la actualidad desempeña su labor docente como profesor de Historia del Arte en la Universitat Politècnica de Valencia.



Marta Raich

marta.raich@udl.cat

Centre d'Art d'Època Moderna (CAEM) de la Universitat de Lleida

<https://orcid.org/0000-0002-1149-5753>

Graduada en Comunicación Audiovisual por la Universitat de Lleida. Especialista en fotografía científica aplicada a obras de arte, especialmente en técnicas de imagen multibanda y en postproducción fotográfica. Actualmente desempeña su labor profesional en los laboratorios del Centre d'Art d'Època Moderna (CAEM) de la Universitat de Lleida.

**Paola Artoni**paola.artoni@univr.it

Centro Laniac dell'Università di Verona

<https://orcid.org/0000-0003-1122-4547>

Doctora en Historia del Arte. Ha trabajado durante una década para el Ministerio dei Beni Culturali, y actualmente es funcionaria responsable del Centro Laniac dell'Università di Verona, sede en la que enseña Técnicas de Diagnóstico no invasivo para obras de arte. Su especialidad es el estudio de la pintura mediante técnicas de imagen infrarrojas. Es docente de Historia de las Técnicas artísticas en el Grado de Restauración de la Scuola di Restauro di Mantova

**José Antonio Madrid García**jmadrid@crbc.upv.es

Universitat Politècnica de València

<https://orcid.org/0000-0002-4994-2336>

Doctor en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la Universitat Politècnica de València. Catedrático de Universidad, en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, de la Facultad de Bellas Artes y responsable del Laboratorio de Documentación y Registro en el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València. Como profesor imparte docencia tanto en el Grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales como en el Master Oficial de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Dentro de su docencia imparte asignaturas relacionadas con la teoría de la conservación y Restauración de Bienes Culturales, la aplicación del análisis radiográfico o los sistemas de gestión y catalogación en relación con los Bienes Culturales. Ha dirigido un gran número de trabajos final de grado y así como varias tesis doctorales. Supervisor Responsable de la Instalación Radioactiva asociada al Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València, ha dirigido su línea de investigación a la realización de radiografías de gran formato de obras bidimensionales y tridimensionales.

Artículo enviado 04/03/2022

Artículo aceptado el 19/07/2022

<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1101>

Selección de productos consolidantes. Ensayos y estudios para la cohesión del soporte del abrigo de Los Toros del Prado del Navazo (Albarracín, Teruel)

Claudia Serrano Aranda, María Antonia Zalbidea Muñoz, Manuel Bea Martínez

Resumen: Desde que el arte Levantino (ARAMPI) fue declarado Patrimonio Mundial por la UNESCO en 1998 existe una mayor tendencia hacia su conservación. Con el fin de avanzar en el conocimiento y experiencia en este patrimonio tan específico, en este estudio se testan diferentes productos consolidantes y así generar datos y material tangible sobre la compatibilidad del producto consolidante con el soporte, su concentración y forma de aplicación más adecuada. Los resultados han destacado la relevancia de los estudios previos científicos y empíricos para poder acometer intervenciones adecuadas, pues los productos más adecuados en la teoría han ofrecido peores resultados en la práctica, y determinan la necesidad de ulteriores estudios que amplíen el estudio aquí propuesto.

Palabras clave: arte levantino, consolidación, conservación-restauración, Sierra de Albarracín, Patrimonio Mundial, *Los Toros del Prado del Navazo*

Selection of consolidating products. Tests and studies for the cohesion of the support of Los Toros del Prado del Navazo shelter (Albarracín, Teruel)

Abstract: Since Levantine art (ARAMPI) was declared a World Heritage Site by UNESCO in 1998, there has been a growing trend towards its conservation. With the aim of advancing knowledge and experience in this very specific heritage, this study tests different consolidating products in order to generate data and tangible material on the compatibility of the consolidating product with the support, its concentration and the most suitable form of application. The results have highlighted the relevance of previous scientific and empirical studies to be able to undertake suitable interventions, as the most suitable products in theory have given worse results in practice and determine the need for further studies to extend the study proposed here.

Keywords: levantine rock art, consolidation, conservation-restoration, Albarracín Mountain Range, World Heritage, *Los Toros del Prado del Navazo*

Seleção de produtos de consolidação. Testes e estudos para a coesão do apoio do abrigo de Los Toros del Prado del Navazo (Albarracín, Teruel)

Resumo: Desde que a arte Levantina (ARAMPI) foi declarada Património Mundial pela UNESCO em 1998, tem havido uma tendência crescente para a sua conservação. Com o objectivo de fazer avançar os conhecimentos e a experiência neste património muito específico, este estudo testa diferentes produtos de consolidação a fim de gerar dados e material tangível sobre a compatibilidade do produto de consolidação com o suporte, a sua concentração e a forma mais adequada de aplicação. Os resultados salientaram a relevância de estudos científicos e empíricos anteriores para se poder realizar intervenções adequadas, uma vez que os produtos mais adequados em teoria deram piores resultados na prática, e determinaram a necessidade de mais estudos para expandir a investigação aqui proposta.

Palavras-chave: arte levantina, consolidação, conservação-restauro, Serra de Albarracín, Património Mundial, *Los Toros del Prado del Navazo*

Introducción

El enclave con representaciones rupestres *Los Toros del Prado del Navazo* [Figura 1] está situado en la Sierra de Albarracín, cercano al municipio homónimo y dentro del Parque Cultural de Albarracín (Teruel). El hallazgo de estas pinturas en 1892 supuso el descubrimiento del arte Levantino (Marconell 1892a, 1892b), manifestación artística postpaleolítica, principalmente pictórica, que se encuentra situada en abrigos o covachas al aire libre, concentrándose exclusivamente en la fachada mediterránea de la Península Ibérica. El sitio arqueológico del *Navazo* fue incluido en la lista de Patrimonio Mundial por la UNESCO en 1998 junto con el resto de conjuntos de la zona levantina. No obstante, pese a que estas pinturas se han incluido en esa tradición artística (Beltrán 1968; 1993; Piñón 1982; García Arranz *et al.* 2012), recientes investigaciones apuntan que pudieran pertenecer a un momento crono-cultural diferente (Martínez-Bea 2005, 2008; Bea 2017).

El abrigo se ubica en una afloración definida dentro de la facies *Buntsandstein* (final del Paleozoico-inicios del Mesozoico), y forma, junto los pinos resineros, el paisaje protegido de *Pinares del Rodeno*. El soporte de las pinturas es clasificado como arenisca, ya que está constituido por cuarzo, feldespatos potásicos y micas [Figura 2]. Los clastos son subangulosos y con selección buena. La matriz rocosa y cementación de naturaleza arcillosa y de tipo ferruginoso, lo cual otorgan al soporte su característico color rojo. Las propiedades cromáticas rojizas de esta roca destacan sobre las pinturas de coloración blanquecina, rasgo casi exclusivo de Albarracín, y hecho que convierte a la zona en un núcleo extraordinario. En términos generales, la temática del abrigo responde a un naturalismo propio del momento cuaternario por la representación de bóvidos de grandes dimensiones. En contraste, existe la representación de un grupo de antropomorfos filiformes de menores dimensiones, que otorgan al conjunto una posterior cronología (Villaverde *et al.* 2012).



Figura 1.- Friso con pintura del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* (Albarracín, Teruel). Fuente: Manuel Bea Martínez, 2015.

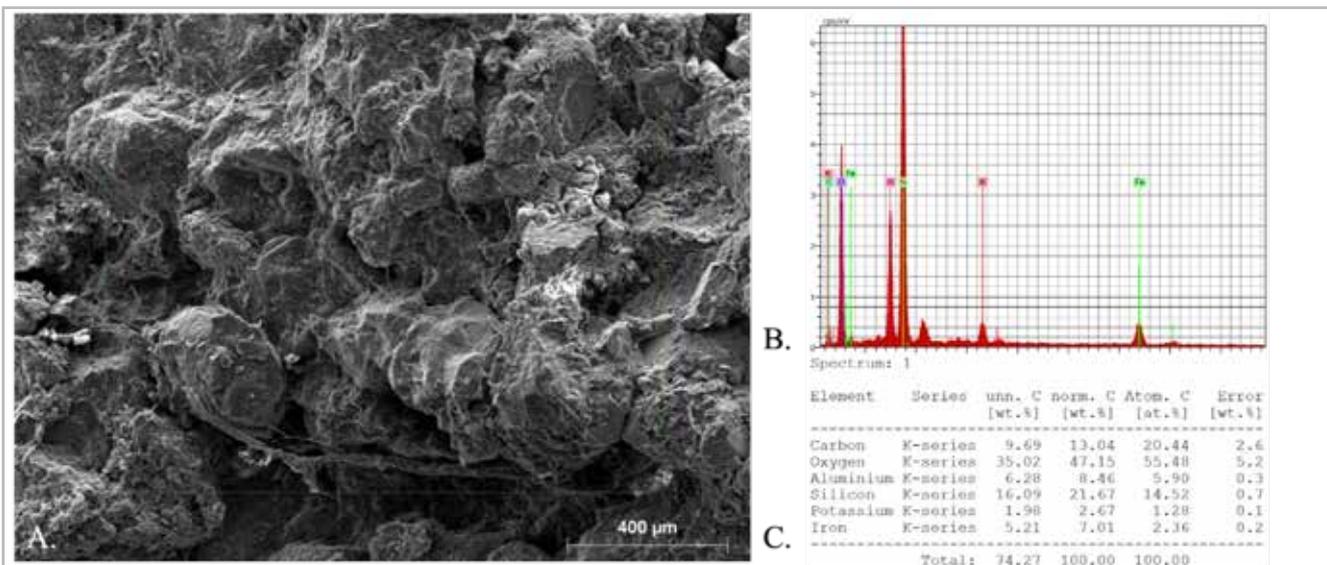


Figura 2.- Análisis mineralógico del soporte obtenido por microscopía electrónica de barrido con detector de rayos X (SEM-EDX) (*Hitachi*® S-4800, SCSIE, *Universitat de València*). A). Imagen SEM en electrones retrodispersados, 70x, 20.0kV; B). Espectro EDX; C). Análisis EDX.

En el interior del abrigo se observan abundantes microformas erosivas que afectan al soporte de las pinturas y que son fruto de su alteración geológica (Serrano *et al.* 2021). Este producto de degradación se conoce como tafonis, y ha sido producido a lo largo del tiempo por la exposición del soporte a los diferentes climas en los que ha convivido (Peña 2010). No obstante, este modelado sigue todavía activo, hecho que determina el estado de conservación del enclave.

La conservación del abrigo es un desafío para la preservación de las pinturas fundamentalmente por estar al aire libre y sus características minerales. Aunque es una roca muy compacta por su escasa porosidad, presenta puntos de debilidad causados, por un lado, por intercalación de niveles de arcilla y, por otra parte, por la presencia de estratificación normal y cruzada (Peña 2010). Ambas situaciones comprometen la estabilidad de la roca. No obstante, Benito *et al.* (1991-1992) ya apuntaban en la década de los 90 la rápida y progresiva degradación de las pinturas, pero desde entonces no ha existido ninguna investigación que aporte datos sobre su deterioro. Los estudios sobre el estado de conservación y patologías presentes (Serrano *et al.* 2021; Serrano 2021) destacaron diferentes fenómenos de alteración natural tales como colonización biológica, acumulación superficial de sustancias detríticas, agrietamientos, deplacados, eflorescencias salinas y, especialmente, una acusada

y generalizada lixiviación [Figura 3]. Esta lixiviación es producto de dos fuentes de degradación, por un lado, asociada a ciclos de haloclastismo y, por otro lado, relacionada con escorrentías de agua, que han supuesto la disolución de una parte del soporte y pérdida de una de las unidades gráficas del conjunto. Este hecho ha favorecido, a su vez, a la aparición de nuevos fenómenos de alteración como la presencia de nuevas eflorescencias salinas y concreciones insolubles. Como se ha comentado, todas las alteraciones son acrecentadas por la condición al aire libre del enclave.

Para garantizar una conservación futura de esta manifestación pictórica es necesario comprender cómo estabilizar el soporte alterado mediante un tratamiento de consolidación⁽¹⁾. La consolidación tiene como objetivo devolver la cohesión perdida y así reforzar las capas superficiales más susceptibles de deterioro (Osca 2005; Barreda *et al.* 2017; Girginova *et al.* 2018; Samaniego y Zornoza-Indart 2020). Este tratamiento es imprescindible para mejorar las cualidades y propiedades del soporte y, por tanto, necesario para su conservación. Una vez entendido cómo tratar el soporte se podrá evaluar tratamientos que incorporen procesos de intervención en el estrato. Es por ello, que en esta investigación se propone el estudio de diferentes materiales consolidantes compatibles con la matriz rocosa del soporte del abrigo de los *Toros del Prado del Navazo*, aunque permite ser un trabajo de referencia



Figura 3.- Fenómenos de alteración en el abrigo de los *Toros del Prado del Navazo*. A). Lixiviación; B). Tafoni o erosión alveolar; C). Concreciones insolubles y sustancias detríticas; D). Agrietamientos.

para otros conjuntos que precisen tratamientos futuros de intervención.

Las actuaciones de consolidación realizadas en el arte Levantino han sido acciones de urgencia en las que, probablemente la premura ha evitado una reflexión profunda sobre el tipo de material aplicado como consolidante. La naturaleza de los productos utilizados a lo largo del tiempo en la consolidación del patrimonio cultural ha sido diversa. Se pueden distinguir entre consolidantes orgánicos, organosilíceos e inorgánicos.

De modo ordinario se han utilizado los polímeros sintéticos ya que presentan un buen comportamiento mecánico respecto a los productos inorgánicos (Iole *et al.* 2002). Además, estos productos permiten cierta reversibilidad, el método de aplicación es más sencillo y el efecto consolidativo se produce tras la evaporación del disolvente (Osca 2005). En cambio, su uso se ha visto limitado en los últimos tiempos por su inestabilidad a corto y largo plazo. En consolidación de pintura Levantina se ha utilizado habitualmente *Paraloid*[®] B-72^[2], pese a que presenta diversas desventajas: irreversibilidad del material, ya que produce *cross-linkg* en su red polimérica; alteraciones cromáticas o una elevada acidez (Borgioli 2002; Borgioli y Cremonesi 2005; Osca 2005; Bensi 2006). Asimismo, su estabilidad se ve cuestionada por la presencia de microorganismos (Amoroso 2002) e, incluso, se acumula y se distribuye de manera irregular por la superficie, modificando la permeabilidad al vapor de agua del soporte tratado (Barreda 2012). Por estos motivos, la tendencia actual es reducir su empleo en beneficio de materiales de base mineral como los consolidantes organosilíceos cuya acción viene dada por la precipitación de sílice amorfa que reticula con los minerales conglomerando el material rocoso. Muy utilizados desde el siglo XIX (Osca 2005) pueden producir cambios ópticos sobre la superficie (Gioia 2002) y, además, se pueden agrietar provocando micro fisuras superficiales (Brus y Kotlik 1996; Weiss *et al.* 2000; Wheeler 2005; Mosquera *et al.* 2008; Dohene y Price 2010; Briffa *et al.* 2012; Mosquera 2013; Naidu *et al.* 2015; Zalbidea y Gasque 2020). Aunque investigaciones recientes han determinado que la adición de *n-octilamina* evita este agrietamiento (Facio *et al.* 2018; Remzova *et al.* 2019). Por último, los consolidantes inorgánicos han sido utilizados mucho antes que los organosilíceos, y actualmente han sido perfeccionados gracias al creciente desarrollo de la ciencia, que ha extendido el uso de la nanotecnología proporcionando el uso de nanomateriales que mejoran las propiedades y la acción consolidativa debido a la reducción del tamaño de las partículas (Gómez *et al.* 2010).

Con todo, la ausencia de una experimentación de estos productos de consolidación en las areniscas de Albarracín, enfatiza la necesidad de una investigación sobre materiales compatibles con el soporte de las pinturas del *Navazo* y su seguimiento para observar su evolución a lo largo del tiempo. Para ello se confeccionaron muestras sobre las cuales se procedió a analizar la eficacia de los tratamientos

consolidantes y comparar la acción de los diferentes productos disponibles empleando distintos métodos de aplicación.

Materiales y métodos

Las muestras utilizadas en esta investigación proceden de material pétreo desprendido de los aledaños del abrigo del *Navazo*. A partir de los fragmentos recogidos se elaboraron probetas cúbicas (3 x 3 x 3 cm y 1 x 1 x 1 cm^[3]). Se realizaron 36 probetas de las que se emplearon 2 muestras para cada producto consolidante seleccionado y otras 2 quedaron sin tratar con la finalidad de obtener valores medios y comparar los resultados obtenidos.

La roca utilizada procede de la "arenisca del Rodeno", un material arenoso que se originó tras la erosión del macizo paleozoico ibérico (Peña 2010). A nivel petrográfico, la arenisca objeto de estudio se compone de granos de cuarzo conglomerados por cemento silíceo. Además, cuenta con otros compuestos como hematites, caolinita o illita (Benito *et al.* 1991-92). La presencia casi en su totalidad de cuarzo determina la naturaleza silícea del soporte de las pinturas por lo que se estableció que los consolidantes debían tener la misma composición.

Se escogieron cuatro consolidantes [tabla 1]: *Wacker*[®]-OH100 (Productos de conservación), *Tecnadis*[®]-*Solidus* (*Tecnan*), *Nano-Estel*[®] y *Nanorestore*[®] (ambos de C.T.S.). Los tres primeros fueron seleccionados por la excelente compatibilidad química con el soporte de las pinturas. En cambio, *Nanorestore*[®] tiene composición calcárea, pero fue seleccionado debido al porcentaje de carbonato cálcico detectado en las areniscas de Albarracín por Zalbidea y Gasque (2018). *Wacker*[®]-OH100 y *Tecnadis*[®]-*Solidus* están compuestos de TEOS (tetraetilortosilicato) diluidos en alcohol isopropílico generan la acción consolidante cuando el producto entra en contacto con la humedad de los poros y cristaliza en su interior (Mol *et al.* 2017). *Nano-Estel*[®] es una dispersión acuosa de nanopartículas de sílice en la que al menos una de sus dimensiones es nanométrica. *Nanorestore*[®] es una dispersión a base de hidróxido de calcio nanofásico en alcohol isopropílico que reacciona con el CO₂ ambiental y se transforma en carbonato cálcico.

Los consolidantes seleccionados se aplicaron con brocha a la concentración que la casa comercial recomienda (100%), salvo *Nano-Estel*[®] (25%). La concentración más baja de *Nano-Estel*[®] es debida a una experimentación previa del producto que denotó elevadas modificaciones superficiales a concentraciones más altas (Zalbidea y Gasque 2020; Serrano 2021). Los productos fueron aplicados con el método de aplicación *wet on wet*, ya que fueron sometidos a una experimentación previa (Serrano *et al.* 2021). Este método consiste en aplicar una capa previa del diluyente de los productos para humectar el sustrato y después se administra el consolidante (Gherardi *et al.* 2018). Se aplicaron 3 capas por una de las caras de las muestras

Producto	Wacker®OH100	Tecnadis®-Solidus	Nanoestel®	Nanorestore®
Casa comercial	Productos de conservación	Tecnan S.L.	C.T.S.	C.T.S.
Composición	Éster etílico de ácido silícico	Éster etílico de ácido silícico	Nanopartículas de dióxido de silicio	Nanopartículas de hidróxido de calcio
Concentración principio activo	75%	70%	30%	0,5%
Tamaño de partícula	-	-	<20 nm	1-100 nm
Diluyente	Alcohol isopropílico	Alcohol isopropílico	Agua desmineralizada	Alcohol isopropílico
Concentración a aplicar	100%	100%	25%	100%
Número de capas	3	3	3	3
Método de aplicación	Impregnación con pincel	Impregnación con pincel	Impregnación con pincel	Impregnación con pincel
Modo de trabajo	Wet on wet	Wet on wet	Wet on wet	Wet on wet

Tabla 1.- Consolidantes seleccionados y metodología de trabajo en arenisca (rodeno).

siguiendo este método. Las condiciones de aplicación fueron en condiciones de laboratorio (21°C, 55% HR).

Las muestras pétreas fueron observadas previamente al tratamiento y posteriormente a la aplicación del tratamiento con mediante *Leica®* MZ APO para clasificar las características minerales del soporte. Asimismo, se utilizó microscopía óptica digital con el equipo *Reflecta® DigiMicroscope USB 200* para evaluar la morfología superficial antes y después del tratamiento.

Los ensayos colorimétricos se realizaron con el dispositivo *X-Rite® Eye One Defined* y el software *i1Profiler®*. Se realizaron tres medidas en un mismo punto en cada una de las probetas antes y después del tratamiento para valorar la diferencia cromática. Se utilizaron las coordenadas cromáticas CIE L*a*b*, con el iluminante D65 y 10° de ángulo de observación. La diferencia de color total (ΔE^*) fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

Las muestras fueron observadas y analizadas en microscopía electrónica de barrido con detector de rayos X (SEM-EDX) con el equipo *Hitachi® S-4800* y la adquisición de espectro con el software *Quantax 400 de Bruker®*. Las condiciones de trabajo fueron bajo vacío a 1.0 kV. Para obtener resultados y valorar la eficacia de los tratamientos, la observación y el análisis tuvo lugar antes, después de la aplicación y tras ciclos de envejecimiento.

Se estudió el comportamiento hídrico mediante el ensayo de absorción de agua por capilaridad según la norma UNE-EN 15801: 2010. Así se determinó la cantidad de agua absorbida por cada probeta tratada y se calculó el coeficiente de absorción (AC) mediante la siguiente fórmula:

$$AC = kg/m^2 \cdot s^{1/2}$$

Las muestras tratadas se sometieron a ciclos de deterioro acelerado siguiendo la norma ASTM D1183-03 en la cámara

climática KMF240 de *Binder®* y se evaluaron los cambios en la morfología superficial en SEM y las variaciones colorimétricas antes y después de este ensayo.

Resultados y discusión

La observación del trabajo empírico y de las muestras tratadas [Figura 3] proporcionó información muy interesante: la aplicación de los productos constató la rápida evaporación de *Nanorestore®*, con una escasa difusión del material. A causa de esa rápida evaporación el consolidante quedó retenido en la superficie y generó un halo blanquecino desigual. En las imágenes de microscopía digital se observó como este producto quedó acumulado en las zonas cóncavas [Figura 3]. Por el contrario, *Nano-Estel®* presentó una evaporación más lenta y una retención en superficie del producto que se vio incrementada tras la aplicación de las sucesivas capas. Después de la evaporación del disolvente se observó un lustre vítreo homogéneo. Respecto a los consolidantes con TEOS presentaron una mayor propagación del producto, especialmente acusada en *Wacker®-OH100*, puesto que la evaporación del disolvente es más lenta. El consolidante quedó retenido en superficie por más tiempo, sobretodo tras la aplicación de la tercera capa. De manera similar se comporta *Tecnadis®-Solidus*, aunque su difusión es menor y la evaporación del disolvente más rápida. En este producto, en microscopía digital se observa la aparición líneas brillantes tras los ciclos de envejecimiento [Figura 4], pero que no son perceptibles en microscopía electrónica [Figura 5].

En las imágenes de microscopía electrónica de barrido se constataron las modificaciones superficiales generadas por los productos que se observaban ya con la microscopía óptica digital. Se evidenció la distribución irregular de *Nanorestore®* [Figura 5]. De igual modo, se aprecia que *Nano-Estel®* había generado una película densa y muy agrietada [Figura 5]. En cambio, las muestras tratadas con los productos con TEOS no experimentaron cambios superficiales destacables.

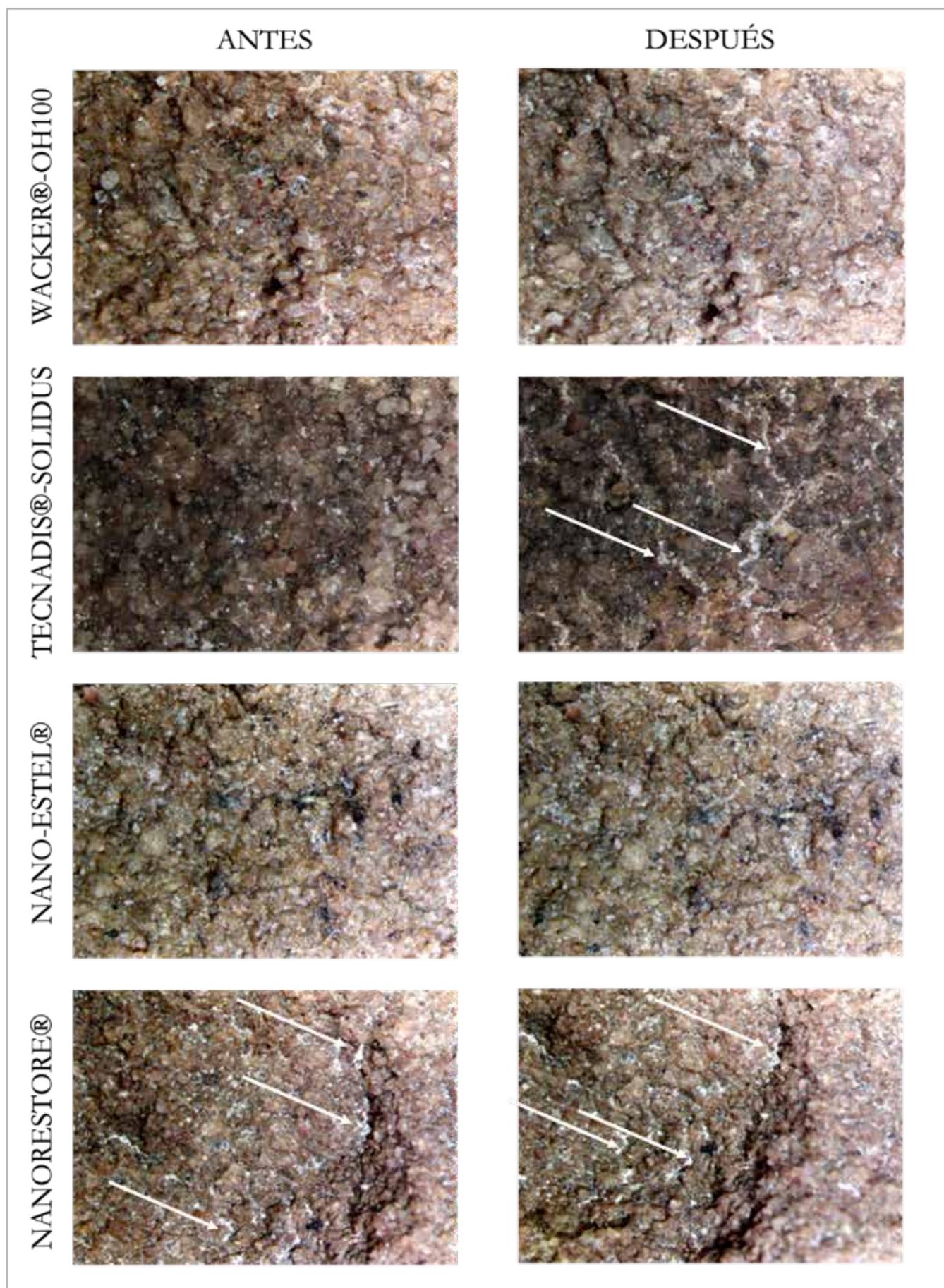


Figura 4.- Morfología superficial del soporte tras la aplicación de los consolidantes (ANTES) y tras los ciclos de deterioro acelerado (DESPUÉS). Microscopía óptica digital (57x).

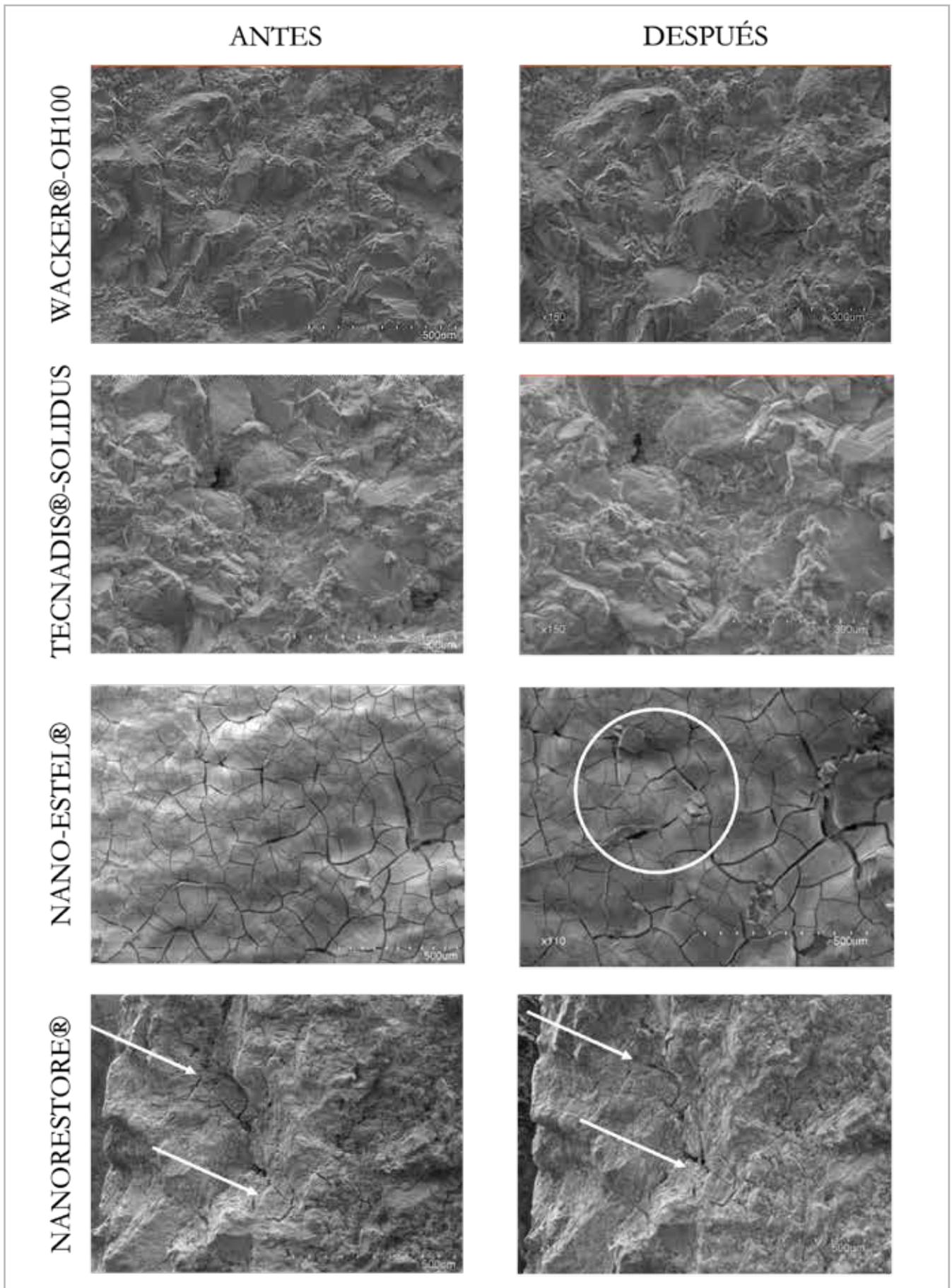


Figura 5.- Morfología superficial del soporte tras la aplicación de los consolidantes (ANTES) y tras los ciclos de deterioro acelerado (DESPUÉS). Microscopía electrónica de barrido.

Los cambios cromáticos experimentados en las muestras después de la aplicación de los productos fueron evaluados mediante la diferencia de color total (ΔE^*) [Tabla 2]. Como puede apreciarse en la diferencia de color total cada producto ha producido un efecto cromático distinto pese a haber sido aplicado en las mismas condiciones. Los valores de luminancia han descendido en los consolidantes TEOS, lo que significa que el material pétreo ha oscurecido, observándose en *Tecnadis®-Solidus-2* el mayor descenso ($\Delta L^* -8,98$) y en *Wacker®-OH100-2* el menor ($\Delta L^* -2,46$). En cambio, la variación cromática producida en la piedra tratada con nanopartículas es diferente, se ha incrementado la luminosidad, especialmente en *Nanorestore®-2* ($\Delta L^* 4,69$); efecto debido a la precipitación del producto en superficie. Respecto a los valores de a^* , existe, de nuevo, una diferencia entre los productos TEOS y los inorgánicos nanoparticulados. Los consolidantes TEOS tienen una ligera intensificación hacia el rojo, especialmente en *Wacker®-OH100-2* ($\Delta a^* 1,32$). Pese a ello *Tecnadis®-Solidus-1* su valor Δa^* es negativo ($\Delta a^* -0,47$), se mantiene en el rango de los rojos. En cuanto Δb^* , todos los consolidantes se han enfriado, es decir, existe una tendencia ascendente hacia el espacio cromático azul, salvo en *Wacker®-OH100-2* ($\Delta b^* 0,78$). No obstante, el consolidante que registró el valor negativo más alto es *Nano-Estel®-1* ($\Delta b^* -3,34$).

Con todo, las probetas *Wacker®-OH100* y *Nano-Estel®* ($\Delta E^* 3,22$; $3,30$; respectivamente), apenas han experimentado una variación de color perceptible, ya que se sitúan en los valores próximos a $\Delta E^* 2,5$ a partir del cual el cambio cromático es perceptible por el ojo humano (Melgosa *et al.* 2001). Mientras que *Nanorestore®* y *Tecnadis®-Solidus* experimentaron una diferencia de color más elevada ($\Delta E^* 4,05$; $6,44$; respectivamente), oscureciendo considerablemente el soporte. Esta diferencia de color podría implicar que ambos productos no serían adecuados para su uso y aplicación.

Se puede apreciar que existe una diferencia en el comportamiento hídrico entre las muestras tratadas y sin tratar [Tabla 3] [Gráfico 1]. En las muestras tratadas se observó

un descenso del coeficiente de absorción (AC), especialmente acusado en *Tecnadis®-Solidus* ($AC=0,0041 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$), ya que el producto colmó los poros de la roca. Similar a éste, se comportó *Wacker®-OH100* ($AC= 0,0053 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$). Tal y como reflejan las curvas de ambos productos, la capacidad de absorción de ambos es moderada y queda muy alejada de la curva de la muestra sin tratar. Sin embargo, los productos con nanopartículas presentaron el coeficiente de absorción más bajo (*Nano-Estel®*: $AC= 0,0059$ y *Nanorestore®*: $AC= 0,0060 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$) respecto al material sin tratar ($AC=0,0063 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$). El hecho de que *Nanorestore®* presente un coeficiente de absorción hídrica próximo a la roca sin tratar es predecible puesto que se observaba una acumulación irregular y poco homogénea del producto sobre la superficie. En cambio, conviene destacar el comportamiento hídrico que ha experimentado *Nano-Estel®*, en las imágenes obtenidas en SEM se observaba una película quebradiza y densa que cubría toda la extensión de la superficie. Por el contrario, se percibe un coeficiente de absorción similar a la roca sin tratar, y, por tanto, se produjo un flujo hídrico similar al material no tratado. Para explicar este escenario se pueden plantear dos hipótesis distintas. Por un lado, se presume que el film de *Nano-Estel®* presenta una estructura micro porosa no perceptible en las magnitudes en las que se trabajaron en SEM o, por otra parte, podría ser probable que el caudal hídrico penetre al interior de la roca por la cantidad de grietas del *film* generado por el consolidante. No obstante, *Wacker®-OH100* se sitúa en posición intermedia ($AC= 0,0053 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$).

MUESTRAS	AC $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s}^{1/2})$
<i>Sin tratar</i>	0,0063
<i>Wacker®-OH100</i>	0,0053
<i>Tecnadis®-Solidus</i>	0,0041
<i>Nano-Estel®</i>	0,0059
<i>Nanorestore®</i>	0,0060

Tabla 3.- Coeficiente de absorción (AC) de muestras sin tratar y tratadas.

	ANTES DE APLICACIÓN			DESPUÉS DE APLICACIÓN			DIFERENCIA DE COLOR				
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	ΔE^* Media
Wacker-OH100-1	47,51	14,88	17,54	45,05	15,71	16,66	-2,46	0,82	-0,88	2,74	3,22
Wacker-OH100-2	45,28	17,13	15,94	41,89	18,45	16,71	-3,38	1,32	0,78	3,71	
Tecnadis-Solidus-1	43,64	18,27	16,45	39,98	17,81	16,03	-3,66	-0,47	-0,42	3,71	6,44
Tecnadis-Solidus-2	46,03	9,31	15,93	37,05	9,37	14,04	-8,98	0,05	-1,88	9,18	
Nano-Estel-1	40,64	9,67	15,69	43,90	7,57	12,35	3,26	-2,10	-3,34	5,12	3,30
Nano-Estel-2	40,91	9,09	14,68	41,40	8,68	13,34	0,49	-0,41	-1,33	1,48	
Nanorestore-1	51,49	16,73	17,51	53,34	15,74	16,03	1,85	-0,99	-1,48	2,57	4,05
Nanorestore-2	42,11	11,26	14,34	46,80	9,40	12,05	4,69	-1,86	-2,28	5,54	

Tabla 2.- Datos medios del estudio colorimétrico en sistema CIEL*a*b* de las probetas antes y después del tratamiento.

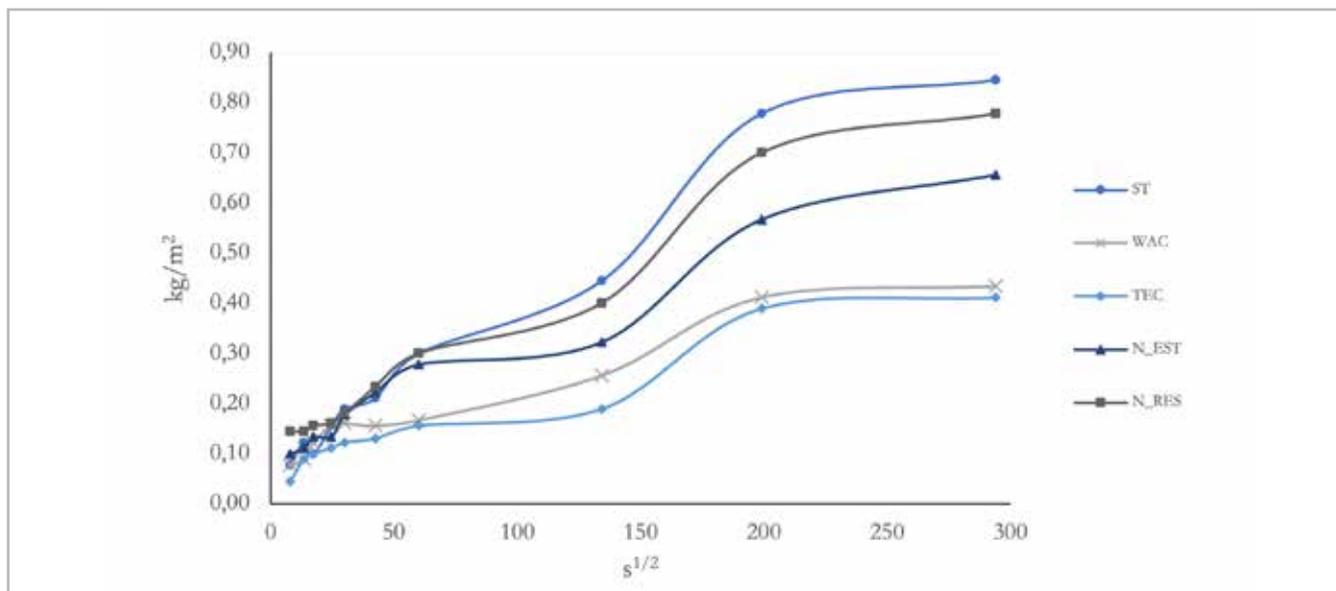


Gráfico 1.- Curva de absorción capilar de muestras sin tratar y tratadas. (ST: Sin tratar; WAC: Wacker®-OH100; TEC: Tecnadis®-Solidus; N_EST: Nano-Estel®; N_Res: Nanorestore®).

Los ciclos de deterioro acelerado han evidenciado un efecto sobre la morfología superficial de los consolidantes aplicados. Fundamentalmente este cambio es producido en los materiales nanoparticulados y se reflejó mediante la manifestación de grietas y levantamientos, especialmente acusado en *Nano-Estel*® [Figura 4]. Estas áreas agrietadas implican fragilidad para la superficie tratada: por un lado, la zona tratada requería de un tratamiento que devolviera su cohesión perdida, pero si este tratamiento es alterado, el riesgo de una futura descohesión para la obra se ve incrementado; y, por otra parte, las zonas agrietadas o con levantamientos implican un comportamiento diferencial entre las zonas tratadas, es decir, entre la zona estable y la zona inestable. Esta diferencia de comportamiento entre las diferentes zonas puede debilitar la estabilidad del soporte. Además, estas áreas inestables favorecen la percolación

de agentes de degradación, como el agua. En cambio, los TEOS no generan modificaciones visuales durante la experimentación. No obstante, no sólo es importante tener en cuenta el cambio morfológico generado por los consolidantes en forma de films, sino el cambio colorimétrico que han experimentado las superficies tratadas tras los ciclos de deterioro [Tabla 4]. Se observa que algunas muestras tratadas han perdido luminosidad (*Wacker*®-OH100, *Nano-Estel*®, *Nanorestore*®). Al contrario, *Tecnadis*®-Solidus la ha incrementado. En cuanto a los valores de a*, *Wacker*®-OH100 ha experimentado una disminución de ese parámetro ($\Delta a^* -0,46$; $-0,76$), aunque se mantiene en la tonalidad rojiza. En cambio, *Tecnadis*®-Solidus ha aumentado ligeramente la tonalidad rojiza ($\Delta a^* 0,36$; $0,18$), saturándose el color. Las probetas con *Nano-Estel*® y *Nanorestore*® han actuado de manera

	DESPUÉS APLICACIÓN			CÁMARA ENVEJECIMIENTO			DIFERENCIA DE COLOR				
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	ΔE^* Media
<i>Wacker OH100-1</i>	45,05	15,71	16,66	44,01	15,25	16,76	-1,04	-0,46	0,10	1,14	1,20
<i>Wacker OH100-2</i>	41,89	18,45	16,71	42,27	17,67	15,80	0,38	-0,78	-0,91	1,26	
<i>Tecnadis Solidus-1</i>	39,98	17,81	16,03	41,29	18,16	16,58	1,31	0,36	0,54	1,46	1,53
<i>Tecnadis Solidus-2</i>	37,05	9,37	14,04	38,31	9,55	13,06	1,26	0,18	-0,98	1,61	
<i>Nano Estel-1</i>	43,90	7,57	12,35	44,21	8,21	12,91	0,31	0,64	0,56	0,90	3,38
<i>Nano Estel-2</i>	41,40	8,68	13,34	36,42	8,45	10,25	-4,98	-0,23	-3,09	5,86	
<i>Nanorestore-1</i>	53,34	15,74	16,03	51,92	16,02	15,99	-1,42	0,28	-0,05	1,45	1,55
<i>Nanorestore-2</i>	46,80	9,40	12,05	45,45	8,73	12,73	-1,35	-0,67	0,67	1,65	

Tabla 4.- Datos medios del estudio colorimétrico en sistema CIEL*a*b* de las probetas después del tratamiento y tras un ciclo en cámara de envejecimiento.

distinta, aun siendo el mismo producto, *Nano-Estel*[®]-1 y *Nanorestore*[®]-1 han incrementado los valores de a^* , pero los otros han disminuido. De un modo similar sucede con el parámetro b^* , todas las muestras, independientemente del producto empleado, han disminuido o incrementado su valor. Especialmente, *Nano-Estel*[®]-2 ha descendido (-3,09) tendiendo a enfriarse cromáticamente la superficie. Por otra parte, *Nanorestore*[®]-2 es el producto que más ha incrementado su valor ($\Delta b^*0,67$). Diferencia de color ya anotada tras la aplicación de los consolidantes esta diferencia aumenta.

Conclusiones

Del estudio documental realizado, se detecta que los tratamientos de conservación y restauración, y en especial las intervenciones de consolidación llevadas a cabo en arte Levantino, adolecen de un seguimiento técnico, se encuentra escasa documentación con pocas georreferencias a las zonas tratadas y grandes carencias de aclaraciones y detalles técnicos. El uso de determinados materiales como los polímeros orgánicos sintéticos son poco adecuados, siendo evidenciadas sus contraindicaciones (por autores de prestigio). Aun así, en diferentes abrigos con arte Levantino el Paraloid-B72[®] ha sido utilizado de un modo ordinario. Este hecho junto a la documentación poco accesible, insuficiente y poco exacta sobre los tratamientos realizados genera la necesidad de proponer estudios sobre tratamientos de consolidación específicos, compatibles y que además sean contrastados tanto científica como empíricamente para poder generar datos e información tangible para determinar los productos y tratamientos más adecuados para las acciones consolidativas. De este modo se podrán acometer intervenciones respetuosas y rigurosas no sólo en el abrigo de Los Toros del Prado del Navazo, sino extender estas prácticas a otros abrigos de Albarracín, de naturaleza silíceas con similares alteraciones y necesidades. Y, es que, los resultados obtenidos han descartado productos a utilizar en este material, como *Nanorestore*[®] y *Nano-Estel*[®], siendo el que mejor se ha comportado *Wacker*[®]-OH100.

Los resultados obtenidos demuestran una distribución heterogénea de los productos en superficie, como puede observarse en las diferentes muestras analizadas al SEM. Esta distribución poco uniforme puede provocar comportamientos muy distintos entre el soporte natural y el producto aplicado. En cambio, en *Nano-Estel*[®] observábamos una distribución más regular, pero ha generado un film superficial muy quebradizo. Sin embargo, esta distribución uniforme del producto ha generado un incremento acusado de diferencia de color total después de la aplicación del producto. Además, este producto ha generado una diferencia cromática tras los ciclos de envejecimiento y su *film* ha continuado fracturándose, circunstancia que puede provocar comportamientos diferenciales. Como se señalaba, a priori, este era el material conveniente para consolidar este tipo de soporte

por su composición química y propiedades, en cambio, es el consolidante que peor resultado ha proporcionado. De un modo diferente actuó *Nanorestore*[®], ya que generó concentraciones irregulares de carbonato cálcico en la superficie. Este hecho ha facilitado la acumulación de producto en las zonas más recónditas y ha actuado rellenando los intersticios a consolidar. Ahora bien, la rápida evaporación del disolvente evita una penetración profunda del producto, cuestión que resultaría contra indicativa. No obstante, este producto quedaría descartado por la escasa compatibilidad química con el soporte y por el impacto cromático que provoca en la superficie tratada.

Al contrario que los anteriores, los productos organosilíceos, no han generado *films* continuos, posiblemente por la evaporación más dilatada del disolvente. De esta manera la sílice precipitada respeta el sistema poroso del soporte y, a su vez, refuerza las partículas minerales conglomerando de un modo natural al soporte, especialmente *Wacker*[®]-OH100.

Respecto a las variaciones de color en la mayoría de los casos son perceptibles por el ojo humano, ya que superan el valor 2,5. Las diferencias de color total tras el ensayo de deterioro acelerado sufrieron un incremento de la diferencia de color en las 36 muestras tratadas. Esta diferencia unida al aumento de color producido tras la aplicación de los productos supondría un cambio cromático todavía mayor. No obstante, los consolidantes que mejor amortiguaron este cambio de color fueron *Wacker*[®]-OH100 (100%) y *Nano-Estel*[®] (25%).

El comportamiento hídrico revela, especialmente en los consolidantes nanoparticulados, que el coeficiente de absorción es similar a la de la roca del abrigo, aunque *Wacker*[®]-OH-100, pese a ser TEOS, también mantiene unos valores muy próximos al material original. Este hecho implica que respeta, en gran medida, la porosidad del soporte, por tanto, se prevé que no se produzcan comportamientos diferenciales acusados.

Por tanto, pese al creciente desarrollo de la nanotecnología en el ámbito del patrimonio cultural y las buenas propiedades y cualidades que ofrece, los dos materiales testados en esta investigación no han facilitado los resultados esperados. En cambio, el uso de TEOS ha ofrecido una mayor eficacia, en concreto *Wacker*[®]-OH100 ha presentado ventajas respecto al resto de materiales estudiados. Se ha comprobado que es el producto que menos modifica la apariencia de la roca original, tanto al aplicar el tratamiento como a medio-largo plazo, comprobado tras los ciclos de envejecimiento. De igual modo, el comportamiento hídrico del material es adecuado, pues el cambio de las propiedades hídricas del material es mínimo y garantiza la porosidad de la roca.

Con todo, es importante señalar, que se está continuando con el estudio en profundidad de distintos consolidantes en el Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), mientras que

se están llevando a cabo ensayos y estudios *in situ*, ya que es fundamental realizar un estudio, donde valorar la idoneidad del tratamiento y poder correlacionar estos resultados obtenidos.

Se considera sustancial desarrollar como futura línea de investigación un trabajo que contemple un estudio y valoración de una intervención completa de diversos tratamientos conservación-restauración: limpieza, desalación, consolidación estructural, así como, labores de conservación preventiva.

Notas

[1] Se requiere un estudio exclusivo del tratamiento de consolidación ya que, en el análisis del estudio documental de los tratamientos llevados a cabo en el arte Levantino, la consolidación ha sido el tratamiento que requiere un análisis en profundidad por los procesos, productos e información poco precisa que ofrece la información disponible de dicho tipo de intervención.

[2] Intervenciones con *Paraloid® B-72* en la *Cueva de la Serreta* (Cieza, Murcia), la *Cova dels Caballs* (Tirig, Castellón), la *Cueva de Ambrosio* (Vélez Blanco, Almería) (Ballester 2003). Domingo *et al.* (2012: 147) señalan el uso de una resina acrílica para la consolidación del abrigo de Tortosillas, posiblemente los autores utilizaron el nombre genérico y puede corresponder con *Paraloid® B-72*.

[3] Las probetas de 1 x 1 x 1 cm se utilizaron exclusivamente para ser observadas y analizadas por microscopía electrónica de barrido.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universitat Politècnica de València el uso del colorímetro y de la cámara climática para la realización de este trabajo. A las técnicas del Servicio Central de Soporte a la Investigación Experimental (SCSIE) de la Universitat de València su ayuda en el empleo de SEM-EDX. Al agente de Protección de Patrimonio Cultural, Hilario Dalda Abril, por su ayuda y tiempo en el trabajo de campo. A José Ignacio Royo Guillén y Blanca Latorre Villa, técnicos de la Dirección General de Cultura y Patrimonio del Gobierno de Aragón. A la Comisión Provincial del Patrimonio Cultural de Teruel por la aceptación de los permisos pertinentes. A los investigadores Dr Rafael Fort González y Dra Luz Stella Villalba Gómez por permitir avanzar en el estudio de la propiedades petrofísicas la investigación iniciada.

Los resultados obtenidos en este estudio se revisan, examinan y actualizan en el contexto de los proyectos PID2020-116598GB-100: *Gaps and dates*: dinámicas culturales en la Prehistoria de la Cuenca del Ebro (UNIZAR:

2021-2024) y PID2020-117713RB-100: WIMOSA: *Sistema Wireless* de monitorización continua para la salvaguarda del patrimonio (UPV: 2021-2024).

Bibliografía

AMOROSO, G. (2002). *Trattato di scienza della conservazione dei monumento. Etica della conservazione, degrado dei monumenti, interventi conservativi, consolidanti e protettivi*. Florencia: Alinea editrice.

BALLESTER, L. (2003). *Conservación de las pinturas rupestres del Levante español*. Tesis doctoral [inédita]. Universitat Politècnica de València.

BARREDA, G. (2016). *Consolidantes para soportes pétreos con manifestaciones de Arte Rupestre en la Comunidad Valenciana. Análisis práctico en Cova Remigia (Barranc de Gasulla-Ares del Maestre)*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/63280>

BARREDA, G. y ZALBIDEA, M. A. (2017). "Investigación de tratamientos de consolidación del soporte rocoso en el Abric de Pinos (Benissa-Alicante)". En *III Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales (ANIAV 2017, GLOCAL)*. Valencia: Universitat Politècnica de València. Disponible en: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/ANIAV/ANIAV2017/paper/viewFile/5861/2812>

BARREDA, G., ZALBIDEA, M. A., OSCA, J. (2017). "Comparativa entre distintos consolidantes inorgánicos nanoparticulados a base de hidróxido cálcico". En *III Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales (ANIAV 2017, GLOCAL)*. Valencia: Universitat Politècnica de València. Disponible en: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/ANIAV/ANIAV2017/paper/viewFile/5702/2777>

BEA, M. (2017). "El abrigo de Hoya de Navarejos III (Tormón, Teruel). Nuevas perspectivas para el análisis del arte levantino interior", *Complutum*, 28 (1): 37-50. <https://doi.org/10.5209/CMPL.58417>

BELTRÁN, A. (1968). *Arte rupestre levantino*. Zaragoza: Monografías arqueológicas, IV. Facultad de Filosofía y Letras, Seminario de Prehistoria y Protohistoria.

BELTRÁN, A. (1993). *Arte prehistórico en Aragón*. Zaragoza: Ibercaja.

BENITO, G., MACHADO, M.J. Y SANCHO, C. (1991-92). "Alteración de las areniscas del Parque Cultural de Albaracín (Teruel) y su influencia en la conservación de las pinturas rupestres". En *Kalathos*, 11-12, 7-24.

BENSI, P. (2006). "Le resine acriliche sulle pitture murali". En *Seminario Esperienze e Materiali di Restauro. Le Resine Acriliche Sulle Pitture Murali: Thiene* (VI) Padua: Il Prato, 81-84.

BORGIOLO, L. (2002). *Polimeri di sintesi per la conservazione della pietra*. Padua: Il Prato.

- BORGIOLO, L. y CREMONESI, P. (2005). *Le resine sintetiche usate nel trattamento di opere policrome*. Padua: Il Prato.
- BRIFFA, S., SINAGRA, E. y VELLA, D. (2012). "Teos based consolidants for maltese globigerina limestone: effect of hydroxyl conversion treatment". En *12th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. Nueva York: The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 1-11. Disponible en: <https://www.um.edu.mt/library/oar//handle/123456789/18235>
- BRUS, J. y KOTLIK, P. (1996). "El agrietamiento de los geles organosilíceos utilizados en consolidantes para piedra", *Cuadernos de conservación*, 41, 28-31.
- DOHENE, E., y PRICE, C. (2010). *Stone Conservation. An Overview of Current Research*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute. Disponible en: <https://www.getty.edu/publications/virtuallibrary/9781606060469.htm>
- DOMINGO, I., RUBIO, R. y RIVES, B. (2012). *Abrigo de Tortosillas, 100 años de su descubrimiento*. Valencia: Diputación de Valencia y Ayuntamiento de Ayora.
- FACIO, D. S., ORDÓÑEZ, J. A., ALMORAIMA, M. L., et al. (2018). "New consolidant-Hydrophobic Treatment by Combining SiO₂ Composite and Fluorinated Alkoxysilane: Application on Decayed Biocalcareus Stone from an 18th Century Cathedral", *Coatings*, 8 (5), 170: 1-14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/coatings8050170>
- GARCÍA ARRANZ, J.J.; COLLADO, H. y NASH, G. (eds.) (2012). *The question Levantine: new directions in understanding the Spanish Levantine Rock Art*. Cáceres-Budapest: Archaeolingua Alapítvány, Universidad de Extremadura, Servicio de publicaciones.
- GASQUE, R. (2017). *Mecanismos preventivos en la conservación y restauración de arte rupestre al aire libre. El caso del abrigo de los Toros del Barranco de las Olivanas, Albarracín (Teruel)*. Trabajo Final de Grado. Universitat Politècnica de València. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/98326>
- GASQUE, R., ZALBIDEA, M. A., ROYO, J. I. et al. (2018). "Mecanismos preventivos en la conservación y restauración de pintura rupestre al aire libre. El caso del abrigo de Los Toros del Barranco de las Olivanas (Albarracín, Teruel)". En *II Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés*. Zaragoza: Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón, 91-101.
- GHERARDI, F., NGOIDANICH, S., DAL SANTO, V. y TONIOLO, L. (2018). "Layered Nano-TiO₂ based treatments for the maintenance of natural stones in Historical Architecture", *Angewandte Chemie*, 130, 7482-7485. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ange.201712752>
- GIOIA, G. (2002). Uso dei silicati nelle facciate dipinte Palazzo Pallavicino a Genova. En *I Silicati nella Conservazione, ingagini, esperienze e valutazioni per il consolidamento deo manufatti storici*. Padua: Il Prato.
- GIRGINOVA, P. I., GALACHO, C., VEIGA, R. et al. (2018). "Inorganic nanomaterials for restoration of cultural heritage: Synthesis approaches towards nanoconsolidants for Stone and wall paintings", *ChemSusChem*, 11, 4168-4182. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/cssc.201801982>
- GÓMEZ-VILLALBA, L. S., LÓPEZ-ARCE, P., FORT, R. et al. (2010). "La aportación de la nanociencia a la conservación de bienes del patrimonio cultural". En *Patrimonio Cultural de España*, 4, 43-56.
- IOELE, M., SANTAMARÍA, U. y TIANO, P. (2002). Studio comparativo di silicati di etile commerciali e sperimentali a confortro con microemulsioni acriliche per il consolidamento di matrici carbonatiche fortemente decoese. *I Silicati nella Conservazione, ingagini, esperienze e valutazioni per il consolidamento deo manufatti storici*. Padua: Il Prato.
- MARCONELL, E. (1892a). "Los toros de la Losilla". En *Miscelánea Turolense*, 9. Año II: 160. [Edición facsímil] 1891-1901. Madrid.
- MARCONELL, E. (1892b). "Los toros de la Losilla". En *Miscelánea Turolense*, 10. Año II: 180. [Edición facsímil] 1891-1901. Madrid.
- MARTÍNEZ-BEA, M. (2005). *Variabilidad estilística y distribución territorial del arte rupestre levantino en Aragón: El ejemplo de La Vacada (Castellote, Teruel)*. Tesis doctoral [inédita]. Universidad de Zaragoza.
- MARTÍNEZ-BEA, M. (2008). "Arte rupestre de Albarracín: la excepcionalidad de un conjunto interior". En *IV Congreso de Neolítico Peninsular*. Alicante: Museo Arqueológico Provincial de Alicante (MARQ), 141-148.
- MELGOSA, M.; GÓMEZ, M. D. M. P.; YEBRA, A. et al. (2001). "Algunas reflexiones y recientes recomendaciones internacionales sobre evaluación de diferencias de color", *Óptica pura y aplicada*, 34 (1), 1-10.
- MOL, L., GÓMEZ-HERAS, M., BRASSEY, C. et al. (2017). "The Benefit of a tough skin: bullet holes, weathering and the preservation of heritage", *The Royal Society open sci*, 4, 160335. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rsos.160335>
- MOSQUERA, M. J., DE LOS SANTOS, D. M., MONTES, A. et al. (2008). "New nanomaterials for consolidating Stone", *Langmuir*, 24, 2772-2778. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/la703652y>
- MOSQUERA, M. J. (2013). "Nuevos productos para restauración y conservación del Patrimonio Cultural RIIPAC". En *Revista sobre Patrimonio Cultural: Regulación, Propiedad Intelectual e Industrial*, 2, 153-172. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/riipac/03/index.htm>
- NAIDU, S., LIU, C. y SCHERER, G. W. (2015). "Hidroxyapatite-based consolidant and the acceleration of hydrolysis of silicate-based consolidants", *Journal of Cultural Heritage*, 16, 94-101. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rsos.160335>
- OSCA, J. (2005). "El empleo de consolidantes inorgánicos y organosilíceos como alternativa a los consolidantes orgánicos".

En *Seminario sobre restauración de pinturas murales. Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales*. Aguilar de Campoo: Fundación Santa María la Real- C.E.R.

PEÑA, J. L., SÁNCHEZ, M. y LOZANO M. V. (2010). "Aspectos generales de la geomorfología de la Sierra de Albarracín". En *Las formas de relieve de la Sierra de Albarracín*. Teruel: Centro de Estudios de la Comunidad de Albarracín, 39-60.

PIÑÓN, F. (1982). *Las pinturas rupestres de Albarracín (Teruel)*. Santander: Monografías del Centro de Investigación y Museo de Altamira, Disponible en: <http://www.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:46caa643-0a52-4138-9f22-ca2fb3adf497/pdf06-pinon-1982-pinturas-rupestres-albarracin.pdf>

REMZOVA, M., CARRASCOSA, L. A. M., MOSQUERA, M. J. et al. (2019). "Modified Ethisilicates as Efficient Innovative Consolidants for Sedimentary Rock", *Coatings*, 9 (6), 1-14. <http://dx.doi.org/10.3390/coatings9010006>

SAMANIEGO, I. y ZORNOZA-INDART, A. (2020). "Influencia del método de aplicación en la consolidación con nanopartículas de sílice (SiO₂): arenisca del claustro de la Catedral de Pamplona", *Ge-conservación*, 17, 100-113. Disponible en: <https://doi.org/10.37558/gec.v17i1.698>

SERRANO, C., ZALBIDEA, M. A. y BEA, M. (2021). "Propuesta de protocolo de consolidación para el arte rupestre levantino. El caso práctico del abrigo de los Toros del Prado del Navazo (Albarracín)". En *I Simposio Anual de Patrimonio Natural y Cultural*. Valencia: Editorial UPV, 197-204. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/icomos2019.2020.11715>

SERRANO, C. (2021). *Propuesta de protocolo de consolidación para arte rupestre Levantino. El abrigo de Los Toros del Prado del Navazo, Albarracín (Teruel)*. Trabajo Final de Máster. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/158883>

SIERRA-FERNANDEZ, A., GÓMEZ-VILLALBA, L., RABANAL, M. et al. (2017). "Revisión de los nuevos nanomateriales para la conservación y restauración del material pétreo", *Materiales de Construcción*, 67 (325), e107. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2017.07616>

VILLASECA, C. (1996). "Rocas ígneas y metamórficas: características petrológicas generales". En *Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico*, Mingarro, F. (aut.). Madrid: Editorial Complutense.

VILLAVERDE, V., MARTÍNEZ, R., GUILLEM, P., et al. (2012). "What do we mean by Levantine rock art?". En *The Levantine Question: Post-Paleolithic Rock Art in the Iberian Peninsula*. Budapest: Archaeolingua, 81-115.

VILLEGAS, R., BAGLIONI, R. y SAMEÑO, M. (2003). "Tipología de materiales para tratamiento". En *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos*. Granada: Comares e Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 168-193.

WEISS, N., SLAVID, I. y WHEELER, G. (2000). "Development and assessment of conversion treatment for calcareous Stone". En *9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone* (vol. 2). Amsterdam: Elsevier, 533-540.

WHEELER, G. (2005). *Alkoxysilanes and the consolidation of stone*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.

ZALBIDEA, M. A. y GASQUE, R. (2020). "Análisis preventivos para la conservación y restauración del Abrigo de los Toros del Barranco de las Olivanas (Albarracín, Teruel)". En *El Arte Rupestre del Arco del Mediterráneo de la Península Ibérica. 20 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO*. Alcoy: Generalitat Valenciana, 145-154. https://www.researchgate.net/publication/342355317_Analisis_preventivos_para_la_Conservacion_y_Restauracion_del_Abrigo_de_los_Toros_del_Barranco_de_las_Olivanas_Albarracin_Teruel

ZALBIDEA, M. A., BARREDA, G., GASQUE, R. et al. (2019). "Estudios colorimétricos como método de conservación preventiva en abrigos con pintura rupestre". En *Sociedades prehistóricas y manifestaciones artísticas. Imágenes, nuevas propuestas e interpretaciones*. Alicante: Universitat d'Alacant, Universidad de Alicante, Instituto Universitario de Investigación en Arqueología y Patrimonio Histórico (INAPH), 321-328. <https://hi.es1lib.org/book/11716321/58f312>

Autor/es



Claudia Serrano Aranda

clauserar@unizar.es

Universidad de Zaragoza. Instituto Universitario de Ciencias Ambientales (IUCA)

<https://orcid.org/0000-0002-3498-8374>

Contratada predoctoral por el Ministerio de Universidades. Titulada Superior en Conservación y Restauración de Bienes Culturales con la especialidad de pintura. Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la Universitat Politècnica de València (UPV). En 2021 su investigación ha sido premiada por el comité *Chemical Nanoscience and Nanotechnology* de la *Royal Society of Chemistry*. Actualmente desarrolla su Tesis Doctoral sobre el análisis y desarrollo de un Plan de Conservación preventiva para arte rupestre Levantino.



María Antonia Zalbidea Muñoz

manzalmu@rbc.upv.es

Universitat Politècnica de València

<https://orcid.org/0000-0003-2159-3215>

Doctora en Bellas Artes. Especialidad de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. 2 sexenios de investigación (concedidos por la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación Española). Ha participado en 12 Proyectos I+D+i competitivos y en 13 Proyectos I+D+i no competitivos. Actualmente es Advisory

Committee en el proyecto Europeo *Breaking barriers between science and heritage approaches to Levantine rock art through archaeology, heritage science and IT* (LArcher), con la dirección de Inés Domingo Sanz (ICREA, Barcelona). El proyecto es reconocido como *Consolidator Grants* del Consejo Europeo de Investigación.

**Manuel Bea Martínez**manubea@unizar.es

Universidad de Zaragoza. Instituto de Patrimonio y Humanidades (IPH)

<https://orcid.org/0000-0002-2841-3347>

Doctor en Prehistoria por la Universidad de Zaragoza y Máster Universitario en Gestión de Patrimonio Cultural por la misma universidad. Ha sido investigador postdoctoral en las Universidades de Zaragoza y Jaime I de Castellón y realizado estancias de investigación en la University of New Mexico, Valencia, Politécnica de Madrid y en Sharja Archaeological Authority (Emiratos Árabes Unidos). Ha dirigido dos proyectos de investigación (uno nacional y otro autonómico) y participado en más de 15 proyectos tanto nacionales como internacionales. Es autor de más de 150 publicaciones científicas. En la actualidad es Profesor Contratado Doctor de Prehistoria en la Universidad de Zaragoza y miembro fundador del Comité Científico de Arte Rupestre de ICOMOS España.

Artículo enviado 13/09/2021
Artículo aceptado el 05/11/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1045>



Coberturas de yacimientos a ras de suelo en el ámbito español. Clasificación tipológica y análisis de protección efectiva

M. Ordóñez-Martín, J.C. Gómez de Cózar, R. M^a. Benítez Bodes

Resumen: Este trabajo se centra en el análisis de cubiertas ejecutadas en las últimas tres décadas en el ámbito geográfico español asociado al clima mediterráneo. En este estudio se propone una metodología de análisis basada en la identificación de factores de deterioro, inventario de modelos (atendiendo a definición constructiva, materialidad y adaptabilidad, sistema de evacuación de aguas pluviales y necesidades de mantenimiento), clasificación tipológica y análisis de su efectividad frente a la acción de agentes externos relacionados con la exposición al clima mediante herramientas de simulación de control ambiental. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que es necesario ajustar bastante el diseño de este tipo de coberturas para que puedan proporcionar una protección real a los yacimientos analizados. Del mismo modo, a partir de los resultados obtenidos, se aportan parámetros de correcto diseño que guiarán futuras propuestas orientadas a la protección efectiva de estos bienes patrimoniales.

Palabras clave: Sostenibilidad, conservación preventiva, coberturas activas, excavación arqueológica, simulación numérica, control ambiental

The coverage of archaeological sites at ground level in Spain, from a vision of effective protection

Abstract: This work focuses on the analysis of coverages carried out in the last three decades in the Spanish geographical area associated with the Mediterranean climate. This study proposes a methodology of analysis based on the identification of deterioration factors, inventory of models (according to constructive definition, materiality and adaptability, rainwater evacuation system and maintenance needs), typological classification and analysis of their effectiveness against the action of external agents related to exposure to the climate through environmental control simulation tools. The obtained results show that it is necessary to adjust the design of this type of coverages quite a bit so that they can provide real protection to the analysed archaeological sites. In the same way, based on these obtained results, correct design parameters which will guide future proposals aimed at the effective protection of these heritage sites are provided.

Keywords: Sustainability, preventive conservation, active coverages, archaeological excavation, numerical simulation, environmental control

A cobertura de sítios arqueológicos ao nível do solo em Espanha, a partir de uma visão de protecção eficaz

Resumo: No âmbito da trajectória, avançada em trabalhos anteriores, no campo da concepção e simulação de modelos de cobertura para sítios arqueológicos ao nível do solo, com capacidade de controlo ambiental do espaço coberto, este trabalho centra-se na análise retrospectiva de modelos de cobertura executados nas últimas três décadas na área geográfica espanhola associada ao clima mediterrânico, analisando a sua eficácia em termos da sua capacidade de proteger os elementos escavados. Este estudo propõe uma metodologia de análise baseada na identificação de factores de deterioração, inventário de modelos, classificação tipológica (segundo a sua geometria, materialidade e adaptabilidade) e a análise, através de ferramentas de simulação de controlo ambiental, da sua eficácia contra a acção de agentes externos relacionados com a exposição ao clima. Os resultados obtidos mostram que é necessário ajustar o desenho deste tipo de cobertura, a fim de proporcionar uma protecção real aos sítios analisados. Da mesma forma, os resultados obtidos fornecem parâmetros de concepção correcta que orientarão futuras propostas que visem a musealização destes bens patrimoniais.

Palavras-chave: Sustentabilidade, conservação preventiva, coberturas activas, escavação arqueológica, simulação numérica, controlo ambiental

Antecedentes

Hoy en día existe un consenso claro dentro de la disciplina de la conservación preventiva de yacimientos arqueológicos a cota de suelo en relación a que la única estrategia viable para la preservación de dichos bienes patrimoniales pasa por la cobertura de los mismos (Sposito y Ruggieri Tricoli 2004) (Díaz 2005: 110-130) (Rodríguez Temiño 2014). A lo largo del siglo pasado se comienzan a sentar las bases de las estrategias que aspiran a acercar al yacimiento in-situ a las condiciones de conservación de una vitrina museológica, planteando la necesidad de compaginar los requisitos protectores con la musealización de las excavaciones como meta irrenunciable (Stanley Price 1984). Desde las primeras intervenciones de Franco Minissi en Piazza Armerina en Sicilia en la década de los 60 (Rodríguez Temiño 2014), dicho entendimiento ha llevado durante años a la ejecución de gran variedad de cubiertas de distinta materialidad, en general con carácter permanente, en un intento de preservar la realidad física y los valores de los yacimientos.

Se pueden encontrar en la bibliografía, tanto en el ámbito teórico como en la relativa a análisis de proyectos de cobertura, reflexiones sobre la idoneidad de las mismas desde diferentes enfoques, aportando todas ellas diversos valores desde una visión pluridisciplinar.

En la década de los 80 del s. XX, se exponen importantes reflexiones sobre las necesidades a cubrir por parte de las cubiertas que empezaban a implantarse. En el Third International Symposium on Mudbrick, celebrado en Ankara en 1980, se habla de un factor que hoy se entendería como de sostenibilidad, fijando como parámetro clave en las intervenciones de protección arqueológica, lo idóneo de ser ejecutadas con materiales disponibles en el entorno. Igualmente se determinan ya como parámetros necesarios algunos como la protección contra la erosión y la lluvia, aislamiento térmico suficiente o permeabilidad al vapor de agua para evitar fenómenos de condensación, factores que tienen que ver con el control de la higrometría de la excavación.

Se establecen también planteamientos innovadores como la posibilidad de diseñar cubiertas con estructuras infladas que permiten, por su lógica de estabilidad neumática, la posibilidad de garantizar la renovación de aire en el interior del espacio cubierto e incluso el control térmico del mismo (Barker 1986: 45-49). Se realizan intentos de clasificación de las cubiertas que se están aplicando, distinguiendo entre cubiertas ajustadas a la geometría del yacimiento y cubiertas sin relación formal (Schmidt 1988), en una reflexión sobre la incidencia de las cubiertas en el entendimiento del objeto excavado. En los años 90, surgen nuevas reflexiones, análisis y clasificaciones en base al impacto físico y formal (Giachentti 1994), distinguiendo entre cubiertas

con escasa unión al yacimiento, cubiertas que evocan en exceso el volumen original o cubiertas con impacto violento sobre el mismo. A partir de ese momento se realizan los primeros estudios que evidencian que los modelos de cubiertas que se vienen implantando deben ser analizados en cuanto a la efectividad de protección contra los agentes ambientales. Un ejemplo sería la monitorización de la cubierta ligera para el templo de Apolo en Bassae, donde se toman datos de T^a y humedad relativa (Theoulakis 1993: 808-813), o el caso de la toma de datos meteorológicos en una cubierta modular desmontable en aluminio, de geometría hexagonal y rápido montaje, en Chipre (Agnew y Maekawa 1996: 139-150). Se analizan cubiertas de materialidad diversa (vidrio, acero, madera), en ocasiones concebidas como temporales, pero cuya instalación tiene finalmente permanencia, evidenciándose desajustes de las mismas con las necesidades de protección física y de los valores del yacimiento bien por impacto paisajístico o ineficiencia en la protección frente al viento, la lluvia, choques térmicos o desecaciones excesivos (Aslan 1997: 16-20).

A partir del año 2000 se aborda el problema de efectividad y adecuación de proyectos de cobertura ejecutados con mayor profundidad técnica gracias al desarrollo de sistemas de modelización, monitorización y análisis avanzados. Se analizan actuaciones que van desde cubiertas temporales hasta coberturas permanentes con o sin adaptación fisiológica a la excavación (Sposito y Ruggieri 2004). La bibliografía científica actual aboga por un necesario enfoque interdisciplinar en las actuaciones de cobertura (Germana 2013), poniendo en crisis aquellas donde prima la impronta arquitectónica sin consideración de las variables ambientales a controlar (Roby y Demas 2012). Se detecta que, en general, se ha descuidado la atención al diseño de cubiertas de estructuras ligeras con escaso impacto físico y fácil mantenimiento, con un buen rendimiento en cuanto a control climático del espacio cubierto (Rodríguez Temiño 2014), dificultando así el desarrollo de la idea de trasladar al espacio exterior in situ la capacidad de control de las condiciones ambientales de una vitrina favoreciendo la musealización de los yacimientos. Algunos estudios sobre el comportamiento a largo plazo de las cubiertas ejecutadas en la última década concluyen que, en general, las estrategias seguidas no han atenuado suficientemente, e incluso en algunos casos han empeorado, los procesos físicos y químicos de alteración que sufren los objetos excavados (Cabello Briones 2017). Es el caso de la modificación de las condiciones psicrométricas que generan fluctuaciones excesivas de T^a o humedad, o inciden negativamente en la velocidad del viento del espacio cubierto con fenómenos de turbulencia, provocando cristalización de sales, deposiciones de partículas y aparición de microflora, o el caso de una insuficiente superficie de cobertura y/o el empleo de materiales inadecuados que no evitan el exceso de radiación incidente. Por

ello se establece como una acción absolutamente necesaria la monitorización de la totalidad de variables psicrométricas que tienen incidencia sobre los fenómenos de alteración, con el fin de chequear la idoneidad de las intervenciones (Baglioni y Cacace 2018: 198-205; Cabello Briones 2020 a: 38-51), realizándose incluso estudios a partir de ensayos geomorfológicos de probetas físicas colocadas in situ bajo la cobertura (Cabello Briones 2017: 34-41).

Por otra parte, el desarrollo de herramientas de simulación va a permitir el desarrollo de metodologías de evaluación del comportamiento de las futuras coberturas empleando sistemas de modelado a partir de algoritmos matemáticos, los cuales serán capaces de optimizar propiedades mecánicas y de flexibilidad ante el objeto a proteger, facilitando la adaptabilidad a la evolución del yacimiento con una optimización material de las mismas (Sbrogio y Basso 2021:1547-1558). Igualmente, se están desarrollando investigaciones donde se incorpora, adicionalmente a la optimización estructural del modelo de cobertura, el análisis del control de la totalidad de variables psicrométricas del espacio cubierto, empleando envolventes de doble capa, y su simulación mediante herramientas de análisis de dinámica de fluidos computacional CFD (Ordóñez y Gómez de Cózar 2020: 202-214) con el fin de garantizar el control efectivo de las variables de alteración. Los estudios actuales están siendo capaces de aportar una gran cantidad de variables que intervendrán en el futuro diseño de coberturas (Panoskaltis y Vanta-Vasilki 2019) tales como: mínimo apoyo, rápido montaje, reversibilidad, control HVAC mediante energías renovables, automatización, etc.

A partir de los antecedentes descritos, en el presente artículo se analizan las coberturas de yacimientos ejecutadas en las últimas décadas en el ámbito geográfico español asociado al clima mediterráneo, a partir de los objetivos y metodología que se presentan a continuación.

Objetivos

Los objetivos de esta investigación son los siguientes:

Desarrollo de una clasificación de coberturas de yacimientos arqueológicos a ras de suelo, en el ámbito geográfico español asociado al clima mediterráneo en las tres últimas décadas, atendiendo a su configuración constructiva, materialidad, capacidad de adaptación al contexto, posibilidades de evacuación de aguas y tareas necesarias de mantenimiento.

Análisis de los tipos de coberturas detectadas mediante software de control ambiental, para determinar su capacidad de protección frente a agentes externos que dañan al yacimiento.

Metodología

A partir de los antecedentes descritos y de los objetivos que se han definido, se propone la siguiente metodología original:

- *Clasificación de agentes externos que deterioran los yacimientos.*
- *Realización de inventario de soluciones de yacimientos existentes en el ámbito geográfico español asociado al clima mediterráneo atendiendo a los siguientes parámetros: tipo de yacimiento, configuración constructiva, materialidad, capacidad de adaptación al contexto, posibilidades de evacuación de aguas y tareas necesarias de mantenimiento.*
- *Clasificación tipológica del inventario anterior en función de los parámetros definidos que influyen necesariamente en el control de los agentes de deterioro del yacimiento.*
- *Análisis de la efectividad de cada tipo detectado mediante el uso de software de control ambiental que simule los siguientes efectos: capacidad de la cubierta para producir sombra, radiación solar que recibe el yacimiento y acción del viento sobre la cubierta y el yacimiento.*
- *Discusión de resultados.*

Clasificación de agentes externos de deterioro

A la hora de determinar los agentes de alteración de los yacimientos a ras de suelo a analizar, se parte de la premisa de aspirar a la consecución de futuras coberturas que garanticen condiciones de control climático lo más próximas posibles a una vitrina de museo (Price 1984), siendo capaces de integrar en la excavación objetos extraídos de la misma, de materialidad diversa. Por ello se incorpora a este estudio la Tabla 1 que expone dichos factores de alteración, así como sus efectos más allá de las propias fábricas excavadas, extendiéndolo a materiales como la cerámica, los metales o el vidrio (Martirena 1992: 177-224) (Díaz 2005: 110-130).

Inventario de soluciones de cobertura de yacimientos existentes

Siguiendo con la metodología mencionada, se ha realizado un inventario de actuaciones representativas de cobertura de yacimientos en el ámbito español, en un ámbito temporal retrospectivo de 35 años [Tabla 2] con el fin de poder elaborar una clasificación tipológica en base a parámetros como: su carácter abierto o cerrado, su capacidad de control ambiental, su versatilidad, su materialidad constructiva, su compatibilidad con trabajos de excavación y musealización, el sistema de recogida de aguas pluviales o sus necesidades de mantenimiento. Tras la Tabla 2, se muestran en la Figura 1 [Figura 1] los croquis de una selección de las cubiertas inventariadas que sirven de base para su análisis.

Material Arqueológico	Principales Factores de alteración	Efectos
Metales y Aleaciones	-Variación humedad. (Según composición) -Impurezas del aire. (Según composición)	-Corrosión por oxidación
Minerales y Rocas	-Gases atmosféricos: CO ₂ , oxígeno y vapor de agua. -Acumulación de sales solubles por: agua en suelo, polución, residuos minerales, factores biológicos y conservación inadecuada, acompañadas de cambios de humedad. -Agua de lluvia -Acción del viento. -Radiación solar. -Falta de ventilación. -Fluctuaciones excesivas de T ^a y humedad.	-Reacciones de oxidación, hidratación y deshidratación que transforman sus componentes. -Eflorescencias, manchas de humedad, costras, pérdida de cohesión, fisuras y desprendimientos. -Disoluciones y formación de costras salina. -Abrasión y erosión. -Unidos a la humedad, formación de crecimientos vegetales. -Pérdida de color de pigmentos por acción ultravioleta. -Aparición de humedades de condensación. -Fracturas por heladicidad y tensiones mecánicas.
Cerámica	-Sales solubles.	-Fisuras y desprendimientos por aumento de presión en materiales porosos por la cristalización de sales.
Vidrio	-Absorción de agua. -Cambios bruscos de humedad. -Gas atmosférico.	- Reacción química ácida, con formación de capa de sílice porosa, o básica, con formación de una sal soluble, con destrucción total del vidrio. - Hidróxido de calcio y óxido de sodio presentes en el vidrio, se transforman en carbonatos, que son higroscópicos, por lo que los cambios bruscos de humedad debilitan su estructura. -SO ₂ y CO ₂ se combinan con el agua, acelerando el ataque químico del vidrio al formar compuestos hidrófilos.
Materiales Orgánicos celulares. (De origen vegetal o animal).	<i>Orgánicos menos sensibles. (Madera, cestería, lúcas).</i> -Luz (iluminancia > 150 lux) -Procesos de humedad-sequedad. -Insectos y Hongos. <i>Orgánicos más sensibles. (Papel y textiles).</i> -Luz (iluminancia > 50 lux), cambios bruscos de temperatura y humedad, y ataques biológicos y condiciones atmosféricas ácidas en papel. -Luz (iluminancia > 50 lux), atmósferas alcalinas, insectos y variaciones de humedad en textiles.	-Foto degradación. Aparición de hongos cromógenos. -Humedad favorece aparición de hongos y pudrición. -Insectos consumen el material para su alimentación. -Hongos favorecen la retención de humedad, y por tanto la pudrición. -Foto degradación, consumo del material por insectos en presencia de humedad. Ataque químico de ácidos de la atmósfera sobre las fibras de celulosa. -Luz provoca cambios de coloración y debilitamiento mecánico del textil. Una atmósfera alcalina degrada las fibras animales. Oxidación de alfileres, o del agente de blanqueamiento del textil. Insectos, hongos y bacterias consumen el material. Las variaciones de humedad provocan tensiones mecánicas y eliminan la elasticidad del textil.
Cuero	-Desecación. -Altas temperaturas. -Combinación de humedad y altas temperaturas. -Ambientes ácidos. -Polillas y abejas.	-Fisuración del material por pérdida de elasticidad. -Combinación de humedad y calor lo convierten en cola. -El ambiente ácido destruye el colágeno. -Los insectos consumen el material.
Hueso, Marfil, Cuerna	-Humedad relativa baja. -Altas temperaturas. -Medio ambiente ácido. -Medio ambiente básico.	-Tensiones y figuraciones. -Desecaciones. -Ambiente ácido ataca a la componente inorgánica. -Ambiente básico ataca a la componente orgánica.
Materiales orgánicos no celulares y plásticos. (Aceite, cera, resina, goma...)	-Temperatura moderada + oxígeno. -Radiación + oxígeno.	-Envejecimiento químico termo-oxidativo. -Envejecimiento fotoquímico.

Tabla 1.- Resumen de principales factores de alteración y sus efectos sobre objetos excavados.

Denominación Situación, Fecha, Promotor.	Abierto ó Cerrado/Control Ambiental (Tº, Hum, Nivel Co2...).	Dimensiones Aprox. Anch./Larg./Alt. (m).	Geometría/¿Adaptable?/Compatible con excavación, visita pública.	Materialidad Sistema Constructivo/Encuentro con el suelo.	Sistema de recogida de aguas pluviales.	Principales labores de mantenimiento.
Termas de Augusta Bilbilis. Huérmeda. (Zaragoza). 1997. Ministerio de Cultura y Deporte	Abierto./Sin control.	12/25/10	Rectangular nave a dos aguas./No/Sí.	Estructura de acero triangulada de arcos con uniones soldadas y cubierta de paneles de policarbonato./Arcos sobre muros emergentes del yacimiento, con placas de acero y pernos.	No/Vertido libre de faldones a perímetro de yacimiento.	Protección corrosión estructura./Sustitución paños translúcidos degradados.
Cisternas Romanas. Molacillos. (Zamora). 2010. Junta de Castilla y León.	Abierto./Sin control.	11/18/4,5	Unión de dos naves a dos aguas./Sí, módulo base reproducible./Sí.	Estructura de pórticos de acero con uniones soldadas. Cubierta de chapa de acero sobre tablero de madera./Pilares sobre durmientes de acero, anclados a muretes de hormigón armado.	No/Vertido libre de faldones y canalones a perímetro de yacimiento.	Protección corrosión estructura./Limpieza canalones.
Tumba de las Guirnaldas. Carmona (Sevilla). 2011. Consorcio Arqueológico de Carmona.	Abierto./Sin control.	19/22,5/5,67	Irregular poliédrica adaptada a excavación./No/Sí.	Pórticos y estructuras trianguladas de acero laminado en uniones soldadas. Cubierta de tablero de madera con aislamiento térmico y acabado con lámina impermeabilizante./Pilares con base de trípode sobre micropilotes de 9 m de longitud.	Sí/Canalones conducidos por bajantes a colectores enterrados, evacuando a caminos exteriores.	Protección corrosión estructura./Limpieza canalones.
Yacimiento Medieval de Siyása. Cieza (Murcia). 2018. Consorcio Turístico Desfiladera de Almadenes.	Abierto./Sin control.	64/44/3	Irregular adaptada a yacimiento, cubierta plana con lucernarios. /No/ Sí	Losas de hormigón armado sobre soportes tubulares de acero./Soportes entre estructuras emergentes, con cimentación superficial de dados de hormigón	No/Vertido libre de losas a terreno perimetral al yacimiento.	Protección corrosión estructura/ impermeabilización cubierta.
Villa romana de L'Albir. Alfaz del Pi (Alicante). 2010. Ayuntamiento de L'Alfàs del Pi.	Abierto./Sin control.	16/32/7	Rectangular achaflanada, cubierta de módulos abovedados./Sí, estructura modular ampliable./Sí.	Celosía espacial triangulada de acero y cubierta textil atirantada./Pilares sobre dados de hormigón de 60x60 cm de 30 cm de profundidad.	Sí./Canalones conectados a bajantes hasta zanja drenante perimetral conectada con saneamiento.	Protección corrosión estructura./Tensado membranas textiles./Limpieza canalones.
Villa Romana Torre Llauder. Mataró (Barcelona). 2010, Ayuntamiento de Mataró.	Abierto./Sin control.	21/24/8	Rectangular tipo carpa con apoyo central./Sí, ampliable con módulo similar./Sí.	Estructura textil atirantada con 14 puntos de anclaje y mástil central./Mástil mediante cimentación superficial de dado de hormigón, y anclaje exteriores mediante placas de acero y pernos anclados al terreno, sin contacto con excavación.	Sí./Bajantes en vértices de membrana textil, conducido a drenante perimetral.	Protección corrosión estructura./Tensado de membranas textiles.
Yacimiento del Cerro de la Merced. Cabra (Córdoba). 2019. Ayuntamiento de Cabra.	Abierto./Sin control.	17/22/6	Rectangular con lados menores curvos, cubierta mediante superficie reglada./No/Sí.	Estructura de arcos tubulares de acero en unión soldada, cubierta textil atirantada a estructura./6 apoyos puntuales unificando arcos dos a dos, con cimentación superficial de dados de hormigón en perímetro de excavación.	No./Vertido libre de membrana a terreno perimetral al yacimiento.	Protección corrosión estructura./Tensado de membranas textiles.
Dolmen de Albeite. Los Llanos de Villamartín. (Cádiz). 2005. Diputación de Cádiz.	Abierto./Sin control.	20/18/4,5	Rectangular de lados curvos, cubierta de simple curvatura./No/Sí.	Malla curva de perfiles tubulares de acero en unión soldada y cubierta de paneles ligeros./4 pedestales de hormigón con cimentación superficial, externos a estructuras emergentes.	No/Vertido libre de cubierta a terreno perimetral al yacimiento.	Protección corrosión estructura.
Yacimiento arqueológico de Cancho Roano. Zalamea de la Serena. (Badajoz). 2000. Ayuntamiento de Zalamea de la Serena.	Abierto./Sin control.	48/45/9	Rectangular de paños inclinados./Sí, Malla triangulada modular./Sí.	Mallas espaciales trianguladas atornilladas de grandes luces, separadas por lucernarios, sobre soportes de perfiles simples de acero. Cubierta de chapa grecada de acero y paneles translúcidos./Soportes de grandes luces con cimentación superficial de dados de hormigón exteriores al yacimiento.	No/Vertido libre de canalones de cubierta volada a terreno exterior al yacimiento.	Protección corrosión estructura./Limpieza canalones./Sustitución paños translúcidos degradados.
Casa del Anfiteatro. Mérida (Badajoz). 2015. Consorcio Ciudad Monumental de Mérida.	Abierto./Sin control.	60/70/3,5	Irregular adaptada a yacimiento, cubierta inclinada./No/Sí.	Malla espacial triangulada de perfiles de aluminio atornillados sobre soportes de acero. Cubierta textil atirantada a la estructura./Soportes de grandes luces exteriores al yacimiento sobre dados de hormigón, algunos apoyos interiores sobre muros de hormigón.	No/Vertido libre a terreno perimetral al yacimiento.	Protección corrosión pilares./Tensado de membranas textiles./Revisión uniones atornilladas.

Tabla 2.- (parte 1): Tabla resumen de características del inventario de coberturas analizado.

Yacimiento arqueológico de Cancho Roano. Zalamea de la Serena. (Badajoz). 2000. Ayuntamiento de Zalamea de la Serena.	Abierto./Sin control.	48/45/9	Rectangular de paños inclinados./Sí, Malla triangulada modular./Sí.	Mallas espaciales trianguladas atornilladas de grandes luces, separadas por lucernarios, sobre soportes de perfiles simples de acero. Cubierta de chapa grecada de acero y paneles translúcidos./Soportes de grandes luces con cimentación superficial de dados de hormigón exteriores al yacimiento.	No./Vertido libre de canales de cubierta volada a terreno exterior al yacimiento.	Protección corrosión estructura./Limpieza canalones./Sustitución paños translúcidos degradados.
Casa del Anfiteatro. Mérida (Badajoz). 2015. Consorcio Ciudad Monumental de Mérida.	Abierto./Sin control.	60/70/3,5	Irregular adaptada a yacimiento, cubierta inclinada./No./Sí.	Malla espacial triangulada de perfiles de aluminio atornillados sobre soportes de acero. Cubierta textil atirantada a la estructura./Soportes de grandes luces exteriores al yacimiento sobre dados de hormigón, algunos apoyos interiores sobre muros de hormigón.	No./Vertido libre a terreno perimetral al yacimiento.	Protección corrosión pilares./Tensado de membranas textiles./Revisión uniones atornilladas.
Villa Romana Fuente Álamo. Puente Genil (Córdoba). 2018. Ministerio de Fomento y Ayuntamiento de Puente Genil.	Abierto./Sin control.	27/56/8	Rectangular, cubierta inclinada./Sí. Ampliable por adición de pórticos./Sí.	Pórticos de vigas y pilares de estructuras planas trianguladas en unión soldada. Cubierta de textil tensado./Pilares de pórticos sobre encepados y micropilotes anexos a estructuras emergentes.	No./Vertido libre a terreno perimetral al yacimiento.	Protección corrosión estructura./Tensado de membranas textiles.
Parque arqueológico de Cartagena. Cartagena (Murcia), 2008. Cartagena Puerto de Culturas.	Abierto./Sin control.	27/78/12	Irregular adaptado a yacimiento, cubierta poliédrica inclinada./No./Sí.	Malla espacial de acero laminado sobre soportes tubulares de acero. Cubierta translúcida de paneles de policarbonato./Soportes de grandes luces sobre encepados y micropilotes.	No./Vertido libre a terreno perimetral al yacimiento.	Protección corrosión estructura./Sustitución paños translúcidos degradados.
Villa Romana de Materno. Carranque (Toledo). 2021. Consejería Cultura Castilla la Mancha.	Semi-abierto/Sin control. Protección parcial mediante cerramiento perimetral ciego a media altura.	48,62/48,42/7	Rectangular, cubierta de simple curvatura./No./Sí.	Pórticos de cerchas planas curvas de acero sobre pilares metálicos. Cubierta de paneles sándwich de acero prelacado con aislamiento térmico. Cerramiento a media altura de citara de ladrillo perforado./Apoyo de pórticos en perímetro externos al yacimiento, e interiores puntuales, cimentación superficial de dados de hormigón.	Sí./Canalones y bajantes canalizados hacia exterior del yacimiento.	Protección corrosión estructura./Limpieza canalones./Pintura elementos de fábrica.
Yacimiento de Fuente Nueva. Orce (Granada). 2021. Ayuntamiento de Orce.	Semi-abierto./Iluminación natural selectiva y ventilación natural por fachada celosía, con control de incidencia solar directa.	20,15/31,40/8,30	Rectangular, cubierta de simple curvatura./No./Sí.	Pórticos planos de cerchas curvas de acero sobre pilares metálicos en unión soldada. Cubierta de chapa grecada de acero prelacado. Cerramiento a base de celosías de lamas de acero./Apoyo de pórticos en zapatas corridas perimetrales, externas a estructuras emergentes.	No./Vertido libre a perímetro exterior protegido por solera de hormigón.	Protección contra corrosión de estructura y celosías de fachada.
Edificio Cristiano de Cástulo (s.IV). Linares (Jaén). 2017. Diputación Provincial de Jaén.	Semi-abierto./Iluminación natural selectiva y ventilación natural a través de fachada celosía y huecos.	12/16/5	Rectangular, cubierta a dos aguas./No./Sí.	Pórticos planos de vigas y pilares de acero en unión soldada. Cubierta de panel sándwich de acero prelacado. Cerramiento parcial de celosías de lamas de acero./Soportes sobre durmientes de acero anclados a estructuras emergentes.	Sí./Canalones y bajantes canalizados hacia exterior del yacimiento.	Protección corrosión estructura y celosías./Limpieza canalones.
Dolmen de Dombate. Cabaña de Bergantiños (La Coruña). 2011. Diputación de La Coruña.	Semi-abierto./Iluminación natural selectiva y ventilación natural para control de humedad por fachada y cubierta./Drenaje y muros pantalla en subsuelo para evitar humedad del terreno.	35/35/6	Estructura de arcos de doble curvatura y cubierta a cuatro aguas./No./Sí.	Bóveda de doble curvatura de arcos de madera, sobre durmiente de madera y soportes tubulares de acero en uniones atornilladas o por esterotomía. Cubierta ventilada de chapa de cobre sobre tablero de madera con aislamiento térmico. Cerramiento de vidrio termoacústico con celosía de lamas metálicas./Soportes externo al excavación sobre muros de contención de hormigón.	Sí./Recogida mediante canalón y zanja drenante perimetral con canalización a alcantarillado.	Protección corrosión pilares./Revisión uniones atornilladas./Limpieza canalones y vidrios.

Tabla 2.- (parte 2): Tabla resumen de características del inventario de coberturas analizado.

Tejada. Quintanilla de la Cueva (Palencia). 1986. Diputación Provincial de Palencia.	nación natural selectiva mediante paneles traslúcidos en cubierta.		dos aguas./No./Sí.	chas trianguladas sobre pilares de acero. Cerramiento perimetral de fábrica. Cubierta de fibrocemento con zonas de placas translúcidas./Soportes sobre zanjas corridas superficiales o dados de hormigón, en algunos casos entre estructuras emergentes.	y bajantes canalizados hacia exterior del yacimiento.	corrosión estructura./Sustitución placas translúcidas degradadas./Limpieza canalones./Pintado elementos fábrica.
Villa Fortunatus. Fraga (Huesca). 2008. Gobierno de Aragón.	Cerrado./Iluminación selectiva a través de fachada mediante paños de vidrio.	42/53/4	Nave cerrada. Cubierta con ligera inclinación. /Sí. Ampliable por adición de pórticos./Sí.	Estructura de vigas y pilares de celosía espacial de acero en unión soldada. Cubierta de chapa grecada de acero prelacado. Cerramiento de paneles de poliéster translúcido./Soportes en perímetro y en interior junto a estructuras emergentes, sobre dados de hormigón superficiales.	Sí./Canalones y bajantes canalizados hacia exterior del yacimiento	Protección corrosión estructura./Limpieza canalones./Sustitución placas translúcidas degradadas.
Villa Romana de La Olmeda. Pedrosa de la Vega (Palencia). 2009. Diputación Provincial de Palencia.	Cerrado./Iluminación selectiva a través de fachada mediante paneles translúcidos.	101,25/75/11,75	Nave cerrada por sucesión de bóvedas./No./Sí.	Bóvedas de retícula modular romboidal prefabricada y ensamblada mediante nudos atornillados sobre pórticos de acero laminado en unión soldada. Cubierta de chapa de aluminio con aislamiento térmico. Cerramiento de muro de hormigón armado, paneles de policarbonato celular y chapa de acero corten perforada./Soportes exteriores en muro de hormigón perimetral e interiores en cimentación superficial de zapatas aisladas.	Sí./Canalones y bajantes canalizados hacia red de alcantarillado.	Protección corrosión estructura./Revisión uniones atornilladas./Sustitución paneles translúcidos degradados./Limpieza canalones.

Tabla 2.- (parte 3): Tabla resumen de características del inventario de coberturas analizado.

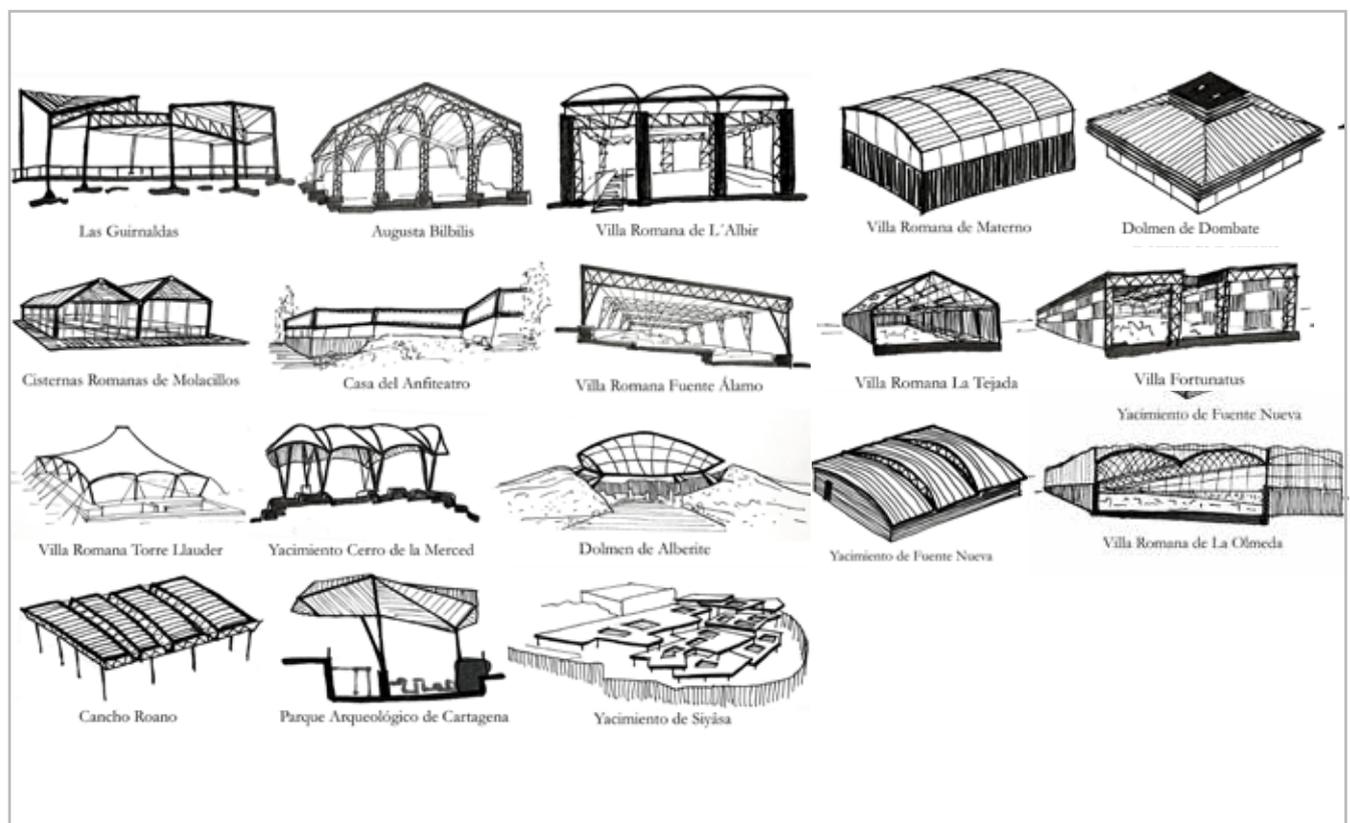


Figura 1.- Croquis de las cubiertas inventariadas.

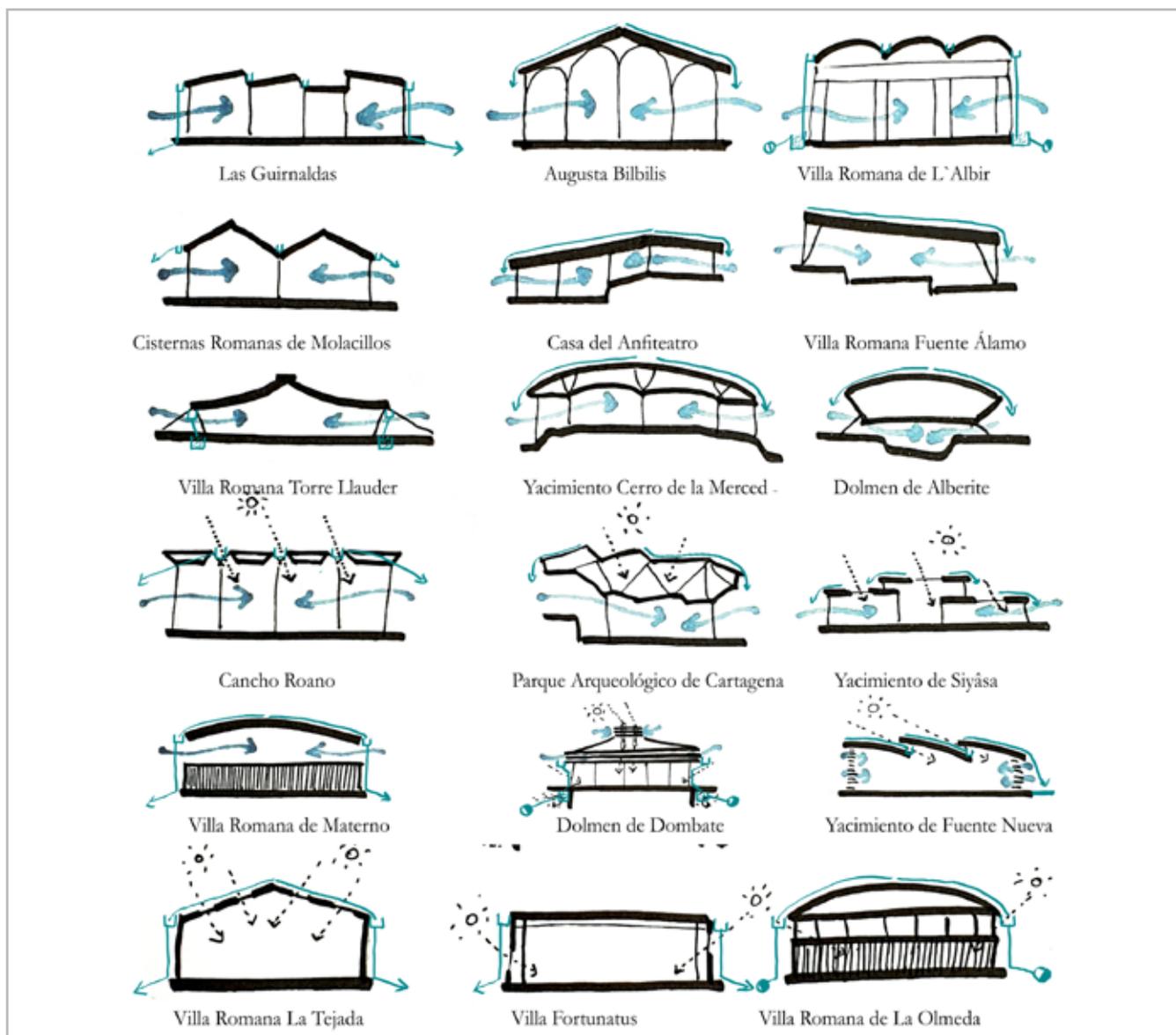


Figura 2.- Mosaico de esquemas de análisis de las cubiertas inventariadas.

Como parte de la metodología de análisis, se han realizado esquemas básicos en sección del comportamiento de las coberturas inventariadas [Figura 2].

En ellos se observa que, a pesar de la diversidad de diseños de cubiertas, a efectos del análisis de su eficacia de protección del yacimiento frente a los agentes atmosféricos y su variabilidad, los modelos se reducen a tres grandes grupos: coberturas abiertas (protección horizontal solar y de lluvia, con ventilación), coberturas semi-abiertas (protección horizontal y vertical parcial, solar y de lluvia, con ventilación) y coberturas cerradas (protección completa frente a sol y lluvia, con control de iluminación).

Clasificación tipológica.

Como tercer paso de la metodología, se establece una clasificación tipológica de los modelos de cubierta

analizados, en base a los parámetros definidos en la Tabla 2 del apartado anterior, que influyen necesariamente en el control de los agentes de deterioro de los objetos excavados.

a) Tipo A. Coberturas abiertas.

En esta tipología, el principal objetivo es proteger el yacimiento de los fenómenos de soleamiento y precipitaciones, con mayor o menor efectividad, ajustándose en general su perímetro al estricto de la excavación. Se observan cubiertas de diversa materialidad, predominando las estructuras ligeras con soportes de acero o aluminio, con incidencia limitada en sus apoyos sobre las estructuras emergentes. Cuentan con material de cobertura diverso, desde ligeros como láminas textiles o placas de policarbonato hasta pesadas losas de hormigón *in-situ*, pasando por tableros de madera y chapas perfiladas de acero con o sin aislamiento térmico.

Son cubiertas que, a priori, presentan un limitado efecto ante los agentes de alteración definidos en la Tabla 1, al tratarse de estructuras abiertas. Su efectividad ante la acción de la radiación solar, especialmente en las localizaciones al sur de la península, la erosión y cambios de humedad por acción de la lluvia o la erosión por acción del viento, estará directamente relacionada con la configuración y la altura de las mismas, la ubicación de huecos o lucernarios y su capacidad de adaptación/ampliación en función de la evolución de las excavaciones. Igualmente, influirá el control de las escorrentías de aguas pluviales, encontrando, en numerosos casos, soluciones de vertido libre de las cubiertas al perímetro de la excavación, con mayor o menor vuelo de la cubierta. En otros casos, sin embargo, se prevé su recogida mediante canalones, y su canalización a zanjas drenantes, zonas alejadas de la excavación, o red de alcantarillado.

En lo relativo a operaciones periódicas de mantenimiento, no resultarán de gran entidad y suelen referirse a los elementos estructurales (tratamiento anti-corrosión de estructuras de acero soldadas, revisión de uniones en estructuras atornilladas o tensado en caso de estructuras de membrana). También es común la limpieza de elementos de evacuación de aguas cuando se cuenta con ellos. Excepcionalmente, se puede presentar la necesidad de sustitución de elementos degradados como los paños de material translúcido.

Hay casos de cubiertas de gran altura, con valores entre 5,0 y 10,0 m, como en la Tumba de las Guirnaldas, las Termas de Augusta Bilbilis, la Villa Romana de L'Albir o la Villa Romana de Fuente Álamo, donde además su perímetro se ajusta a los límites de la excavación, no pareciendo sistemas efectivos ante la radiación solar en períodos de trayectorias solares de menor altura, ni ante la acción de vientos dominantes y su combinación con precipitaciones.

En otros casos se trata de coberturas de altura más ajustada en cuanto a su perímetro inferior, con valores en torno a 3,0 m., como las Cisternas Romanas de Molacillos, la Casa del Anfiteatro, la Villa Romana de Torre Llauder, el Yacimiento del Cerro de la Merced o el Dolmen de Alberite. En ellos se prevé mayor efectividad ante los agentes de viento y lluvia, dependiendo del grado de protección ante el fenómeno de radiación solar, la orientación, la geometría y la mayor o menor opacidad del material de cubierta.

Por otra parte, se detectan coberturas cuyo lenguaje de diseño combinado con situaciones de gran altura o no, con existencia de huecos a modo de lucernarios en cubierta, como el Yacimiento de Cancho Roano o el Yacimiento Medieval de Siyâsa, e incluso con elección de materiales translúcidos en las mismas como en el Parque Arqueológico de Cartagena, disminuye o empeora su capacidad efectiva de protección ante los efectos de la radiación puntual o generalizada sobre el yacimiento, así como el bienestar de los usuarios.

b) Tipo B. Coberturas de tipo semi-abierto.

En este grupo se incluyen ejemplos de cubierta donde se combinan la cobertura superior con un mayor o menor grado de protección lateral. En algunos casos, dicha protección lateral consiste en un paramento ciego a media altura, como en la Villa Romana de Materno. En otros está formado por un diseño de lamas horizontales capaces de controlar la incidencia solar directa, pero permitiendo iluminación natural y visibilidad del yacimiento, así como dotándolo de ventilación natural selectiva a través de él, como en el Dolmen de Dombate que, además, cuenta con muros pantalla en cimentación, paralelos al perímetro, que evitan la humedad provocada por capilaridad desde el terreno o por absorción de las escorrentías provocadas por la lluvia.

En el Yacimiento de Orce, el efecto de las lamas se combina con aberturas en cubierta que aumentan el control de los flujos de aire interior y de iluminación natural.

En estos casos, como se ha visto, la protección solar se presume de mayor efectividad, pudiendo ser controlada tanto en paramentos horizontales como verticales abiertos parcialmente. Existe en general un control de escorrentías mediante canalones y bajantes hacia el exterior del yacimiento o red de alcantarillado. En esta tipología, además de las labores de mantenimiento relativas a conservación estructural mencionadas en la tipología A, aparecen otras específicas de la envolvente vertical tales como protección contra corrosión de celosías metálicas, repintado de paramentos de fábrica o limpieza de vidrios.

c) Tipo C. Cobertura de tipo cerrado.

Por último, se detectan ejemplos con cerramiento completo del recinto a proteger. En estos casos el control de iluminación y ventilación, así como de condiciones higrométricas será determinante en las condiciones de estabilidad física de los elementos emergentes. Para el caso de los ejemplos analizados únicamente se aprecia un control, en mayor o menor medida, de las condiciones de iluminación, bien desde fachada con estudio de apertura de huecos en orientaciones de menor incidencia solar, como en la Villa Romana de La Olmeda o en la Villa Fortunatus, o bien desde cubierta, con proporción de huecos y control de transparencia de los lucernarios, como en la Villa Romana de La Tejada, no encontrándose la implementación de sistemas activos o pasivos de control de T^a , humedad relativa o niveles de CO_2 del ambiente interior. Sí es algo común la canalización de aguas de lluvia hacia el exterior de la edificación o red de alcantarillado, no suponiendo afección al yacimiento. En cuanto a las labores de mantenimiento, serán similares a las descritas en la tipología B, existiendo algunas adicionales como la sustitución de paños translúcidos de fachada, cuando estos constituyen en parte o la totalidad dicha envolvente.

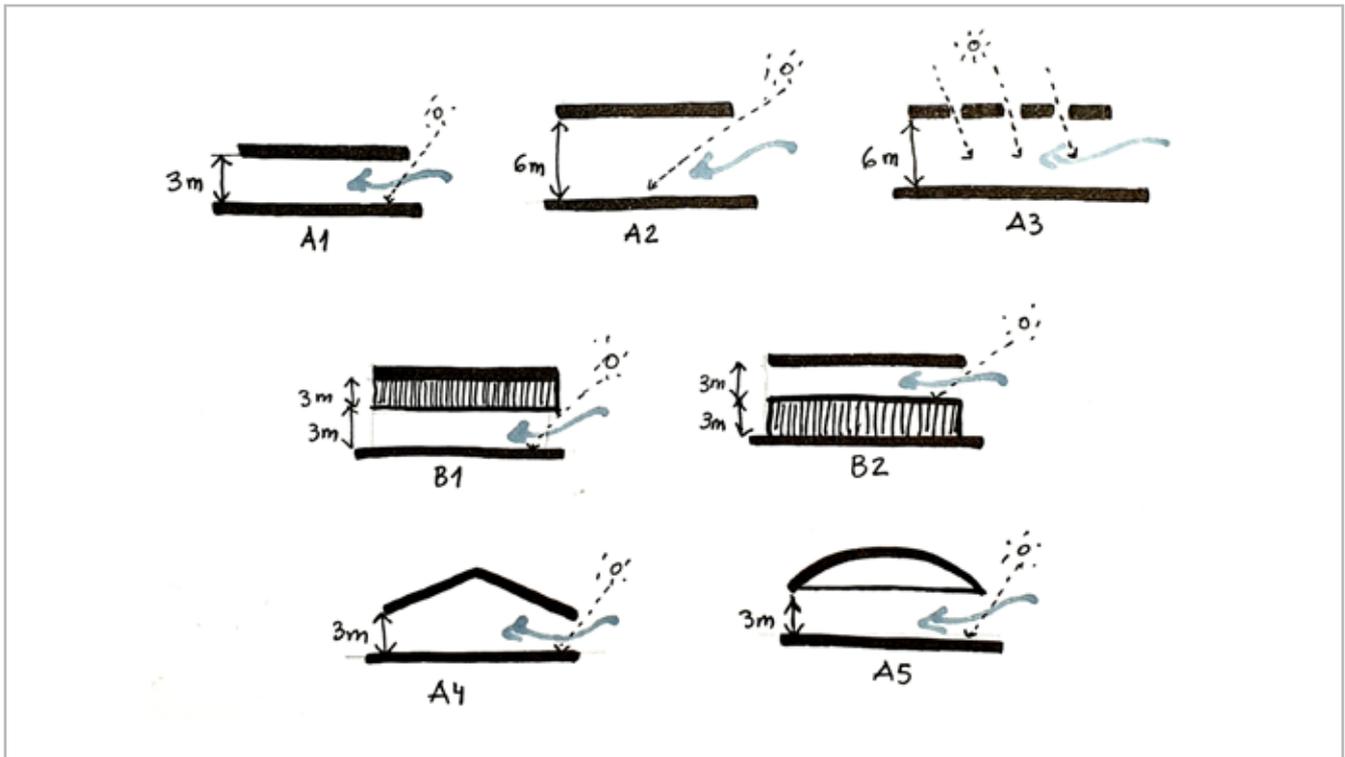


Figura 3.- Esquemas de Modelos seleccionados para su análisis.

Análisis del funcionamiento de cada tipo mediante software de control ambiental

Para realizar el análisis del comportamiento de los diferentes tipos en relación a la incidencia solar se extraen 7 modelos simplificados, representados en la Figura 3.

Se analizan casos de tipología abierta o semi-abierta, considerando que la opción completamente cerrada debe contar obligatoriamente con sistemas pasivos y activos de control de las condiciones del ambiente interior específicos para la conservación de los restos arqueológicos y el bienestar de los usuarios.

Del tipo A (abiertos), se proponen cinco subtipos:

- A1. Cubierta plana a una altura de 3,0 m.
- A2. Cubierta plana a una altura de 6,0 m, para comprobar la influencia de la altura en los parámetros analizados.
- A3. Cubierta plana a una altura de 6,0 m con lucernarios.
- A4. Cubierta a dos aguas, para comprobar la influencia del factor geométrico.
- A5. Cubierta con geometría cóncava o curva, para comprobar la influencia del factor geométrico como en el subtipo anterior.

Del tipo B (semi-abiertos), se proponen dos subtipos:

- B1. Cubierta plana a una altura de 6,0 m. con paramento vertical superior de 3,0 m cerrado e inferior abierto.
- B2. Cubierta plana a una altura de 6,0 m. con paramento vertical superior abierto e inferior de 3,0 m cerrado.

Para el análisis de la acción del viento, los modelos se reducen a cinco, eliminando los subtipos A2 y A3, que se asimilan al subtipo A1.

Para poder realizar la comparativa entre modelos, se establece una superficie arqueológica a cubrir de 20,0 x 18,0 m, similar al Cerro de la Merced de Cabra, orientando el lado largo perpendicular al eje Norte-Sur. Por otro lado, se ha establecido Sevilla como ubicación predeterminada en todos los casos, como localización representativa de zona climática B4 según documento del Código Técnico de la Edificación HE1, en clima mediterráneo.

a) Análisis de sombras y valores de radiación solar incidente global estacional, en el plano del yacimiento.

Una vez realizados los diferentes modelos en 3D mediante software CAD, se emplea la herramienta Autodesk Ecotect Analysis ©. Los datos climáticos empleados en el modelo se han extraído del archivo de extensión *.epw obtenido online del US Department of Energy, para la provincia de Sevilla, que se ha convertido en *.wea con la herramienta "weather tool" de Ecotect. Los valores exactos de posición geográfica son: Latitud: 39°, Longitud: -1.9°, msnm: 200,0 m. El porcentaje de sombra se ha evaluado en los solsticios de verano (22 Junio) e invierno (22 Diciembre), a las 10:00 h, 13:00 h y 17:00 h, respectivamente.

Para el cálculo de radiación solar incidente (directa + difusa + reflejada), se ha considerado el periodo de junio a septiembre como estacional estival, y el de diciembre a febrero como periodo estacional invernal.

Tipo	Porcentaje de sombra en yacimiento (%)	Radiación Incidente global estacional (KWh)	Incidencia Solar Directa
	Verano / Invierno	Verano / Invierno	
A1 Cubierta plana Altura = 3,0 m	10:00 h_ 80/25 13:00 h_ 95/50 17:00 h_ 80/25	43,67 / 21,54	La zona de mayor incidencia coincide con una banda perimetral de 2,0 m de ancho aproximadamente. En la zona interior la incidencia de la radiación solar es homogénea.
A2 Cubierta plana Altura > 6,0 m	10:00 h_ 60/0 13:00 h_ 85/30 17:00 h_ 60/0	82,71 / 46,05	La zona de mayor incidencia coincide con una banda perimetral de 3,5 m de ancho aproximadamente. En la zona interior la incidencia de la radiación solar es homogénea pero con niveles superiores al caso anterior, al estar la cubierta más separada de la cota del yacimiento.
B1 Cubierta plana Altura > 6,0 m Mitad inferior abierta / Mitad superior cerrada	10:00 h_ 80/25 13:00 h_ 95/50 17:00 h_ 80/25	80,41 / 42,73	La zona de mayor incidencia coincide con una banda perimetral de 2,0 m de ancho aproximadamente. En la zona interior la incidencia de la radiación solar es homogénea.
B2 Cubierta plana Altura > 6,0 m Mitad inferior cerrada / Mitad superior abierta	10:00 h_ 80/75 (banda) 13:00 h_ 90/60 (banda) 17:00 h_ 80/75 (banda)	49,67 / 21,58	El nivel máximo de incidencia disminuye respecto a los casos anteriores, pero es homogéneo en toda la superficie del yacimiento. El paramento aumenta la protección del perímetro, pero la zona abierta permite mayor recorrido de superficie de incidencia.
A3 Cubierta plana con lucernarios Altura > 6,0 m	10:00 h_ 60/0 13:00 h_ 75/20 (bandas) 17:00 h_ 60/0	96,99 / 52,02	La zona de mayor incidencia coincide con una banda perimetral de 3,5 m de ancho aproximadamente. En la zona interior la incidencia de la radiación solar aumenta al verse afectada por la presencia de los lucernarios.
A4 Cubierta a dos aguas Altura > 4,0 m	10:00 h_ 60/15 13:00 h_ 95/45 17:00 h_ 60/15	55,07 / 24,54	La zona de mayor incidencia coincide con una banda perimetral de 2,0 m de ancho aproximadamente en los lados de menor altura y de 3,5 m en los lados de mayor altura. En la zona interior la incidencia de la radiación solar es homogénea.
A5 Cubierta curva Altura > 4,0 m	10:00 h_ 70/15 13:00 h_ 90/45 17:00 h_ 70/15	49,83 / 21,97	La zona de mayor incidencia coincide con una banda perimetral de 2,0 m de ancho aproximadamente, con la forma ovalada de la cubierta. En la zona interior la incidencia de la radiación solar es homogénea.

Tabla 3.- Resultados de los análisis de sombras e iluminación solar directa de los modelos tipo seleccionados

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3 y en las Figuras 4 y 5.

b) Análisis de la acción del viento sobre la cubierta y el espacio bajo cubierta.

Una vez realizados los diferentes modelos en 3D mediante software CAD, se emplea la herramienta Autodesk Flow Design©. Se establece una velocidad del viento de cálculo de 100 km/h = 27,7 m/s.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4 y en la Figura 6.

Discusión de resultados

Según los resultados obtenidos se pone de manifiesto que:

- A pesar de la diversidad de soluciones detectadas en el inventario de cubiertas, se puede simplificar su clasificación en tres tipos fundamentales, atendiendo al grado de mayor o menor efectividad de protección del yacimiento: abiertas (A), semi-abiertas (B) o cerradas (C), siendo la primera opción la más numerosa.

- Todas las soluciones se ciñen al perímetro de la excavación, quedando desprotegido el mismo en las soluciones sin paramentos verticales.

- Ninguna de las soluciones de tipo cerrado ofrece aún un sistema de control adecuado de las condiciones interiores, mediante sistemas pasivos y/o activos. Solo en algunos casos se incorpora cierto aporte de iluminación natural mediante lucernarios o huecos transparentes o translúcidos en fachadas con mayor o menor control de radiación incidente.

- Del análisis comparativo de sombras se observa que, en todos los modelos, se produce una cobertura casi completa en las horas de mayor radiación solar (mediodía en verano), siendo sólo parcial (20-60% de cobertura) en periodo invernal en igual franja horaria. Por la mañana y por la tarde, sin embargo, las zonas laterales quedan parcial o totalmente desprotegidas tanto en verano como en invierno, alcanzando valores bajos de porcentaje de sombra (60% en subtipos A2, A3 y A4 en verano, o del 2% en subtipos A2 y A3 en invierno).

Como caso particular cabe destacar el comportamiento de la evolución de los porcentajes de cobertura del subtipo B2, para el cual se registran los menores valores de protección en las horas centrales del día en periodo invernal, aumentando hacia el amanecer y el ocaso, debido a la existencia de protección vertical parcial en la mitad inferior de la envolvente.

Analizando los mapas y gráfica de radiación solar global estacional, los modelos más eficientes desde el punto de vista de protección de incidencia solar son los subtipos A1, A4, A5 y B2, bien por su altura más ajustada general o perimetral o por la existencia de protección vertical en su mitad inferior. Por su parte, los subtipos A2, A3 y B1 presentan un grado de protección mucho menor, con valores de incidencia radiante global que, en general, duplican los valores anteriores en ambos periodos estacionales, debido a alturas de coberturas sobredimensionadas o a existencia de protecciones verticales ineficientes.

- El empleo incorrecto de materiales opacos en la envolvente implica la necesidad de contar con apoyo de iluminación artificial en las zonas centrales, sobre todo en yacimientos de grandes dimensiones, con el consecuente gasto económico y energético añadido. El uso de materiales textiles minimiza dicho apoyo gracias a sus propiedades reflectivas y de translucidez durante el día.

- Del análisis de viento en los modelos se deduce lo siguiente:

Subtipo A1: La velocidad del viento aumenta de 92,37 km/h a 160,02 km/h. Se trata de una opción óptima para facilitar la ventilación del área a proteger, aunque, unido a las precipitaciones, favorece que los restos se mojen. Los valores de succión y presión media son -40,00 kg/m² y 31,60 kg/m².

Subtipo B1: La velocidad del viento disminuye más de la mitad de 124,16 km/h a 71,17 km/h., generando turbulencias que provocan que el aire se embolse y ralentice bajo cubierta, si bien a ras de suelo, al no haber obstáculos, la ventilación es similar a los casos anteriores.

Los valores de succión y presión media son -25,00 kg/m² y 29,50 kg/m².

Subtipo B2: La velocidad del viento disminuye más de la mitad, de 124,88 km/h a 72,07 km/h. y se producen turbulencias que provocan que el aire se embolse y ralentice a ras de suelo.

Los valores de succión y presión media son -25,00 kg/m² y 50,00 kg/m²

Subtipo A4: La velocidad del viento disminuye más de la mitad de 140,83 km/h a 81,29 km/h. con un comportamiento similar al modelo B1.

Los valores de succión y presión media son -45,00 kg/m² y 33,00 kg/m².

Subtipo A5: La velocidad del viento disminuye más de la mitad, de 130,60 km/h a 75,38 km/h.

Los valores de succión y presión media son -50,00 kg/m² y 34,00 kg/m².

- Se puede evaluar cuáles son los modelos más favorables en función de las condiciones ambientales y su protección:

Los subtipos A1, B1, A4 y A5 son soluciones más adecuadas en ubicaciones con climatología cálida y seca, siempre que el perímetro de la cubierta sea mayor que la superficie necesaria a cubrir, para no someter a los objetos excavados a la acción de la radiación solar. En el caso de lugares de clima húmedo, precipitaciones persistentes, con veranos ligeramente más cálidos, no es una solución óptima. Igualmente sucede con el subtipo B2, pues el aire caliente sube y se expulsa al exterior. En este caso, el perímetro queda protegido tanto de la acción del sol como de la lluvia y puede ajustarse la superficie de cubierta a la del yacimiento. Sin embargo, la carencia de protección en la parte superior, no evita la exposición total a los agentes atmosféricos.

El subtipo A2 es más adecuado en lugares de clima húmedo, ya que permite la evaporación de la humedad más rápidamente en los meses de otoño-invierno y ofrece sombra en las horas punta del verano. En ubicaciones con climatología cálida y seca puede emplearse siempre que el perímetro de la cubierta sea superior a la superficie necesaria a cubrir.

El subtipo A3 es una solución más favorable en lugares de clima húmedo, ya que permite la evaporación de la humedad más rápidamente en los meses de otoño-invierno y ofrece sombra en las horas punta del verano. No es una opción recomendable en ubicaciones de clima seco y con altas temperaturas, ya que los lucernarios no protegen de

la radiación solar directa en las horas de más calor.

Para los tipos A será necesario atender a los anclajes a soportes teniendo en cuenta que son las soluciones que, por su forma, más succión de viento se produce en la cubierta.

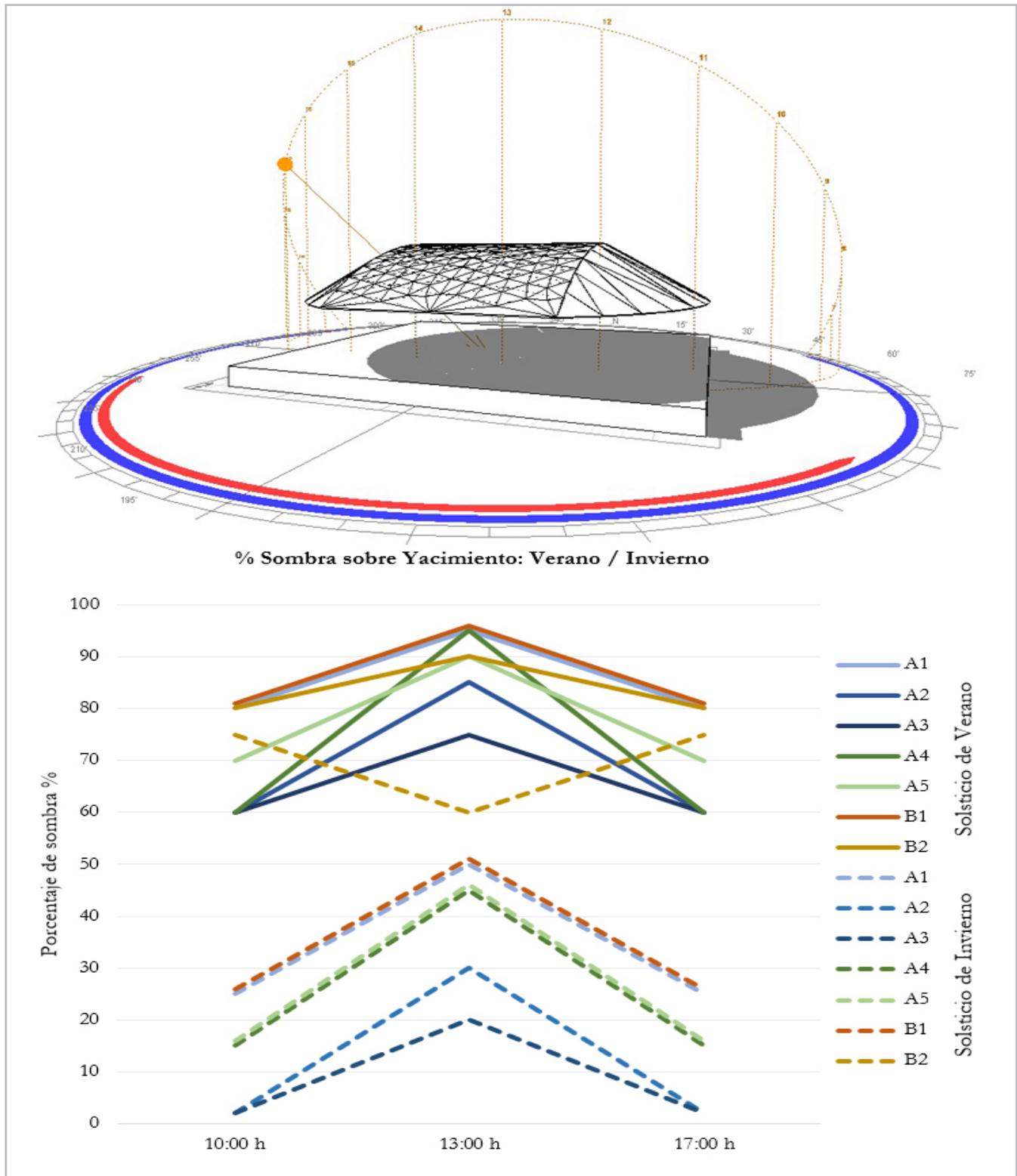


Figura 4.- Ejemplo de simulación de sombra arrojada y resultados obtenidos del Análisis de Porcentaje de Sombras sobre el yacimiento por tipología.

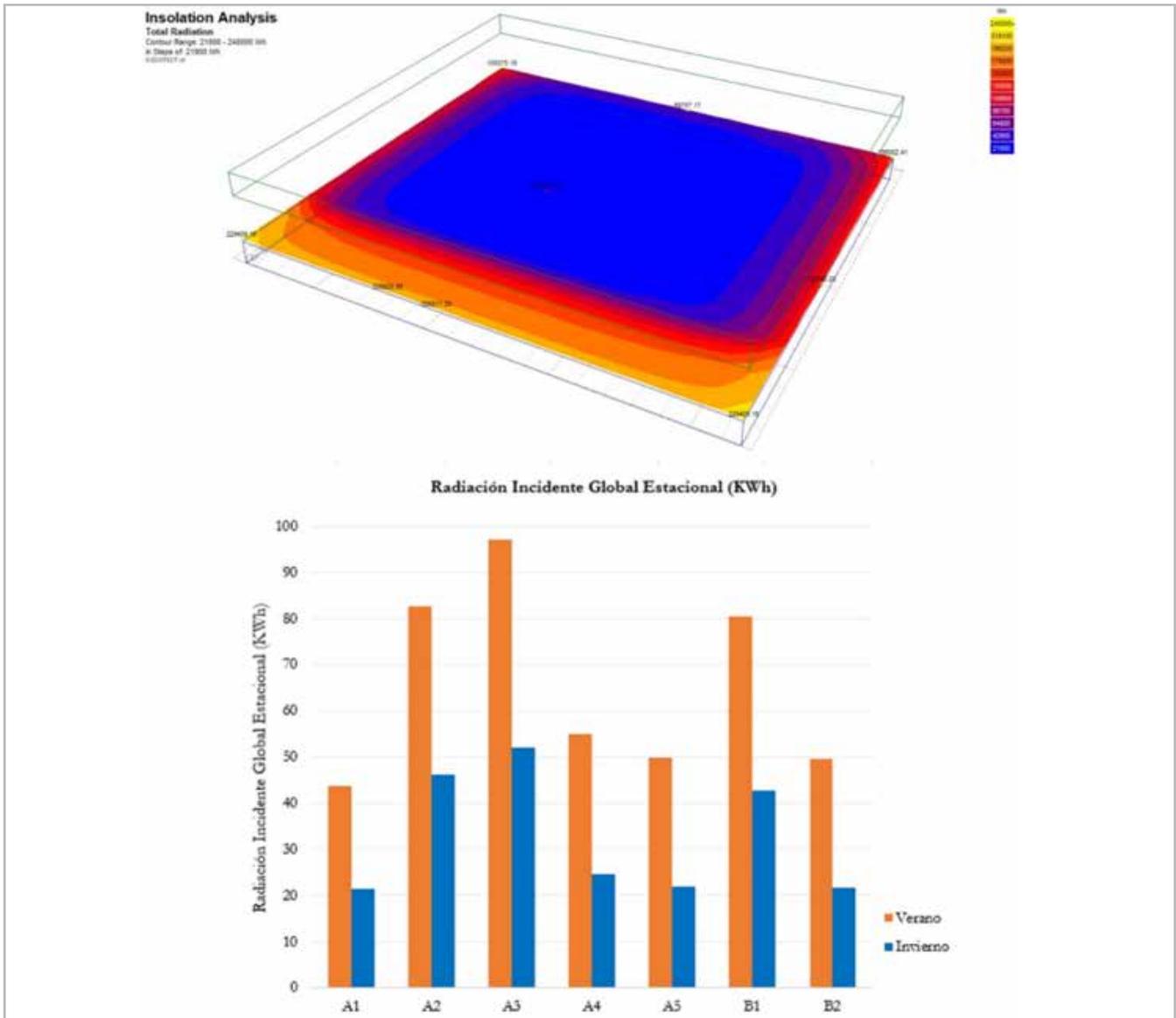


Figura 5.- Ejemplo de mapa de caso de estudio de incidencia solar y Resultados obtenidos del Análisis de Radiación Global Incidente Estacional (KWh) por tipología.

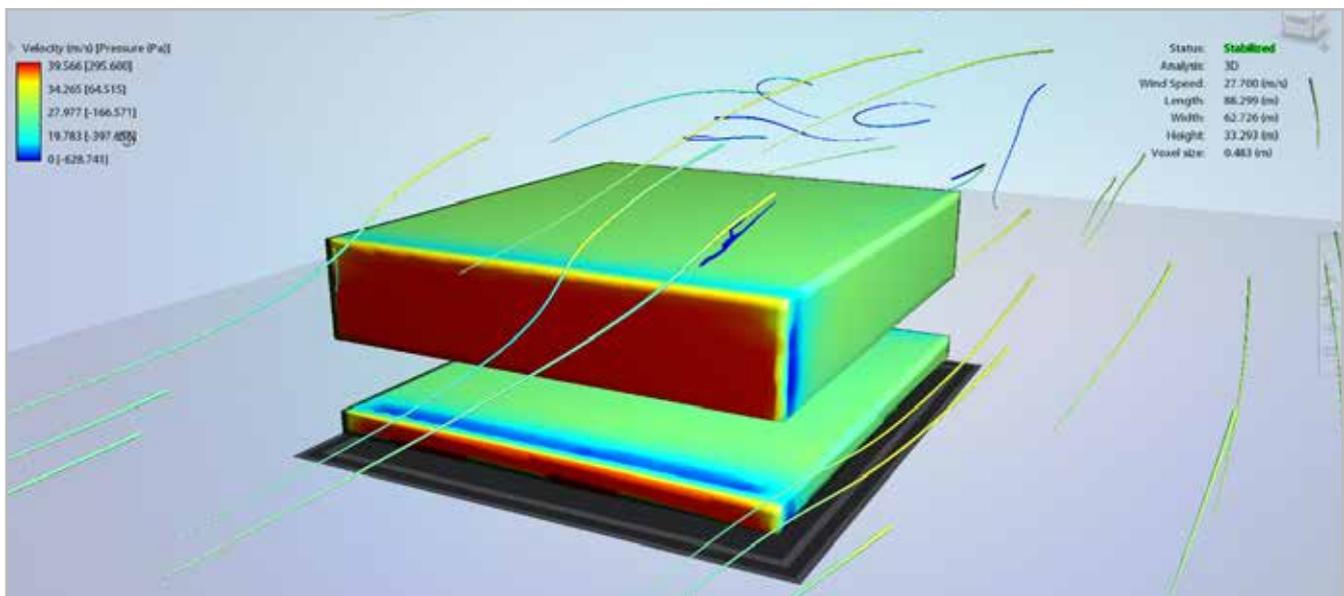


Figura 6.- Ejemplo de resultados gráficos obtenidos del Análisis de Acción del Viento.

Tipo	Velocidad inicial (km/h)	Velocidad final (km/h)	Succión Media en cubierta (kg/m ²)	Presión Media en paramento (kg/m ²)
A1_Cubierta plana Altura = 3,0 m	92,37	160,02	- 40,00	31,60
B1_Cubierta plana Altura > 6,0 m Mitad inferior abierta / Mitad superior cerrada	124,16	71,17	- 25,00	29,50
B2_Cubierta plana Altura > 6,0 m Mitad inferior cerrada / Mitad superior abierta	124,88	72,07	- 25,00	50,00
A4_Cubierta a dos aguas Altura > 4,0 m	140,83	81,29	- 45,00	33,00
A5_Cubierta curva Altura > 4,0 m	130,60	75,38	- 50,00	34,00

Tabla 4.- Resultados numéricos de la Acción del Viento de los modelos tipo seleccionados.

Conclusiones

Tras el desarrollo de la metodología propuesta y el análisis de los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

- Se ha desarrollado una clasificación de coberturas de yacimientos arqueológicos a ras de suelo a modo de base datos, donde se muestra la diversidad geométrica y material de soluciones empleadas. La mayoría de los casos son soluciones únicas sin posibilidad de adaptación ni ampliación, ideadas únicamente como protección de sombra y con distinto grado en el control y canalización de las aguas pluviales hacia el exterior del yacimiento.

- La combinación de esta información con la base de datos gráfica, tanto de la solución real como del análisis esquemático de su comportamiento frente a acciones ambientales, posibilita la síntesis de los modelos y su clasificación tipológica atendiendo a su capacidad de protección.

- El análisis mediante software de control ambiental en relación a la incidencia solar directa y la acción del viento pone de manifiesto que ninguna de las tipologías existentes hasta ahora es efectiva para una conservación adecuada de yacimientos arqueológicos a ras de suelo que sea compatible, además, con labores de excavación y/o musealización. Los modelos clasificados como abiertos (A) o semi-abiertos (B) ofrecen soluciones a problemas puntuales como sombra en las horas de mayor temperatura en climas cálidos o ventilación en lugares con mayor presencia de humedad, pero aumentan las posibilidades de erosión, fisuras, degradación, aparición de eflorescencias, manchas, crecimientos vegetales, etc., que requerirá de labores de conservación frecuentes y/o costosas. Los modelos clasificados como cerrados (C) no ofrecen aún un sistema de control adecuado de las condiciones del interior, mediante sistemas pasivos y activos, que hagan compatible la conservación con el uso

del yacimiento, bien para labores de excavación o para su musealización, donde entran en juego otros factores como el número de visitantes, los recorridos, la posibilidad de acercamiento a los bienes materiales, el tiempo de apertura del recinto o el bienestar de los usuarios.

Parámetros de correcto diseño. Futuras líneas de investigación

Esta investigación pone de manifiesto la necesidad de desarrollar coberturas cerradas de yacimientos arqueológicos tanto para su protección como su puesta en valor, que sigan los parámetros siguientes:

- Empleo de arquitectura ligera y de rápido montaje.
- Diseño con capacidad de adaptación a contextos diversos, reversibles, de mínimo impacto medioambiental.
- Control de la evacuación de aguas pluviales.
- Control de las condiciones interiores del espacio cubierto mediante procedimientos pasivos que no requieran energía y/o activos en los que ésta pueda obtenerse mediante fuentes renovables.

En futuras publicaciones se mostrarán los resultados obtenidos a partir del diseño, construcción y monitorización de coberturas que siguen los parámetros expuestos.

Referencias

- AGNEW, N., MAEKAWA, S., COFFMAN, R. et. al. (1996). "Evaluation of the performance of a lightweight modular site shelter: Quantitative meteorological data and protective indices for the 'hexashelter'". In *Conservation and Management of Archaeological Site*, 1(3): 139-150. <https://doi.org/10.1179/135050396793137026>.
- ASLAN, Z. (1997). "Protective Structures for the Conservation and

- Presentation of Archaeological Sites", *Journal of Conservation and Museum Studies*, 3: 16–20. <http://doi.org/10.5334/jcms.3974>.
- BAGLIONI, R., CACACE, C., VALPUESTA, S. "Design and Evaluation of a Methodology of Study and an Environmental Management of a Cultural Property". En *VI Congreso GEIIC. ¿Y después? Control y mantenimiento del Patrimonio Cultural, una opción sostenible*, Vitoria-Gasteiz: Grupo Español del IIC (International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works), 198-205.
- BARKER, P. (1986). "Temporary shelter and site protection". In *Preventive measures during excavation and site protection: conference*, Ghent, 6-8 November 1985: ICCROM, 45-49.
- BERTAUX, J.P., GOUTAL, M., MECHLING, J.M. et. al. (1998). "The Gallo-Roman sanctuary at Grand, France. II: The protection and development of the amphitheatre", *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 2 (4): 217-228.
- CABELLO BRIONES, C. (2017) "How to evaluate shelters for archaeological sites: some recommendations based on the use of exposure trials", *Ge-conservacion*, 11: 34-41. <https://doi.org/10.37558/gec.v11i0.442>.
- CABELLO BRIONES, C. (2018). "Descubrir para cubrir. ¿Son las cubiertas sobre yacimientos arqueológicos realmente beneficiosas?". En *VI Congreso GEIIC. ¿Y después? Control y mantenimiento del Patrimonio Cultural, una opción sostenible*, Vitoria-Gasteiz: Grupo Español del IIC, 384-389.
- CABELLO BRIONES, C., (2020) "Comparative Performance Evaluation of the Shelters at Complutum, a Roman Archaeological Site in Spain", *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 22 (1-2): 38-51. <https://doi.org/10.1080/13505033.2021.1893949>.
- CABELLO BRIONES, C. (2020) "The performance of shelters for the conservation of archaeological sites in dry and warm climates: the case of Complutum", *Ge-conservacion*, 17 (1): 193-201. <https://doi.org/10.37558/gec.v17i1.756>.
- CABELLO BRIONES, C., PRIETO, A.J., ORTIZ, P. (2021) "Determination of the technical suitability of shelters for archaeological sites using fuzzy logic", *Journal of Cultural Heritage*, 48: 211-226. <https://doi.org/10.37558/gec.v17i1.75610.1016/j.culher.2020.11.006>.
- CORTES, J. (1989). "Sistemas de cobertura de mosaicos conservados in situ". En *I coloquio nacional de conservacion de mosaicos*, Palencia: Diputación Provincial, Departamento de Cultura, 143-149.
- CURTEIS, T. (2018). The use of environmental survey and monitoring in the design and evaluation of archaeological shelters 40 Tobit Curteis. In *Protective Shelters for Archaeological Sites: proceedings of a symposium*, Herculaneum: British School at Rome, 40-49.
- DÍAZ, S. (2005). "La Conservación de los Yacimientos Arqueológicos In Situ". *Boletín Arkeolan*, 13: 110-130.
- GERMANÀ, M.L. (2013). "Archaeological construction and its relationship with place: the theme of shelters". In *Urban Archaeology Enhancement*. Pisa: ETS Pisa, 183-210.
- GILES, F., BOUZAS, A., PINTO, V. (2003). AA.VV. *Publicación del Taller de Conservación Preventiva en Excavaciones Arqueológicas in Situ*, Cádiz. Sevilla: Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras de Cádiz.
- GIACHENTTI, M. (1994). "Dei Mosaici e Aree Archeologiche: Problema di Competenze e non di Metodología". In *Fifth conference of the international committee for the conservation of mosaics*, Faro e Conimbriga: ICCM, 145-150.
- MARTIARENA, J. (1992). "Conservación y Restauración", *Cuadernos de Sección. Artes Plásticas y Documentales*, 10: 177-224.
- PANOSKALTIS, V., VANTA-VASILKI, K. (2019). "Shelters for Monuments: Contribution to Sustainable Management and Future Heritage Preservation". In *ASHRAE EinB2019*, Athens: Energy in Buildings.
- ORDÓÑEZ MARTÍN, M., GÓMEZ DE CÓZAR, J.C., (2020) "Coberturas sostenibles en excavaciones arqueológicas. Metodología de aplicación al caso de mosaicos en el Conjunto Arqueológico de Itálica, Santiponce, Sevilla", *Ge-Conservación* 17: 202-214. <https://doi.org/10.37558/gec.v17i1.757>.
- ROBY, T., DEMAS, M. (2012). *Mosaics in situ: an overview of the literature on conservation of mosaics in situ*. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- RODRÍGUEZ TEMIÑO, I. (2014). *Investigar, conservar, difundir. El Proyecto Guiraldas en el Conjunto Arqueológico de Carmona*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- SBROGIO, L., BASSO, A., BORIN, P. et. al. (2021). "Design Criteria and Procedures for Archaeological Shelters: Towards Flexibility Thanks To Algorithmic Modelling". In *12 th International Conference on Structural Analysis os Historical Constructions, Online event*: International Centre for Numerical Methods in Engineering, 1547-1558.
- SCHMIDT, H. (1988). *Schutzbauten*. Stuttgart: Konrad Theiss Verlag.
- SPOSITO, C., RUGGIERI TRICOLI, M. (2004). *I Siti Archeologici:dalla Definizione del Valore alla Protezione della Materia*. Palermo: Dario Flaccovio Editore.
- STANLEY PRICE, N. (1984). *La Conservación en Excavaciones Arqueológicas*. Roma: ICCROM.
- THEOULAKIS, P. (1993). "Microclimatic monitoring at the temple of Apollo Epikourios at Bassai, Greece". En *Conservation of Stone and Other Materials*, 2. London: E. and F.N. Spon, 808-813.

Autor/es**Manuel Ordóñez Martín**

maormarq@us.es

Universidad de Sevilla. E.T.S

<https://orcid.org/0000-0002-3068-0882>

Arquitecto en ejercicio libre de la profesión desde 2001, y Máster en Arquitectura y Patrimonio Histórico en 2012. Actualmente es Profesor Asociado de la Universidad de Sevilla, Profesor Máster en Proyecto de Instalaciones en Arquitectura (2011- 2021) en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1. Pertenece al Grupo de Investigación TEP 130. Doctorando con tesis en redacción: Análisis y Desarrollo de Coberturas Temporales Eficientes en Yacimientos Arqueológicos. Tiene varias publicaciones, se puede consultar su producción científica en: https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=7429

Artículo enviado 23/02/2022
Artículo aceptado el 07/11/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1097>

**Juan Carlos Gómez de Cózar**

gcozar@us.es

Universidad de Sevilla. E.T.S

<https://orcid.org/0000-0001-5480-5929>

Dr. Arquitecto. Profesor Titular de Universidad adscrito al Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1 en la E.T.S. Arquitectura de la Universidad de Sevilla. Director del Máster Universitario en Innovación en Arquitectura: Tecnología y Diseño (desde el curso 2009/10 hasta la actualidad). Pertenece al Grupo de Investigación TEP 130: Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Iluminación, Óptica y Energía. Autor de numerosas publicaciones, patentes y de una amplia trayectoria en transferencia basada en la producción de soluciones ligeras, de rápido montaje y sostenibles para la arquitectura.

Se puede consultar su producción científica completa en: https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=5478

**Rosa Mª Benítez Bodes**

onuris.arquitectura@gmail.com

Universidad de Sevilla. E.T.S

<https://orcid.org/0000-0001-5586-5122>

Doctorado en Arquitectura (Universidad de Sevilla). Máster en Arquitectura y Patrimonio (Universidad de Sevilla / IAPH). Técnico Termógrafo Nivel 1 (Infrared Training Center ITC). Tiene varias publicaciones, se puede consultar su producción científica en: www.linkedin.com/in/rosamariabenitezbodes

Metodología de tratamiento del soporte de la fuente escultórica de la plaza Weyler (Santa Cruz de Tenerife)

Juan Antonio Álvarez Rodríguez, Fernanda Guitián Garre, Antonio J. Sánchez-Fernández

Resumen: Este artículo muestra la metodología desarrollada en la intervención parcial de una de las veneras de la fuente escultórica de la plaza Weyler (Santa Cruz de Tenerife). Labrada en mármol de Carrara, la pieza presentaba una serie de grietas, fracturas y fisuras que ponía en riesgo su estabilidad estructural, facilitaban las filtraciones e impedían la funcionalidad de la fuente. Igualmente, existía una actuación anterior inadecuada que ponía en riesgo la conservación de la pieza. Así, los tratamientos se ajustaron a la complejidad de la localización y volumen de la venera y se eliminaron elementos introducidos en dichas intervenciones anteriores. Las soluciones que proponemos han tenido en cuenta la naturaleza urbana, pública y funcional del bien para garantizar su correcta conservación.

Palabras clave: Restauración, material pétreo, refuerzo estructural, fuente monumental

Methodology for the treatment of the support of the sculptural fountain in Weyler Square (Santa Cruz de Tenerife)

Abstract: This article shows the methodology developed in the partial intervention of one of the scallops of the sculptural fountain in Weyler Square (Santa Cruz de Tenerife). The piece, carved in Carrara marble, had a series of cracks, fractures and fissures that endangered its structural stability. The cracks also facilitated leaks and prevented the fountain from functioning properly. There had also been inadequate previous work which put the conservation of the piece at risk. Thus, the treatments were adjusted to the complexity of the location and volume of the fountain and these previous interventions were eliminated. The solutions we propose have taken into account the urban, public and functional nature of the asset in order to guarantee its proper conservation.

Keywords: Restoration, stone material, structural reinforcement, monumental fountain

Metodologia para o tratamento do suporte da fonte escultórica na Praça Weyler (Santa Cruz de Tenerife)

Resumo: Este artigo mostra a metodologia desenvolvida na intervenção parcial de uma das conchas da fonte escultórica na Praça Weyler (Santa Cruz de Tenerife). Esculpida em mármore de Carrara, a peça apresentava uma série de fendas, fracturas e fissuras que punham em perigo a sua estabilidade estrutural, facilitavam as filtrações e impediam a funcionalidade da fonte. Igualmente, existia uma ação anterior inadequada que punha em risco a conservação da peça. Assim, os tratamentos foram ajustados à complexidade da localização e volume da fonte e os elementos introduzidos nestas intervenções anteriores foram eliminados. As soluções que propomos tiveram em conta a natureza urbana, pública e funcional da peça, a fim de garantir a sua correcta conservação.

Palavras-chave: Restauo, material de pedra, reforço estrutural, fonte monumental

Introducción

El presente artículo trata de exponer una metodología de trabajo de reconstrucción de material pétreo. Usualmente, estas operaciones suelen tener dificultades técnicas, por su volumen y/o por complejidades, para decidir los criterios de intervención y materiales de reconstrucción. En este sentido, presentamos los resultados de un proceso de actuación y los procedimientos para llevar a cabo la restauración.

El caso de estudio corresponde a la fuente escultórica ubicada en la plaza Weyler de Santa Cruz de Tenerife (Islas Canarias, España) y fabricada en mármol blanco de Carrara.

Desde el punto de vista de su conservación, la exposición pública al exterior es determinante para comprender los agentes de deterioro y alteración. En este caso, el principal agente era de naturaleza antrópica. También, la evidente funcionalidad del bien, hidráulica y estética induce a reparaciones con procedimientos inadecuados. En este sentido la fuente presentaba una actuación sin criterio profesional en materia de conservación-restauración. Por otro lado, la



Figura 1.- Vista general de la fuente

intervención de reconstrucción se englobó dentro de un proyecto de intervención que contemplaba otras operaciones como la limpieza de concreciones o el tratamiento de colonización biológica. La fuente de la plaza Weyler data de finales del siglo XIX y es obra del artista genovés Achille Canessa (1856-1905) (García Pulido 2012 a y b). El profesor Tomás Oropesa (Oropesa 1999: 71) la describe como un conjunto escultórico neorrenacentista, con taza ochavada, cuyas caras tienen una ornamentación de relieves acanalados y ovas en su parte superior. El pedestal central tiene base cruciforme escalonada que termina con una cornisa moldurada. Los vértices de este cuerpo se decoran con aletones verticales, sustentados por cuatro veneras que reciben el agua de los cuatro delfines localizados en las esquinas. Sobre cada uno de los delfines se encuentra un amorcillo. Este cuerpo se completa con cuatro mascarones a cada lado, por donde sale el agua hacia la taza. El conjunto está coronado con un cuerpo tronco piramidal de caras cóncavas. Cada una de estas está decorada con unas conchas en relieve. Se corona con un último grupo escultórico formado por otros dos amorcillos sobre un delfín, uno de pie y otro arrodillado, que lidian con una guirnalda de flores.

El entorno está declarado Bien de Interés Cultural (al ser incluido en la delimitación del Conjunto Histórico de Barrio de Los Hoteles-Pino de Oro: expediente sobre la modificación de la delimitación del Bien de Interés Cultural incoado según BOC nº 4, de 8 de enero de 2021) por lo que el espacio de la plaza pública está protegido con la máxima figura que contempla la Ley española y la ley autonómica en materia de Patrimonio.

La actuación en la venera de la fuente se articuló en torno al conocimiento del sistema constructivo, la eliminación de los elementos dañinos no originales y una reintegración volumétrica que garantizara la estabilidad estructural, la unidad formal y la funcionalidad del monumento público.

Estado de Conservación y datos técnicos de la venera

Se ha realizado un muestreo para la caracterización del material pétreo constituyente. Así, macroscópicamente corresponde con una roca de aspecto cristalino y tonos blanquecinos, homogénea, compacta y coherente, donde en corte fresco como en corte de sierra, se llegan a apreciar cristales micrométricos de calcita [Figura 2].

De acuerdo con su textura y su composición, esta roca metamórfica se puede clasificar como un mármol y, atendiendo a sus principales características petrográficas, deducimos que corresponde con un mármol de Carrara. Para la caracterización del material constituyente, se ha utilizado la microscopía estereoscópica, óptica de polarización y electrónica de barrido (SEM+EDX). El análisis fue realizado por GEA, Asesoría Geológica.

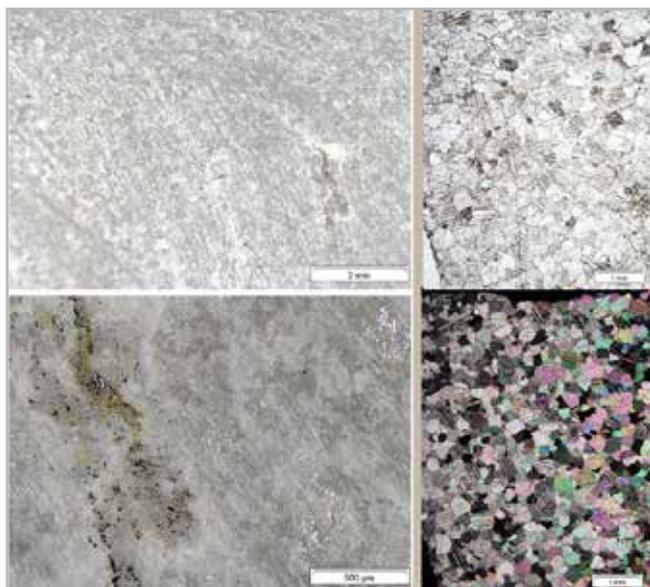


Figura 2.- Izquierda, aspecto en detalle, a distintos aumentos de la superficie de corte de sierra. Se llegan a observar de manera individualizada escasos cristales de la calcita y, en determinadas zonas, se detectan escasos moteados micrométricos de cristales de tonalidad negruzca y parda en menor medida. Derecha, aspecto general de la textura granoblástica del mármol observada al microscopio óptico de polarización. Derecha arriba: microfotografías tomadas a 25 aumentos bajo nicoles paralelos (arriba) y nicoles cruzados (abajo).

La intervención se centró en la vena suroeste. Es un elemento estructural, horizontal y voladizo que presentaba un estado de conservación deficiente. Se observó un problema de estabilidad estructural que condicionaba la estática y que se traducía en grietas y desplomes. Existía una intervención anterior inadecuada, sin registro documental, que consistía en una abrazadera de hierro poligonal e irregular adherida con masilla sintética y que trataba de coser la fractura de la vena, producto de un accidente fortuito. Con dicha masilla, también se reconstruyeron

algunas pérdidas volumétricas [Figura 3]. La degradación y alteración de estos materiales provocaron filtraciones, impidiendo la estanqueidad funcional de la vena, la distorsión estética de la unidad del bien y comprometía la estabilidad estructural de la pieza. Igualmente, presentaba pérdidas volumétricas en los bordes perimetrales.

Proceso de intervención

—Criterios de intervención

La intervención propuesta se alinea con la Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español (LPHE) y la Ley 11/2019, de 25 de abril, de Patrimonio Cultural de Canarias (LPCC). En este sentido, el Artículo 74 de la LPCC hace referencia a la reintegración de elementos perdidos. Así, en este caso, los materiales añadidos son reconocibles al tener un bajo tono para evitar las confusiones miméticas. Igualmente, se documentó gráfica y fotográficamente. Así, la intervención de reconstrucción no afectó a los valores patrimoniales del Bien de Interés Cultural. Asimismo, se utilizaron materiales sintéticos para la mejor adaptación del bien a su uso (art. 74.3 LPCC). Las varillas de fibra de vidrio y la resina epoxi ofrecían un comportamiento adecuado de resistencia necesaria. Por último, la intervención anterior [ver Figura 3 y 4] no correspondía a criterios profesionales en conservación y restauración. Estos añadidos favorecían la alteración del bien y su eliminación permitió una mejor interpretación de éste.

Igualmente, se procedió siguiendo los criterios de intervención en materiales pétreos, publicado por el Ministerio de Educación y Deporte. Así, según este marco conceptual (Laborde *et al.* 2013, p. 63), se respetaron los valores materiales e inmateriales aplicando criterios de intervención de discernibilidad, buscando la unidad potencial y respetando la pátina noble que el tiempo imprime en estos materiales (Brandi 2005: 49-51). De la misma forma, otro de los

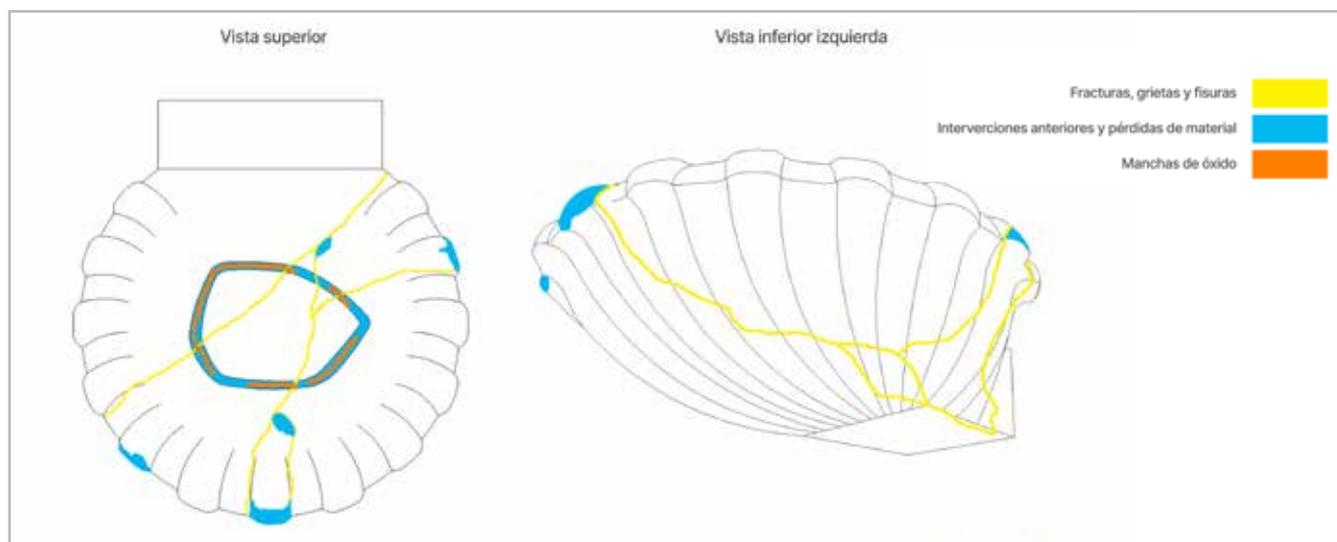


Figura 3.- Cartografía de daños. Cuadro patológico



Figura 4.- Detalles de las intervenciones anteriores

objetivos fue la salvaguarda de los usos y significados. Con los trabajos de restauración se devolvió la estabilidad estructural y formal, recuperando así la funcionalidad al bien.

En líneas generales, la intervención tuvo en cuenta la naturaleza urbana, pública y funcional del bien, se actuó desde el conocimiento antes de la actuación, con la mínima intervención necesaria, discreción, seguridad, estabilidad, durabilidad y con el máximo respeto por el material original. Toda la intervención se registró de forma pormenorizada con gráficos y fotografías.

—Trabajos previos

Antes de abordar la intervención en la vena se observó detalladamente para comprender la ejecución constructiva del elemento y su ensamblaje en el conjunto de la fuente. Asimismo, se necesitó construir un andamiaje que diera acceso a la pieza a intervenir y que también permitiera un espacio amplio para poder establecer dos zonas: la de trabajo y la de herramientas. La propia plataforma que

estableció la zona de trabajo nos facilitó el apuntalamiento y sostén para permitir el reposo de los fragmentos resultantes del despiece de la vena. La fuente se valló perimetralmente para acotar un área de trabajo segura en la vía pública.

— Despiece de los fragmentos resultantes de la rotura

En la inspección visual se pudo observar que la vena se presentaba arquitrabada, soportando su propio peso mediante superposición de cargas. Las roturas se mantenían hacia la parte voladiza de la pieza, dejando el vástago o la parte incrustada sin daños estructurales, esto nos permitió fijar y sustentar los fragmentos con seguridad.

Con el objeto de desarrollar una estrategia de actuación para el despiece de la vena se analizó la intervención anterior. Ésta consistió en estabilizar su funcionalidad y consistencia mediante la incrustación circular, con pasta adhesiva epoxídica, de una abrazadera de hierro que engarzaba el conjunto de piezas.



Figura 5.- Izquierda, esquema de disposición de cargas. Derecha, disposición de la abrazadera de hierro

También se pudieron observar empastes de masilla sintética utilizada en las reconstrucciones volumétricas y que conformaban películas superficiales en los contornos de las grietas y fisuras.

No tenemos datos sobre cuándo y quién realizó esta intervención. No obstante, esta actuación no resolvió el problema principal de sustentación de la venera.

—*Desmontaje de la venera*

Para el desmontaje de la venera se necesitó realizar una estructura con piezas de madera de formas ascendente-circular entre la plataforma y la parte inferior de la pieza a intervenir. Esto facilitó el sostén del conjunto y al mismo tiempo permitió presionar, mediante cuñas de madera alternadas, los vanos de unión de las fisuras y comprobar que no existieran pernos entre las uniones de las piezas. Una vez asegurado el sostén de la pieza, se extrajo la abrazadera de hierro eliminando progresivamente el adhesivo de relleno. El siguiente paso fue presionar los vanos de las fisuras de unión, consiguiendo el desprendimiento y despiece de los fragmentos sin roturas adicionales ni pérdida



Figura 6.- Detalle del calzado de la venera para disposición de otros tratamientos.



Figura 7.- Proceso de despiece de la venera.

de material original, esto permitió acceder sin dificultad a la limpieza de toda la superficie de unión, facilitando el ajuste correcto del ensamblado.

—*Limpieza mecánica y eliminación de elementos añadidos*

Se realizó una limpieza mecánica de todos los elementos extraños a la obra (adhesivos en juntas y añadidos o reintegraciones volumétricas realizados en masilla sintética) mediante herramientas de precisión (bisturís, escalpelos, etc.).



Figura 8.- Limpieza mecánica de reposiciones anteriores defectuosas.

—Cosidos, anclajes y pegados de fragmentos

Se colocaron pernos corrugados de fibra de vidrio como refuerzos mecánicos, a partir de barras de sección circular compuestas por resina poliéster y fibra de vidrio (peso específico: 1,9 g/cm³; módulo elástico a tracción: 35000 Mpa; resistencia a tracción: 900 Mpa; módulo elástico a flexión: 32000 Mpa; resistencia a la flexión: 900 Mpa) distribuida por CTS España, S.L. (CTS, s.f.).

Se introdujeron en dos posiciones y tamaños distintos para aumentar la estabilidad de la unión. De esta forma, los pernos de 8 mm de diámetro cumplían la función de guiar y fijar correctamente las juntas. Se dispusieron centrados en el plano transversal de las piezas a unir, introduciéndose 7 cm en cada una de las partes. Por otro lado, los pernos de 3 mm de diámetro se colocaron en la parte superior e inferior de la vena. Éstos se utilizaron como refuerzos colocados de forma

intercalada entre los pernos de 8 mm y con una inclinación de 45° a la superficie [Figura 9], alcanzando los 6 cm de profundidad y atravesando ambas piezas.

Antes de fijar definitivamente los fragmentos, se realizó un montaje previo "en seco", sin adhesivo, comprobando el orden de ensamblado y referenciando las uniones que iban a ocupar los pernos.

A continuación, se procedió al despiece y taladrado de los orificios. Los diámetros de los orificios se realizaron con 2 mm de holgura para ambos pernos (este espacio libre está destinado al adhesivo-resina epoxi).

Se volvió a montar el conjunto de piezas con los pernos, comprobando que los ajustes entre piezas fueran correctos. Finalmente, esta comprobación previa facilitó la adhesión definitiva con resina epoxi EPO 150® (producto epoxídico

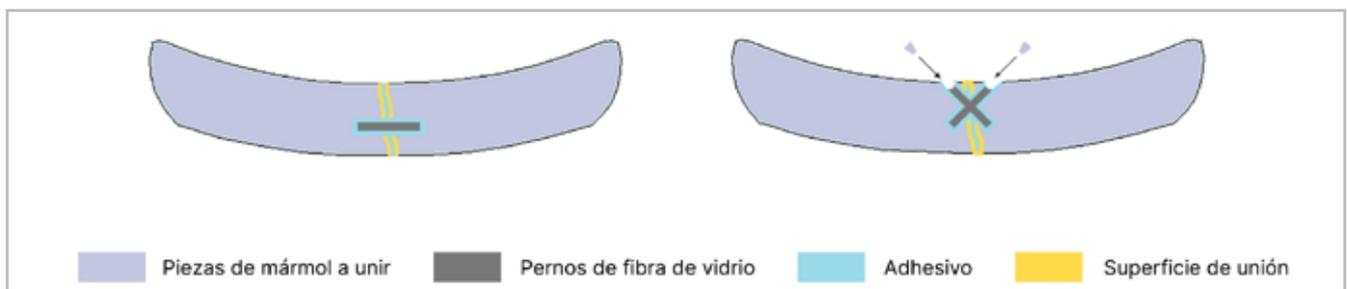


Figura 9.- Esquema de disposición de pernos.



Figura 10.- Proceso de montaje.

fluido, reticulable en frío por medio de un endurecedor a partir de de aminas cicloalifáticas, distribuida por CTS España, S.L.) (CTS, s.f. b). Para esta operación se utilizaron cinchas de nylon con presión controlada y se calzó hasta su polimerización. Stefano Pasolini (2012: 25) presenta la restauración de una de las esculturas de mármol de la Vasca dell'Isola en los Jardines de Boboli: Perseo. En este caso, también se ha utilizado esta resina epoxídica para la consolidación estructural del bien labrado en mármol y expuesto a un contexto similar.

El uso de un sistema mixto de pegado y con varillas de fibra de vidrio es una metodología aceptada (Mas i Barberà y Duréndez Hernández, 2011: 122) para resistir esfuerzos a compresión y a la flexión (en menor medida). Igualmente, las variables de diámetro y profundidad de las espigas de refuerzo deben tener en cuenta el tamaño y peso de las partes a unir, el estado de conservación del soporte y las fuerzas de tensión a soportar.

El volumen que ocupaba la abrazadera y la masilla adhesiva se reintegró con piezas de mármol (Carrara, tipo Statuario) ajustando su forma a la pérdida y sirviendo también de amarre superior entre piezas fragmentadas.

—Reintegraciones volumétricas

Las reintegraciones se realizaron con mármol tipo Statuario de Carrara, de las mismas características mecánicas que el original, para evitar tensiones provocadas por un comportamiento distinto al constituyente original.

La venera presentaba varias lagunas en su perímetro exterior que se reintegraron volumétricamente con injertos de este material pétreo. El proceso de reintegración se inició con la preparación de las juntas. Se realizó la mínima intervención necesaria para resanar el material original y obtener aristas y planos rectos que nos permitiera una óptima superficie de unión. A continuación, se fabricaron plantillas de cartón que se utilizaron como referencias para la elaboración de las piezas de mármol a injertar.

Las prótesis obtenidas en mármol se ajustaron milimétricamente a las juntas resanadas, de forma que el sellado fuese compacto, evitando así la posibilidad de contaminación de partículas atmosféricas y la penetración del agua. Una vez comprobado el correcto ajuste entre piezas, se procedió al montaje y fijado de los injertos.

Por último, con una escofina de diente grueso se realizó un desbaste general de las piezas injertadas, respetando formalmente la continuidad general del conjunto. Para el repasado y la unificación de las superficies se utilizó una escofina de diente fino y se pulió el acabado superficial de los injertos para igualar su textura con el original.

— Tratamiento de fisuras

Con el ajuste y sellado de las piezas fracturadas aparecen líneas de unión del ensamblado. Para reintegrarlas, se utilizó una mezcla de resina epoxi EPO 150®, polvo de mármol y pigmentos (blanco de titanio, ocre y tierra sombra tostada).



Figura 11.- Tratamiento de los injertos.



Figura 12.- Tratamiento de los injertos.

Se sellaron con una aplicación en exceso con el objetivo de conseguir la máxima penetración del producto, retirando el sobrante para su nivelado y evitando depósitos superficiales. En este sentido, el acabado final debe asemejarse a las características de color, brillo y textura al de la piedra original (Villegas y Sebastián, 2003: 190). Esta operación impedirá la penetración de agua para permitir el correcto funcionamiento de la fuente.



Figura 13.- Estado final de la pieza tras la intervención.

Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento se plantea como un programa de actuaciones que debe ser ejecutado de forma regular y constante. Proponemos el control periódico mediante análisis de aguas, su nivel de pH y concentración de sales solubles, para poder detectar anomalías como turbidez o coloración, suciedad, olor, etc.

Igualmente, se recomienda la inspección visual del estado de conservación del mármol y de los sistemas hidráulicos, revisando el funcionamiento general de la fuente para evitar la obstrucción de surtidores y desagües.

Por último, se recomienda el seguimiento periódico de los tratamientos realizados del soporte comprobando la cohesión de las fisuras y reintegraciones volumétricas.

Conclusiones

Esta intervención se realizó en septiembre de 2019. En 2022, se ha realizado una inspección organoléptica para comprobar la eficacia y durabilidad de las soluciones tomadas. Se ha observado la estanqueidad al agua y la estabilidad estructural de la vena cumpliendo con su integridad y función (recibe el agua de los surtidores superiores). Igualmente, el uso de injertos y polvo de mármol de Carrara (como carga en el adhesivo) han permitido que la consolidación se haya integrado estéticamente con el material original sin distorsiones notables.

Referencias

BRANDI, C. (2005). *Theory of restoration*, trans. Cynthia Rockwell. Firenze: Nardini.

CTS (s. f.). *Barras de fibra de vidrio corrugada*. <https://shop-espana.ctseurope.com/142-barras-de-fibra-de-vidrio-corrugadas>. [consulta: 29/10/2022].

CTS (s. f. b). EPO 150 (*producto bicomponente*) <https://shop-espana.ctseurope.com/82-epo-150-producto-bicomponente>. [consulta: 29/10/2022].

GARCÍA PULIDO, DANIEL (2012a). "Rasgos inusuales de un espacio emblemático de Santa Cruz de Tenerife: Introducción la fuente de la plaza de Weyler (I)". *La Prensa. Revista semanal de El Día*. Sábado, 7 de julio de 2012.

GARCÍA PULIDO, DANIEL (2012b). "Rasgos inusuales de un espacio emblemático de Santa Cruz de Tenerife: Introducción la fuente de la plaza de Weyler (II)". *La Prensa. Revista semanal de El Día*. Sábado, 14 de julio de 2012.

LABORDE MARQUEZE, A. (coord.) (2013). *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

MAS I BARBERÀ, X., y DURÉNDEZ HERNÁNDEZ, M. (2011). "La restauración en situaciones límite de pérdida estructural. La imponente pila bautismal renacentista de la Iglesia de Santa María de Ontinyent (Valencia)". *Ge-Conservacion*, 2: 113-128. <https://doi.org/10.37558/gec.v2i2.453>.

OROPESA HERNÁNDEZ, T. (1999). *La escultura pública en Canarias*. Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna.

PASOLINI, S. (2012). "Il restauro del Perseo della Vasca dell'Isola del Giardino di Boboli". *Kermes*. 88, pp. 21-30.

VILLEGAS SÁNCHEZ, R. y SEBASTIÁN PARDO, E. M. (coords.) (2003). *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos*. Sevilla: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

Autor/es

Juan A. Álvarez Rodríguez
jalvarer@ull.edu.es
Departamento de Bellas Artes (ULL).
<https://orcid.org/0000-0003-3737-5941>

Profesor Ayudante Docor (CLI) en el Departamento de Bellas Artes (ULL). Doctor por la Universidad de La Laguna, en la especialidad de Escultura. Experto en piedras volcánicas: creación y restauración por la Universidad de La Laguna. Premio Tenerife al Fomento y la Investigación de la Artesanía de España y América 2017 Cabildo de Tenerife. Sus líneas de investigación se centran, por un lado, en los aspectos conceptuales, criterios y aspectos históricos en torno a la Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural, y por otro, en la creación artística personal. Como investigador está vinculado al G.I. Conservación y Restauración de la ULL. Sus últimas publicaciones son: "El oficio de la piedra y su conservación y restauración" ISBN-978-84-09-18862-8. Edita: Cabildo Insular de Tenerife y Ayuntamiento de La Orotava (2020); "Las Portadas de piedra del Casco Histórico de La Orotava, diseño, estructura, ornamentación, conservación y puesta en valor". Premio Tenerife al Fomento y la Investigación de la Artesanía de España y América 2017. ISBN 978-09-22581-1. Edita: Cabildo Insular de Tenerife (2020); "Escultura Ornamental. Conjunto Histórico de La Orotava (Dibujos Científicos)" ISBN: 978-84-09-13332-1. Edita: Sociedad Cultural Liceo Taoro (2019).



Fernanda Guitián Garre
fguitian@ull.edu.es
Departamento de Bellas Artes (ULL).
<https://orcid.org/0000-0003-2705-8133>

Es Doctora en Bellas Artes, Profesora Contratada Doctora de la Universidad de La Laguna-Departamento de Bellas Artes. Ha dirigido la empresa de Restauración de Obras de Arte, Cúrcuma, SL. Además de la preparación propia de la licenciatura en Bellas Artes-Especialidad Restauración, ha realizado la siguiente formación específica: Ha trabajado para Patrimonio Nacional desde el año 1988 en obras de José Ribera, Lucas Jordán, Antonio Rafael Mengs, Corrado Giaquinto, Pellegrino Tibaldi, G. Bilbao, Ferrant, El Greco, etc. en distintos puntos de la península como, en el Real Monasterio de Tordesillas, Palacio de la Almudaina en Palma de Mallorca, Palacio Real de Madrid, Monasterio del Escorial, Palacio de El Pardo, etc. En 1991/92 le es concedida la beca a la Academia Española de Bellas Artes en Roma donde realizará la especialización en restauración de material lapídeo en el prestigioso centro de restauración: Instituto Centrale di Restauro (ICR) de Roma y trabajará con el ICROOM en las pinturas murales de Nicolo Circignani Il Pomarancio, (s. XVI). Trabaja desde el 2005 en obras de Oscar Domínguez pertenecientes a la colección de TEA. Desde el 2013 es Académica de Número de la Real Academia Canaria de Bellas Artes de San Miguel Arcángel (RACBA).



Antonio J. Sánchez Fernández
asanchez@ull.edu.es
Departamento de Bellas Artes (ULL).
<https://orcid.org/0000-0001-7134-1978>

Profesor Ayudante Doctor en el Departamento de Bellas Artes (ULL). Doctor por la Universidad de Sevilla donde también se licenció en Bellas Artes (especialidad en Conservación-Restauración de Bienes Culturales). Ha realizado intervenciones en distintas tipologías de bienes, muebles e inmuebles, con ejemplos en el ámbito arqueológico (Acinipo, Málaga) o en intervenciones globales (Capilla del Carmen, Cádiz). Ha participado en equipos profesionales para el estudio del Teatro Romano y las bóvedas de la Catedral de Málaga o los Baños de Dña. María de Padilla (Real Alcázar de Sevilla). Su desarrollo como investigador y profesional también ha estado vinculado al Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH), participando en el Proyecto Santo Cristo de la Salud (Málaga) y en la restauración de las esculturas del trono-baldaquino de la Virgen de la Victoria (Málaga). Ha publicado en revistas científicas, nacionales e internacionales, y sus líneas de investigación giran en torno a los métodos, criterios y sociología de la Restauración.

Artículo enviado 20/05/2022
Artículo aceptado el 13/11/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1128>

El Maestro de Robredo y Jorge Inglés: analogías formales y técnicas

Sonia Santos Gómez, Semih T. Tunca

Resumen: El trabajo que se presenta muestra cómo el estudio del dibujo subyacente en las obras pictóricas permite apuntar hacia posibles colaboraciones e influencias entre pintores al mostrar su particular grafía. Las siguientes líneas ponen de manifiesto la conexión formal en pintura y dibujo entre ciertas obras atribuidas a Jorge Inglés, como el *Retablo de la Virgen de Villasandino* (Burgos) y el de *San Jerónimo*, del Museo Nacional de Escultura, con respecto a otras del Maestro de Robredo, especialmente con la denominada *Juicio de san Pedro*. Para ello, se ha realizado un estudio estilístico y una investigación sobre el dibujo subyacente de las mismas. Todo ello muestra el muy probable contacto directo entre estos autores en un mismo taller y plantea diversas cuestiones, como qué partes de las obras corresponderían a cada uno de ellos o a otros miembros del taller o incluso si ambos pintores podrían llegar a identificarse como uno solo.

Palabras clave: Jorge Inglés, Maestro de Robredo, dibujo subyacente, pintura sobre tabla del siglo XV, pintura gótica española

The Master of Robredo and Jorge Inglés: formal and technical analogies

Abstract: The work presented here shows how the study of the underdrawing in pictorial works allows to point towards possible collaborations and influences between painters by showing their particular way to draw. The following lines reveal the formal connection in painting and drawing between certain works attributed to Jorge Inglés, the *Altarpiece of the Virgin of Villasandino* (Burgos) and that of *San Jerónimo* placed in the National Museum of Sculpture, with respect to others made by the Master of Robredo, especially with the so-called *The judgement of Saint Peter*. For this, have been carried out the study of the underdrawing and the stylistic study of these works. All this highlights the very probable direct contact between these authors in the same workshop and raises various questions, such as which parts of the works would correspond to each one of them or to other members of the workshop or even if both painters could be identified as only one.

Keywords: Jorge Inglés, Maestro de Robredo, underdrawing, XVth century panel painting, gothic Spanish painting

O Mestre de Robredo e Jorge Inglés: analogias formais e técnicas

Resumo: O trabalho aqui apresentado mostra como o estudo do desenho subjacente em obras pictóricas nos permite apontar possíveis colaborações e influências entre pintores, ao mostrar a sua grafia particular. As linhas seguintes destacam a ligação formal na pintura e no desenho entre certas obras atribuídas a Jorge Inglés, tais como o Altar da Virgem de Villasandino (Burgos) e o de São Jerónimo no Museu Nacional de Escultura, e outras do Mestre de Robredo, especialmente a que se chama São Pedro antes de Nero. Para este fim, foi realizado um estudo estilístico e uma investigação sobre o desenho subjacente. Mostra o muito provável contacto directo entre estes autores, no mesmo atelier, e levanta várias questões, tais como que partes das obras correspondem a cada um deles ou a outros membros do atelier, ou mesmo se os dois pintores poderiam ser identificados como um só.

Palavras-chave: Jorge Inglés, Maestro de Robredo, desenho subjacente, pintura sobre madeira do século XV, pintura gótica espanhola

Introducción. Objetivos

Desde hace algunas décadas, la documentación que aportan los métodos científicos de examen y diagnóstico de bienes culturales contribuye a configurar o reforzar hipótesis sobre relaciones entre obras y artífices y a plantear momentos de ejecución, mediante el empleo de equipamiento más o menos sofisticado.

El trabajo que aquí se presenta parte de la investigación realizada sobre una obra del siglo XV, pintura sobre tabla que forma parte de la Colección del Patrimonio Histórico-Artístico de la Universidad Complutense de Madrid y denominada por Chandler Rathfon Post *Trial of St. Peter* en su *A history of Spanish painting* (Post 1933: 276) y por Pilar Silva Maroto como *Detención de San Pedro* en su *Pintura Hispanoflamenca Castellana: Burgos y Palencia* (1990: 237-238). En el Inventario de la UCM (Briales 1996) aparece, sencillamente, como *Juicio a un santo* y sin apenas más datos^[1]. Si nos atenemos a la iconografía de la escena representada y por comparación con otras similares, la pintura podría ser denominada *Juicio de San Pedro* (traducción literal del título de +Post) o quizás también *San Pedro ante Nerón*, y está atribuida en nuestros días al Maestro de Robredo. Figura incluida entre aquellas que recoge el *Catálogo General del VII Centenario de la Catedral de Burgos*, publicado en 1926 tras la exposición de 1921. En él se indica:

“1232: Tabla de un primitivo castellano con influencia de Gallego, 1.70x1.20. Representa a San Pedro conducido prisionero ante el juez romano. – Parr. De Robledo Zamanzas” (Catálogo 1921: 29; Silva 1990: 240).

Post también había avanzado en su obra *A history of Spanish painting* que esta pintura procedía de Robredo de Zamanzas (Burgos) y su autor sería un seguidor de otro pintor de la escuela burgalesa, el llamado Maestro de San Nicolás. La pintura permanecería en esos momentos en el Museo Diocesano de la Catedral de Burgos (1933: vol. IV, part I, 277) [Figura 1].



Figura 1.- A la izquierda, fotografía de *Juicio de san Pedro* (Post 1933: 277). A la derecha, fotografía actual de la obra. © Autoría propia.

Pilar Silva indicará después en su obra *Pintura hispanoflamenca castellana: Burgos y Palencia. Obras en tabla y sarga. I.* (1990) que estaría en paradero desconocido:

“Se llevó a Burgos en 1921 para su exhibición en la exposición del Centenario de la Catedral, quedándose allí desde entonces con destino a los fondos del Museo Diocesano, entre los que no hemos podido localizarla, habiendo sido infructuosos cuantos esfuerzos hemos hecho para encontrar alguna noticia sobre ella.” (Silva 1990: 240).

El motivo por el que llegaría a la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid está siendo estudiado en la actualidad y probablemente tenga relación con la vinculación de esta institución con la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando^[2].

El punto de partida de esta investigación es, por tanto, esta obra del Maestro de Robredo, sobre la cual se ha podido realizar un estudio estilístico y formal y una investigación sobre su dibujo subyacente. Los resultados obtenidos han sido comparados con los que la bibliografía existente asigna a la obra de Jorge Inglés, quien sería hasta el momento el primer pintor documentado claramente influenciado por el estilo flamenco y centroeuropeo en el siglo XV en Castilla. Como se verá a continuación, se han hallado numerosos elementos que muestran la estrecha conexión entre la obra de ambos maestros.

Metodología

Para llevar a cabo esta investigación, se ha realizado un detallado examen visual de la obra *Juicio de San Pedro* y el estudio del dibujo subyacente de la misma y de otras dos atribuidas tradicionalmente a Jorge Inglés: el *Retablo de San Jerónimo*, procedente del monasterio jerónimo de Nuestra Señora de la Mejorada de Olmedo y que exhibe el Museo Nacional de Escultura de Valladolid, y el *Retablo de la Virgen* de la iglesia de Nuestra Señora de la Asunción en Villasandino (Burgos).

En este estudio del dibujo se ha empleado un equipamiento que ha permitido mostrar numerosas características esenciales de la grafía y materiales empleados en la realización de los dibujos: dos focos halógenos con lámparas de 400W, una cámara fotográfica modificada modelo Canon EOS 4000D con un filtro de 850nm, y un pequeño equipo denominado Equipo de Reflectografía infrarroja Mod. Mir 10 Nnew (Herrero-Cortell *et al* 2021)^[3], que presenta un sensor tipo CMOS con un filtro a 1000 nm. En los últimos años se han diseñado equipos eficaces y asequibles que funcionan con longitudes de onda de 750-1000 nm (Cosentino 2016:1-6).

Resultados obtenidos

En primer lugar, se hace necesario contextualizar desde el punto de vista histórico-artístico la obra de ambos autores,

el Maestro de Robredo y Jorge Inglés, y aportar ciertos datos relativos a algunos aspectos formales destacables en sus obras.

— *El Maestro de Robredo y Jorge Inglés: su época, sus obras*

En el siglo XV, la ciudad de Burgos se hallaba en plena ebullición laboral y comercial. La Liga Comercial de la ciudad traficaba en Burdeos, Nantes, Bretaña francesa, Ruán, Dieppe, Inglaterra y Brujas (Serrano 1943: 15-19). Todo esto se traducirá también en una incesante actividad artística que pondrá en conexión artífices, modelos y formas de trabajar. En palabras de Pilar Silva en su magna obra *Pintura hispanoflamenca Castellana: Burgos y Palencia*, ya citada:

[...] se ha podido comprobar el amplio número de pintores que trabajaron en Burgos en todo el siglo XV y los comienzos del XVI [...], que confirman a aquella ciudad como el núcleo pictórico más importante de la zona norte de Castilla [...]. (Silva 1990, vol. I: 11).

En este contexto socioeconómico sería ejecutada la obra del Maestro de Robredo *Juicio de san Pedro*. Son Chandler Rathfon Post y Pilar Silva Maroto quienes aportan un mayor número de datos sobre las obras atribuidas a su mano. Post otorgará primeramente este nombre al pintor en sus distintas publicaciones:

[...] he podido llegar a la conclusión de ser correcta la idea que expuse en mi volumen IV, es decir, que la tabla central y la predela del retablo en la colección de Sota en Bilbao, fueron ejecutados por el sucesor del Maestro de San Nicolás, que fue quien pintó el Juicio de San Pedro que estuvo en Robredo de Zamanzas, y se halla ahora en el Museo Diocesano en la Catedral de Burgos. Este artista de Robredo, fue, indudablemente, también el autor de una pequeña tabla recientemente adquirida por el Museo del Prado en Madrid, que es parte de una representación de la fiesta dada por Simón para Nuestro Señor, o de un banquete similar, en la casa Leví. (Ojeda 1948: 273-275).

La tabla central del retablo de la Colección La Sota aludida es, de acuerdo a las fotografías que el mismo Post aporta, *San Pedro Entronizado entre San Andrés y San Pablo* y, la predela, es la de la *Santa Cena* que, según sus antiguos propietarios, la familia La Sota, fueron vendidas posteriormente a particulares^[4]. La tabla del Museo del Prado aludida es la *Cena en la Casa de Simón* y la del *Juicio de San Pedro* es la que aquí se estudia. Pilar Silva se referirá a todas ellas e incluye además un *San Cristóbal*, del Fogg Art Museum, y el *Éxtasis de la Magdalena* (Silva 1990, vol. I: 241-245). Sobre esta última, ya José Gudiol Ricart (Gudiol 1955: vol. 9, 319) la considera del Maestro de la Magdalena (denominación que él aplica al de Robredo) pero Post la había identificado como del Maestro de San Nicolás (p. 272-273) y dirá de ella que participó en la Exposición Universal de Barcelona de 1888, figurando en el Álbum como la *Asunción de la Virgen* (Post 1933: 274):

Cuadro.- Asunción de la Virgen, escuela española, de fines del siglo XV, presentado por la Sra. Viuda de Miró. Pintado con finura, pulcritud y bastante sentimiento, pero con exageración notable de su estilo. (Asociación Artística Arqueológica de Barcelona, 1888: 109, lámina Pintura nº 7 bis).

Probablemente, también el Maestro de Robredo haya colaborado con el de *San Nicolás* en la ejecución de las tablas de *San Juan Evangelista* que conserva el Museo de Bellas Artes de Bilbao, fundamentalmente en la obra *San Juan y la copa envenenada*, y también haya trabajado en otra que lleva por título la *Danza de Salomé*. Según Post, esta última habría sido pintada por el Maestro de San Nicolás (1933: 264), aunque Pilar Silva la asigna a Jorge Inglés e indica se encontraría en la colección de la Bayerstaatsgemälde Sammlungen (Bavarian State Painting Collections) (Silva 1990, vol. I: 228-229)^[5].

Por otra parte, con referencia a Jorge Inglés, la especial relevancia de su figura viene dada, en parte, porque en principio y, hasta el momento, constituiría el primer pintor documentado en Castilla como autor del *Retablo de los Gozos de Santa María* y claramente influenciado por la pintura flamenca, de acuerdo a lo que algunos autores y documentos apuntan. Tanto Ponz en su *Viage de España* de 1776 (1988: 50) como Post (1933: 65) y Pilar Silva Maroto (1992; 2012) entre otros hacen referencia al Codicilo del Testamento de D. Íñigo López de Mendoza, primer Marqués de Santillana, con fecha de 5 de junio de 1455, donde éste señala que en el altar mayor de la iglesia del desaparecido Hospital de San Salvador de Buitrago debía ser colocado el "retablo de los ángeles que yo mande fazer al Maestre Jorje ingles pintor" (Archivo Histórico de la Nobleza C.1762, D. 10-11; Layna 1942).

En la actualidad, el *Retablo de los Gozos* es exhibido temporalmente en el Museo del Prado. Se compone de dos cuerpos. En el inferior aparecen representados el Marqués y su esposa, Catalina Suárez de Figueroa, con sus respectivos asistentes de rasgos fisonómicos muy semejantes a los de sus señores. En el superior aparecen los ángeles que sostienen filacterias donde pueden leerse los Gozos que a la Virgen compusiera el Marqués. En la predela, figuran los cuatro padres de la Iglesia Latina: San Gregorio, San Jerónimo, San Agustín y San Ambrosio. En el espacio central, el Marqués mandó colocar una imagen de la Virgen que adquirió en Medina del Campo y que hoy se encuentra desaparecida [Figura 2] (Moreno 1926; Silva 2012; De Mingo 2014).

También existe un *San Jorge* que fue atribuido por Charles Sterling a Jorge Inglés y que sin duda procede de su mano, que se conserva en la Leiden Collection (Sterling 1977: 497-525).

El tema relativo a la nacionalidad de Jorge Inglés no ha sido resuelto. Post expone que se desconoce si el pintor nació y adquirió su estilo en el norte de Europa, si pudo



Figura 2.- Jorge Inglés, *Retablo de los Gozos de Santa María*. S. XV. Propiedad de: Doña Almudena de Arteaga del Alcázar, XX Duquesa del Infantado y Don Iván de Arteaga del Alcázar, XV Marqués de Ariza, depositada en el Museo Nacional del Prado. Imagen © Museo Nacional del Prado, Madrid.

ser sencillamente español de ascendencia anglosajona o si habría adquirido su sobrenombre a través del estilo foráneo que imitara en las pinturas ejecutadas en nuestro país. Pilar Silva Maroto (2012) cita la referencia que J. J. Martín González (1952-53) incluye relativa a un documento de 1478 donde figura un ciudadano de Bristol, Jorge inglés, quien habría requerido el pago de una deuda a Nicolás de Gómez, vecino de Fuenterrabía, si bien Pilar Silva no cree probable se trate del pintor. También existe otro texto donde Juan Payn, inglés, pregunta al corregidor de Medina del Campo sobre la desaparición de unas escrituras de su primo Juan Jorge Ynglés, fallecido allí antes de 1480 (Caunedo 1984: 64-65 y 69-71). A partir de finales del siglo XV, la Corona Española estaría protegiendo las relaciones comerciales de sus territorios con Inglaterra y esa amistad sería la tónica dominante de la política exterior de los Reyes Católicos.

Además de esta obra, al autor le han sido atribuidas algunas más: una *Crucifixión* perteneciente a la Fundación Pública Andaluza Rodríguez-Acosta, estudiada por Diego Angulo y por Gudiol Ricart (1955: 316)^[6], una tabla, *Un santo predicando* (¿San Pedro?), que alberga el Cincinnati Art Museum [8], algunas miniaturas de cinco manuscritos pertenecientes al Marqués de Santillana, que se encuentran en la Biblioteca Nacional de Madrid y que tanto Sánchez Cantón (1917: 99-105; 1918: 27-31) como Post (1933: 70) refieren como de su mano, el *Retablo de San Jerónimo* procedente del monasterio jerónimo de Nuestra Señora de la Mejorada de Olmedo, que exhibe el Museo Nacional

de Escultura de Valladolid y que Diego Angulo sugiere a Post como obra de Jorge Inglés (1933 vol. IV, part I: 70; Arias 1996-97) y un retablo de Villasadino, denominado comúnmente como el de la *Vida de la Virgen* o de la *Virgen de la Silla*, que también Gudiol junto a Diego Angulo le atribuyen (Gudiol 1943-1944: 159-163) y cuyas tablas pintadas fueron aprovechadas hacia 1770 para componer un nuevo retablo con mazonería barroca.

Seguramente pertenecieron a este retablo otras tres tablas que hoy en día pertenecen a colecciones particulares: la *Presentación de Jesús en el templo*, que recientemente ha sido vendida por la Galería Bernat a un coleccionista particular, la *Natividad*, de un tamaño muy similar a esta pero más estrecha, aunque seguramente ha sido cortada a la derecha de la Virgen, y otra más pequeña que representa al *Profeta David* (Museu Nacional d'Art de Catalunya, Museo de Bellas Artes de Bilbao, 2003: 370), también en una colección particular de Barcelona y que fue reemplazada por una copia durante la restauración del retablo en 1999. Curiosamente, en esta última aparece representado el turbante del profeta de color azul, mientras que el original es blanco con sombras azules^[7].

Aún podría citarse alguna otra obra, como por ejemplo una del Museo del Prado atribuida a diversos autores, entre los que se encuentra Jorge Inglés, denominada Trinidad rodeada de ángeles, en la que pueden hallarse ciertos paralelismos con otras obras atribuidas al autor, sobre todo en las facciones de los ángeles de las miniaturas que se le atribuyen, como en la traducción española del Fedón de Platón de la Biblioteca Nacional (manuscrito VITR/17/4). La gestualidad de las manos de los personajes también recuerda a las que representa el Maestro de Robredo. Aun Post hace referencia a alguna otra obra relacionada estilísticamente con la de Jorge Inglés, pero no las atribuye directamente a su mano (1933: 75-86).

— Estudio formal

A fines del siglo XV, un gran número de pinturas castellano-aragonesas presentan rasgos comunes con la pintura centroeuropea, especialmente con obra flamenca y alemana. Habitualmente se reconoce en estas obras en general el interés por representar fielmente la realidad, lo que el más novedoso medio oleoso, en sustitución del temple, permitirá o, al menos, facilitará, al permitir que la pintura fluya, vele y se funda en claroscuros y delicados matices tonales para la representación de calidades y detalles, debido a una mayor dilación en el secado de la pintura que la que se da con el temple y a las características de transparencia que adquieren algunos pigmentos en mezcla con el aglutinante oleoso.

Como es bien sabido, existieron libros de modelos, dibujos y grabados en los talleres que explican la amplia difusión de patrones fisonómicos, humanos y animales,

así como de todo tipo de objetos, que da lugar a esa puesta en común de rasgos y detalles que se observan en las obras y que perviven y son imitados a lo largo de los años. Esa transmisión también se produjo a través del contacto directo entre artífices de diversas procedencias. Son conocidos los viajes de pintores españoles como Luis Dalmau a la antigua Flandes o de Jan van Eyck a la península ibérica, y el trabajo compartido de los artífices en los talleres medievales. Sobre este particular, tan interesante, habría mucho que contar, pero no es el objeto de este estudio. Como ejemplo de la transmisión entre talleres de tipos, ademanes y detalles accesorios, se aporta la imagen siguiente, correspondiente a los *Jueces Justos*, que constituye una parte del retablo de la *Adoración del Cordero Místico*, pintado por Hubert y Jan Van Eyck (h. 1424-1432). Esta tabla, que fue robada, sería después pintada por Jan van der Veken en 1939 tomando como referencia una copia de Michel Coxcie de mediados del siglo XVI. La postura de los hombros y los ropajes del personaje a caballo son muy similares a los que se observan en el personaje central de la *Cena en la Casa de Simón*, del Museo del Prado, del Maestro de Robredo [Figura 3].

similares a los mencionados, por ejemplo, en la *Madonna Lucca* (1436), de Jan Van Eyck, en el trono de la *Virgen dels Consellers* (1445) de Lluís Dalmau, y en la representación de San Marcos del *Cristo bendiciendo* de Fernando Gallego (1494-1496), aunque aparecen otras tipologías de leones, muy distintas a estas, en obras coetáneas.

Existen ejemplos de pintura europea del siglo XV, atribuidas a artistas alemanes, con composiciones y rasgos que recuerdan a *Juicio de san Pedro*. Algunos ejemplos son el *Altar de San Lucas* de Lübeck, de Hermen Rode, ejecutado en 1484 y en la actualidad en St. Anne's Museum^[10], *San Gil distribuyendo sus bienes a los pobres*, también catalogado como pintado por un maestro alemán entre 1470-1480, que se encuentra en el State A. Pushkin Museum of Fine Arts (Moscú), la *Presentación de Jesús en el templo* y *Jesús entre los doctores*, que también habrían sido ejecutadas por un pintor alemán y que se hallan en las colecciones de la pintura estatal de Baviera (Alte Pinakothek Munich, hacia 1480) o *La natividad de Cristo*, realizada por un pintor alemán hacia finales del siglo XV y que se encuentra en el Wallraf-Richartz Museum (Colonia). Igualmente, se asemejan a nuestra obra algunas atribuidas a Jörg Stocker,



Figura 3.- A la izquierda, detalle de los *Jueces justos* de Jan van der Veken. Collection Sint-Baafskathedraal Gent www.artinflanders.be. Photographer: Hugo Maertens. License: CC BY-NC-ND 4.0. A la derecha, detalle de *Cena en la Casa de Simón*. © Museo Nacional del Prado, Madrid.

También resulta llamativa la manera en que los pintores resuelven la representación de animales “exóticos” que nunca tuvieron la oportunidad de visualizar directamente. Aquí también la difusión de las formas evidencia o subraya contactos entre artífices, aunque solo sea a través de los modelos. En dos obras atribuidas a Jorge Inglés aparece la figura del león, en la predela del *Retablo de los Gozos* y en el *Retablo de San Jerónimo* del Museo Nacional de Escultura. En ambas, las fisonomías de los leones son prácticamente idénticas, con ojos que expresan temor y fauces que se curvan en una sonrisa en el momento en que el santo extrae las espinas [Figura 7]. Encontramos aún leones

como *San Wolfgang con donantes*, de la Iglesia parroquial de Oberstadion, y *Cristo ante Pilatos*, atribuida a Um Bayerisch, del Altar Rottenbacher (1480-90), expuesta en Burghausen, Staatsgalerie [Figura 4].

— *Rasgos distintivos del Maestro de Robredo y de Jorge Inglés*

Además de los elementos habituales que suelen aparecer en la pintura flamenca y la ejecutada en Castilla y Aragón a fines del siglo XV, como son la representación de paisajes centroeuropeos, ropajes y otros elementos de la



Figura 4.- A la izquierda, *Cristo ante Pilatos*, atribuida a Um Bayerisch, del Altar Rottenbucher. A la derecha, *Juicio de san Pedro*. Propiedad de la UCM. © Autoría propia.

cotidianidad del momento, existen una serie de rasgos que, de manera más individualizada, definen la obra del Maestro de Robredo y de Jorge Inglés.

Hay en las obras atribuidas al maestro de Robredo una serie de características recurrentes y menos frecuentes en obras de otros autores. Entre estas, se incluyen la manera especial en que se desenvuelven los pliegues de los ropajes. Son de dos tipos: por una parte, lisos, sencillos, paralelos entre sí y, por otra, con una morfología quebrada, en consonancia con la influencia de la pintura flamenca pero, en este caso, con una peculiar apariencia ramificada, estrellada, nerviosa, arbitraria e independiente de la anatomía del personaje. Pueden rastrearse fácilmente en las obras atribuidas al Maestro de Robredo y también se aprecian igualmente en *San Juan y la Copa Envenenada*, del Maestro de San Nicolás.

Estas características formales se hallan también en gran parte de las obras atribuidas a Jorge Inglés, como en el retablo de Villasandino, en particular en las tablas correspondientes a la *Visitación* y al *Nacimiento de la Virgen*, así como en la *Presentación de Jesús en el Templo* y la *Natividad*, que estarían vinculadas al mismo retablo. Igualmente, aparecen en el Retablo de *San Jerónimo*, en el hábito del santo y en el de numerosos monjes, y en la predela, sobre todo en las ropas de *San Juan* y en la capa pluvial de *San Agustín*. También los vemos en la danzante de la *Danza de Salomé*. En el Retablo de los *Gozos*, estas

formas se identifican en alguna medida en las túnicas de los ángeles y, sobre todo, en la predela, en las figuras de *San Jerónimo*, *San Ambrosio* y *San Agustín*, aunque los ropajes de los marqueses no presentan este acusado dramatismo y fisonomía [Figura 5].

Otra característica que se repite en obras del Maestro de Robredo es la especial actitud que muestran las manos de los personajes, muy teatrales, con actitudes algo forzadas, y similares en todas las obras. Presentan además dedos y uñas alargadas con terminaciones en forma de llamativa línea negra. Aparecen en la obra objeto de estudio, *Juicio de san Pedro*, así como en la perteneciente al Museo del Prado, la *Cena en la Casa de Simón*, y en el *Apóstol San Juan y la copa envenenada*, atribuida al Maestro de San Nicolás y custodiada por el Museo de Bellas Artes de Bilbao. En las otras dos de este autor que conserva el Museo, la *Resurrección de Drusiana* y la *Predicación de San Juan Evangelista*, los personajes también presentan uñas terminadas en línea negra, aunque estas son menos estilizadas que las que se ven en las obras del Maestro de Robredo.

Desafortunadamente, no han podido estudiarse estos detalles en otras obras atribuidas al de Robredo, debido a que no se ha tenido acceso directo a ellas. Respecto a las atribuidas a Jorge Inglés, también se observan las líneas negras en las obras pertenecientes al Retablo de *Villasandino*, incluyendo las tres que se encuentran en



Figura 5.- Detalles de pliegues en diversas obras. a y b *Juicio de san Pedro*. © Autoría propia. c *Apóstol San Juan y la copa envenenada*. © Billboko Arte Ederren Museoa-Museo de Bellas Artes de Bilbao. d *Visitación*, del Retablo de Villasandino. © Jesús Pablo Domínguez Varona. e *Presentación de Jesús en el Templo*. © Galería Bernat. f *Retablo de San Jerónimo*. © Museo Nacional de Escultura. g *Danza de Salomé*. h, i *Retablo de los Gozos de Santa María*. © Museo Nacional del Prado, Madrid.

coleccionas particulares. En el *Retablo de los Gozos* no se da esta característica, aunque las manos también presentan una gran importancia expresiva [Figura 6].

En cuanto a las fisonomías faciales, este pintor utiliza tipos concretos que repite e intercambia en figuras masculinas y femeninas y que también aparecen en obras atribuidas a Jorge Inglés. Existe en *Juicio de san*

Pedro un patrón masculino que se repite de manera casi idéntica en diversos rostros de esta misma obra, así como en la *Cena en la casa de Simón* del Museo del Prado, donde aparece en la figura central.

También se observa en algunas figuras masculinas de *San Pedro entronizado*, en la fotografía que publica Post en 1933 (Post 1933: 281) e igualmente, en algunas obras atribuidas



Figura 6.- Detalles de las manos. a y b *Juicio de san Pedro*. © Autoría propia. c, d y e *Cena en la casa de Simón*. © Museo Nacional del Prado. f y g d *Apóstol San Juan y la copa envenenada*. © Bilboko Arte Ederren Museoa-Museo de Bellas Artes de Bilbao. h e i *Profeta Zacarías del Retablo de Villasandino*. © Autoría propia. Con permiso de la Archidiócesis de Burgos.

a Jorge Inglés: en la figura de Santa Isabel del *Retablo de Villasandino*, así como en otras, masculinas y femeninas de la *Danza de Salomé* y en muchos de los rostros de los monjes del *Retablo de San Jerónimo*. Hallamos, asimismo, semejanzas, entre el San Pedro de la *Cena en casa de Simón* y el de la obra *San Pedro entronizado*, atribuidas ambas al Maestro de Robredo. Y la figura de Jesucristo de la *Cena en la casa de Simón* encuentra su réplica en la cara femenina de la Magdalena en el *Éxtasis*.

Por otra parte, la fisonomía del magistrado romano o quizás de Nerón en la obra principal objeto de estudio de este trabajo es muy similar a la del san Simeón de la *Presentación de Jesús en el Templo*. Y el profeta Ezequías del *Retablo de Villasandino* es muy similar a una figura masculina de la obra *Un santo predicando* (¿San Pedro?), que alberga el Cincinnati Art Museum.

Los tipos del de Robredo aparecen también en la tabla correspondiente a la obra *San Juan y la copa envenenada*, atribuida al Maestro de San Nicolás, en la figura del santo y de algunos de los personajes que le rodean. En las otras dos obras del autor y en alguno de los personajes de esta se halla otro patrón fisonómico, claramente de otra mano, de la del Maestro de San Nicolás, con rostros de fisonomía cuadrada, hoyuelos en la barbilla y ceño fruncido, muy distintos de los del de Robredo. Este San Juan de la *Copa* y el personaje del sombrero negro y rojo presentan rasgos muy próximos a los observados en los marqueses y sus ayudantes y en los personajes de la predela del *Retablo de los Gozos*. También se encuentran conexiones formales entre estos últimos y los personajes representados en la predela del *Retablo de San Jerónimo* [Figura 7].

Por otra parte, se han hallado ciertas diferencias entre la manera en que se presenta la factura de la pincelada en algunas de las obras del Maestro de Robredo y en la que se observa en las atribuidas a Jorge Inglés. En las primeras, especialmente en la obra del Museo del Prado, se aprecia cierta aspereza y dificultad de fusión del color en las zonas más luminosas de caras, ropajes y objetos, y el contorno de las figuras se encuentra menos delimitado. En las obras atribuidas a Jorge Inglés el modelado es más suave, y la pincelada se presenta jugosa y fluida, lo que permite más delicadas transiciones en el color entre luces y sombras. Esto último se aprecia especialmente en el *Retablo de San Jerónimo*, así como en el de *Villasandino*.

— *El dibujo subyacente en la obra Juicio de san Pedro*

Se observa un dibujo realizado con un medio fluido, a tinta, como se deduce de las acumulaciones en forma de gota que presentan muchos de los trazos, y especialmente trabajado en las zonas de sombra de las encarnaciones, generadas mediante la aplicación de numerosos trazos cruzados, similares a dibujos y grabados de la época ejecutados sobre papel. En las vestimentas y arquitecturas el dibujo es similar, ágil, a veces rápido, pero generalmente menos trabajado que en las encarnaciones y a veces los trazos no se cruzan. Este dibujo subyacente es propio de un artífice experimentado, que no duda y lanza las líneas de las sombras aplicando el comienzo de los trazos, más gruesos, donde la sombra es más intensa y terminando estos en forma apuntada en las zonas más luminosas, marcando el claroscuro. No obstante, esta agilidad de trazo observada no excluye que hubiera habido un



Figura 7.- Detalles de las fisonomías faciales. a, b y c *Juicio de san Pedro*. © Autoría propia. d *Cena en la casa de Simón*. © Museo Nacional del Prado, Madrid. d Santa Isabel en la tabla de la *Visitación* del *Retablo de Villasandino*. © Autoría propia. Con permiso de la Archidiócesis de Burgos. f Detalle del *Retablo de San Jerónimo*. © Museo Nacional de Escultura. g *Cena en la casa de Simón*. © Museo Nacional del Prado, Madrid. h *Éxtasis de la Magdalena* de acuerdo a la fotografía de Post. i, j *Apóstol san Juan y la copa envenenada*. © Bilboko Arte Ederren Museoa-Museo de Bellas Artes de Bilbao. k, l, m *Retablo de los Gozos de Santa María*, de Jorge Inglés. © Museo Nacional del Prado. n Detalle del *Retablo de San Jerónimo*. © Museo Nacional de Escultura. ñ *San Pedro ante Nerón* © Autoría propia. *Presentación de Jesús en el Templo*. © Galería Bernat.

primer esbozo con carbón, del que no se han hallado rastros^[9]. Diferentes materiales de dibujo, fluidos y secos, a veces combinados, han sido hallados en otros dibujos subyacentes de pintura de los siglos XV y XVI. La mayoría son muy distintos de los del maestro de Robredo, aunque puede hallarse alguno algo similar, más elaborado, ejecutado con líneas cruzadas (Bomford 2002; Finaldi y Garrido 2006; Puig Sanchís 2011; Martens y López 2017; Herrero y Puig 2018).

Los dibujos de los paisajes con arquitecturas centroeuropeas resultan especialmente sueltos y reveladores de la grafía personal del autor. Las transiciones en el terreno se muestran en forma de líneas paralelas y los entrecruzamientos son menos frecuentes.

Se han observado arrepentimientos, en rostros, sombreros y mangas, en el cinturón de Nerón, en la parte central de la arquitectura, bajo el ídolo, donde en principio el autor había diseñado un paño rectangular, y en pequeños detalles del paisaje.



Figura 8.- Detalles de los dibujos subyacentes. a, b *Retablo de los Gozos de Santa María*, de Jorge Inglés. S. XV. © Museo Nacional del Prado. c, d, e, f, g, h, i, j, k *Juicio de san Pedro*. © Autoría propia.

Estos resultados invitan a pensar que ha existido cierta improvisación a la hora de elaborar los personajes que conforman la escena, probablemente debido a que muchos de los rostros son fórmulas aprendidas, que el Maestro va trabajando cuando realiza el dibujo y posteriormente, cuando modela con la pintura [Figura 8].

También se ha podido estudiar en alguna medida el dibujo del Retablo de San Jerónimo de La Mejorada. Existía un informe de restauración de la obra donde figuraban algunas imágenes del dibujo, aunque este no se apreciaba con nitidez (Antelo y Gabaldón 2002). Por ello, se ha visualizado de nuevo en el Museo Nacional de Escultura. Se observa la utilización de un medio fluido con el que se ha desarrollado un intenso trabajo de líneas cruzadas que modela los rostros y sitúa las luces y sombras a partir de la creación de ese entramado. Este afecta incluso a las figuras más pequeñas, y presenta una grafía especialmente suelta.

Existen arrepentimientos relacionados con la reubicación de las facciones de los personajes: narices, orejas y demás rasgos y el dibujo elíptico de un nimbo sobre la cabeza del santo, en la escena de la comunión, que finalmente no aparece pintado. Hemos de decir que la pequeña torre pintada en este *Retablo de San Jerónimo* encuentra su réplica en el dibujo subyacente en esta tabla de San Pedro, aunque en este caso finalmente no fue pintada [Figuras 8-9].



Figura 9.- Detalles de los dibujos subyacentes del *Retablo de San Jerónimo*. Museo Nacional de Escultura. © Autoría propia. Con permiso del Museo Nacional de Escultura.



Figura 10.- Detalles de los dibujos subyacentes del *Retablo de la Virgen* de la iglesia de la Nuestra Señora de la Asunción de Villasandino. © Autoría propia. Con permiso de la Archidiócesis de Burgos.

Respecto al *Retablo de Villasandino*, de nuevo se detecta el mismo tipo de dibujo subyacente: medio fluido empleado en forma de líneas cruzadas. Se encuentra también en todas las figuras que han podido estudiarse, incluso en las de menor tamaño, como en la de la Virgen niña que mira hacia sus padres a modo de despedida antes de entrar en el templo [Figura 10].

En la predela, en la tabla del profeta Isaías, aparece una inscripción que está siendo estudiada y que ha sido realizada con un medio no fluido. Por el tipo de letra podría ser posterior y correspondiente al momento de la colocación de las tablas en la nueva mazonería.

Con referencia al dibujo del *Retablo de los Gozos*, Pilar Silva Maroto hace un exhaustivo estudio (2012). En él puede apreciarse una trama de trazos cruzados tupida, bien trabajada en la figura de Catalina Suárez de Figueroa y muy similar, a la que se observa en el San Jorge atribuido también a Jorge Inglés que publicó la página web de la Galería Mullany y también similar a la cabeza del león de la predela, que recuerda especialmente al trabajo del Maestro de Robredo. En las figuras del Íñigo López de Mendoza y en los personajes de la predela también existe dibujo y tramas cruzadas, aunque en menor grado en general.

Conclusiones

-La obra del Maestro de Robredo estudiada, *San Pedro ante Nerón*, presenta ciertos rasgos estilísticos que pueden relacionarla con obra atribuida a Jorge Inglés.

-El dibujo subyacente es ágil y propio de un maestro experimentado y se aprecia la utilización de un medio fluido que, especialmente en los rostros, se presenta en forma de líneas cruzadas.

-Se observan semejanzas con el dibujo subyacente de obra atribuida a Jorge Inglés, como el *Retablo de Villasandino* y el de *San Jerónimo* del Museo Nacional de Escultura, así como el correspondiente a algunas zonas del *Retablo de los Gozos*.

-También se han apreciado similitudes entre la obra del Maestro de Robredo con la de artífices alemanes, especialmente con Um Bayerisch ¿pudo ser oriundo el de Robredo de aquella zona? ¿existió algún tipo de conexión entre ambos o la transmisión de tipos y composiciones se produjo a través de grabados y dibujos?

-Surgen algunas cuestiones relativas a algunas obras atribuidas a Jorge Inglés: ¿podrían haber participado ambos maestros (Jorge Inglés y el de Robredo) en algunas de ellas? ¿o algún otro miembro del taller? Ya se ha apuntado que en *San Juan y la Copa envenenada* el de Robredo colabora con el de San Nicolás. Si participan varios autores en una obra, ¿hasta qué punto se puede indicar que fue pintada por uno u otro o identificar autorías concretas en cada zona? A pesar de que se observa una factura más tosca en la ejecución de la *Cena en la Casa de Simón*, o en el *San Pedro*, del Maestro de Robredo, que la que se aprecia en obra atribuida a Jorge Inglés, ¿puede un mismo maestro haber modificado su factura a lo largo de su vida artística? ¿podrían llegar a identificarse ambos pintores?

- Aunque ya Pilar Silva (1990: t. III, 228-236) sugirió que Jorge Inglés pudiera haber sido el autor de las obras del Maestro de Robredo y concluyó que, al menos por el momento, se mantendría la hipótesis de que se trataría de dos maestros distintos, este artículo contribuye a acercar un poco más las figuras del Maestro de Robredo y de Jorge Inglés.

Agradecimientos

Epifanio Puertas (párroco de Villasandino) y Juan Álvarez Quevedo (Archidiócesis de Burgos). Pedro Terrón Manrique (Facultad de Bellas Artes UCM). Isabel García (Vicerrectora de Extensión Universitaria UCM). Paloma Flórez Plaza, Marina Chinchilla y Ana González Mozo (Museo del Prado).

Almudena de Arteaga del Alcázar, XX Duquesa del Infantado y Don Iván de Arteaga del Alcázar. María José Ruíz-Ozaita (Museo de Bellas Artes de Bilbao). Manuel Arias, Ana Gil y Alberto Campano (Museo Nacional de Escultura de Valladolid). Archivo del IPCE. Iñaki Anasagasti, Ramón y Txema de la Sota. José Alavedra, Galería Bernat. Pilar Silva Maroto. Asunción Miralles de Imperial y Pasqual del Pobil (Biblioteca de la Real Academia de la Historia). Biblioteca de la Real Academia de la Historia y de la Facultad de Bellas Artes de la UCM. María Encarnación Martín López, Universidad de León. Nicolás Ávila Seoane y Juan Carlos Galende (UNED).

Notas

[1] En el inventario de la UCM figura con el número CUC000642. Próximamente se realizará una exposición con obra de la UCM donde aparecerá esta obra con su ficha. Los datos que figurarán en ella han sido obtenidos a partir de la investigación que aquí se presenta.

[2] En la actualidad, la autora de este trabajo realiza con Isabella Oomen otro estudio sobre este particular.

[3] En este caso, el equipo aparece denominado como reflectografía IR por la empresa comercializadora, aunque el término "reflectografía" suele aplicarse al estudio llevado a cabo mediante cámaras con sensores que alcanzan longitudes de onda más largas.

[4] Comunicación privada de Ramón de la Sota.

[5] Susanne Engelsberger, Sekretariat Alte Pinakothek, ha indicado en correo personal que, en principio, no se hallaría allí, aunque este término aún debe ser confirmado.

[6] Según se indica en la descripción de la obra en la página web de la Fundación: "La atribución a este pintor (Jorge Inglés), fue hecha por D. Diego Angulo en una conferencia que no se recogió por escrito". *Fundación Pública Andaluza Rodríguez-Acosta*. <http://www.fundacionrodriguezacosta.com/colecciones/coleccion-museistica-gomez-moreno/obra/la-crucifixion/> [consulta: 5/3/2022].

[7] Quizás la copia fuera realizada a partir de una imagen en blanco y negro y no del original, y de ahí la disparidad en cuanto a color. Por otra parte, estas tres obras pertenecientes en otra época al Retablo de Villсандino, así como el *Retablo de los Gozos de santa María* y el *San Jorge* de la Leiden Collection participan actualmente en la exposición del Museo del Prado *El Marqués de Santillana. Imágenes y letras* (04/10/2022 - 08/01/2023).

[8] Ya Cennino Cennini en el capítulo CXXII de su *Il Libro dell'Arte* cuenta cómo el primer dibujo sobre la tabla se realizaba con carbón, después era borrado con una pluma, repasado con tinta y borrado de nuevo. Cap. CXXII.

[9] Esta obra habría sido propiedad de Alfredo Sedo hasta 1958 y a partir de entonces pertenece al Cincinnati Art Museum.

[10] Las obras mencionadas pueden ser observadas, en el orden citado, en las siguientes páginas web: *Aquí y Ahora. Arte en General. Hermen Rode*. <https://aquicoral.blogspot.com/2018/02/hermen-rode-ii-lubeck-altar-pintura.html>. [consulta: 1/3/2022]. *Meisterdrucke: San Gil distribuyendo sus bienes a los pobres*: <https://www.meisterdrucke.es/impresion-art%C3%ADstica/German-School/959665/San-Gil-distribuyendo-sus-bienes-entre-los-pobres.html>. [consulta: 1/3/2022]. *Sammlung* <http://www.sammlung.pinakothek.de/en/artwork/0vxoZDv42V/schwaebisch-um-1480/darbringung-im-tempel>. [consulta: 1/3/2022]. *Alamy: North German painter (late 15th century). The*

Nativity of Christ. Wallraf-Richartz Museum. Cologne. Germany. <https://www.alamy.com/north-german-painter-late-15th-century-the-nativity-of-christ-wallraf-richartz-museum-cologne-germany-image217545498.html>. [consulta: 1/3/2022]. *Oberstadion Pfarrkirche HI Wolfgang mit Stiftern*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oberstadion_Pfarrkirche_HI_Wolfgang_mit_Stiftern.jpg. [consulta: 1/3/2022]. Burghausen, Staatsgalerie (num inv. 6241). *Sammlung*: <http://www.sammlung.pinakothek.de/en/artwork/M0xyZRMLpl>. [consulta: 1/3/2022].

Bibliografía

ANTELO, T., GABALDÓN, A. (2002). *Retablo de San Jerónimo. Reflectografía*. Jorge Inglés. Madrid: ICRBC.

ARCHIVO HISTÓRICO DE LA NOBLEZA (1762). *Testamento y Codicilo*. sign. OSUNA, C. 10-11.

ARIAS, M. (1996-1997). "Sobre el retablo de San Jerónimo del pintor Jorge Inglés", *Boletín del Museo Nacional de Escultura*, 1: 7-14.

ASOCIACIÓN ARTÍSTICO ARQUEOLÓGICA DE BARCELONA (1888): *Exposición Universal de Barcelona con un catálogo de objetos por el orden alfabético de opositores*. Barcelona: Imprenta de Jaime Jepús.

BOMFORD, D. (2002). *Art in making: Underdrawings in Renaissance Paintings, Catalogue to National Gallery Exhibition*, London: National Gallery Company Limited.

BRIALES, B. (1996). *Inventario realizado durante el curso académico 1995/96*. Madrid: UCM.

CAUNEDO DEL POTRO, B. (1984). *La actividad de los mercaderes ingleses en Castilla (1475-1492)*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

CENNINI, C. (1988). *El libro del arte*, (com. y an. por F. Brunello, trad. del italiano de Fernando Olmeda Latorre), Madrid: Akal, 1988.

CORTÉS, J. A., HERGUETA, D., HUIDOBRO, L., MARTÍNEZ, M. (1926). *Exposición de Arte Retrospectivo. Catálogo General. VII centenario de la Catedral de Burgos*. Burgos: Imprenta Aldecoa.

COSENTINO, A. (2016). "Infrared Technical Photography for Art Examination" *e-Preservation Science*, 13: 1-6.

DE MINGO, J. (2014): las techumbres de la iglesia del Hospital de San Salvador en Buitrago de Lozoya, *Academia, Boletín Real Academia de Bellas Artes de San Fernando*, 116: 23-35.

GUDIOL, J. (1943-1944). "Una obra inédita de Jorge Inglés". *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología*, Tomo 10: 159-163.

-(1955), *Ars Hispaniae. Pintura Gótica. Volumen noveno*. Madrid: Plus-Ultra.

- FINALDI, G. y C. GARRIDO, C. (eds.) (2006). *El trazo oculto. Dibujo subyacente en pinturas de los siglos XV y XVI*, Madrid: Museo Nacional del Prado.
- HERRERO, M. A. y PUIG, I. (2018). "Cuando el trazo velado delata al maestro. Dibujos subyacentes en la obra pictórica de Joan de Joanes: de la creación a las prácticas de taller", *Archivo del arte valenciano*, 99: 35-57.
- HERRERO-CORTELL, M. A., ARTONI, P. RAÏCH, M., ALIAGA, J., PUIG, I. (2021). "Observando a través de los estratos: fotografía infrarroja transmitida (ITR) aplicada al estudio técnico y documental de las pinturas sobre lienzo", *Ge-conservación*, 19: 62-73. <https://doi.org/10.37558/gec.v19i1.840>
- LAYNA, F. (1942). *Historia de Guadalajara y sus Mendozas en los siglos XV y XVI*, tomo 1, Madrid: Aldus.
- MARTENS, D. y LÓPEZ, A. (eds.) (2017). *Tablas flamencas de los siglos XV y XVI del Museo Lázaro Galdiano*, Madrid: Gobierno de Flandes, Museo Lázaro Galdiano, Université Libre de Bruxelles.
- MARTÍN GONZÁLEZ, J. J. (1952-53). "Varia. En torno a la nacionalidad de Jorge Inglés", *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología*, 19: 140.
- MORENO, J. (1926). "Buitrago. Un hospital y una iglesia del siglo XV", *Arquitectura*, año IX, 100: 279-284
- MULLANY. <http://www.mullanyfineart.com/view/saint-george-and-the-dragon-jorge-inglsactivecastile-c.-1455-after-1485-thi> [consulta: 4/3/2022].
- OJEDA, G. M. (1948). "Historia de la Pintura Española: la escuela hispano-flamenca en Burgos. El Maestro de San Nicolás y su sucesor el Maestro Robredo", *Boletín de la Comisión Provincial de Monumentos y de la Institución Fernán González de la ciudad de Burgos.*, Año 27, 105: 273-275.
- PONZ, A. (1988). *Viaje de España*, 3, tomos IX-XIII, Madrid: Aguilar. (facsimil de la edición de 1787. *Viage de España en que se da noticia De las cosas mas apreciables, y dignas de saberse, que hay en ella*, Madrid: Viuda de Ibarra, Hijos y Compañía, segunda edición. Tomo X, Carta III., nº 54-57.
- POST, C. R. (1933). *A history of Spanish painting*, volumen IV, part I. The Hispano-Flemish style in North-Western Spain, Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- PUIG SANCHÍS, I. (2011). "Estudio de los dibujos subyacentes en la obra del pintor Jaume Ferrer I: el Retablo de la Piedad del Museu Episcopal de Vic", *Quaderns del MEV* (Museu Episcopal de Vic), Vol. IV: 49-74. <https://raco.cat/index.php/QuadernsMEV/article/view/233545> [Consulta: Consulta: 9-11-2022].
- SÁNCHEZ CANTÓN, F. J. (1917). "Maestro Jorge Inglés, pintor y miniaturista del Marqués de Santillana", *Boletín de la Sociedad Española de Excursiones*, 25(2): 99-105.
- (1918). "Maestro Jorge Inglés, pintor y miniaturista del Marqués de Santillana. Conclusión", *Boletín de la Sociedad Española de Excursiones*, 26(2): 27-31.
- SERRANO, L. (1943). *Los Reyes Católicos y la ciudad de Burgos. De 1451 a 1492*. Madrid: CSIC. Instituto Jerónimo Zurita.
- SILVA MAROTO, P. (1990). *Pintura hispanoflamenca castellana: Burgos y Palencia. Obras en tabla y sarga*. Vols. I, II y III. Valladolid: Junta de Castilla y León. Consejería de Cultura y Bienestar Social.
- (2012): "El retablo de los Gozos de María de Jorge Inglés", *Boletín del Museo del Prado*, vol. 30, 48: 6-23.
- STERLING, C. (1977). "Tableaux espagnols et un chef d'oeuvre portugais meconus du XV siècle". En *Actas del XXIII Congreso Internacional de Historia del Arte* (1973), Granada: Universidad de Granada, 1: 497-525.
- UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, IRIGOYEN DE LA RASILLA, M. J. (1989). *Patrimonio Artístico de la Universidad Complutense de Madrid: inventario*. Madrid: UCM.
- UCM: BIENES MUEBLES DE VALOR HISTÓRICO ARTÍSTICO - AÑO 2021. <https://www.ucm.es/portaldetransparencia>. [consulta: 4/3/2022]

Autor/es



Sonia Santos Gómez

soniasantos@ucm.es

Facultad de Bellas Artes. UCM

<https://orcid.org/0000-0003-3679-5100>

Profesora de Universidad (UCM). Ha participado en proyectos de investigación financiados y se ha dedicado al ámbito de los materiales utilizados tradicionalmente en el ámbito artístico, mediante la elaboración, síntesis y estudio de diversos pigmentos y cargas de acuerdo a los antiguos tratados. Miembro del Grupo de Investigación: *Técnicas de Documentación, Conservación y Restauración del Patrimonio*, dirigido por Margarita San Andrés Moya. Ha participado en múltiples congresos y publicado libros, artículos, capítulos de libro, entre los que pueden destacarse: SANTOS GÓMEZ, S., (2017), *La Conservación del Arte Contemporáneo: Criterios y metodologías de actuación en obras configuradas con nuevos materiales*, Oviedo: ed. Trea, SANTOS GÓMEZ, S. (2015). El yeso: Su elaboración y empleo en la pintura y dorado de retablos, Almería: Círculo Rojo, SANTOS GÓMEZ, S., SAN ANDRÉS MOYA, M. (2004). "La pintura de sargas" *Archivo Español de Arte*, CSIC, t. LXXVII, nº 305, Enero-Marzo 2004: 59-74, SANTOS, S. (oct. 2017). "Las sargas y otros modos de temple: estudio comparativo experimental", *revista PH*, 92: 192-209, etc.

**Semih T. Tunca**semih tunca@gmail.comGrade of Cultural Heritage/Tourism in
Istanbul University Open Education

Actualmente cursa el Grade of Cultural Heritage/Tourism in Istanbul University Open Education. Vinculación profesional con el ámbito del modelado 3D. Entre marzo y abril fue investigador invitado en la Universidad Complutense de Madrid para participar en proyectos relacionados con la aplicación de la reflectografía infrarroja al estudio de bienes culturales y con la aplicación de las tecnologías 3D a la conservación del patrimonio cultural. S. (oct. 2017). "Las sargas y otros modos de temple: estudio comparativo experimental", *revista PH*, 92: 192-209, etc.

Artículo enviado 11/03/2022
Artículo aceptado el 28/11/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1104>

Reusing maintenance monitoring data on preventive conservation

María de la Paz Diulio, Pilar Mercader-Moyano, Analía Gómez

Abstract: The indoor climate of libraries and archives is determinant for the preservation of their collections, as temperature and relative humidity can trigger other damage factors. Standards and literature recommend to perform long term monitoring to understand the climatic history where the goods were kept, instead of follow rigid and arbitrary conditions. This trend is sustainable and environmentally friendly, but adds a new duty to the overloaded staff. We present two technical advices sustained in monitoring records produced to assess the HVAC equipment and reused to preservation purposes. The first is a library collection transferred from a historic building to a new building, and the second is a deposit room supplied with de-humidificators, where the analysis evidenced a very low humidity ratio. The main conclusion is that a synergetic use of monitoring data can improve the indoor climate of the collections and reduce the energy demand for preservation.

Keywords: preventive conservation, sustainability, indoor climate, environmental monitoring, cultural heritage

Reutilización de monitorización de mantenimiento para conservación preventiva

Resumen: El clima interior de bibliotecas y archivos es determinante para la preservación de sus colecciones, ya que la temperatura y la humedad relativa pueden desencadenar otros factores de daño. Las normas y la literatura recomiendan realizar un seguimiento a largo plazo para comprender el historial climático donde se mantuvieron los productos, en lugar de seguir condiciones rígidas y arbitrarias. Esta tendencia es sostenible y respetuosa con el medio ambiente, pero añade un nuevo deber al personal sobrecargado. Presentamos dos consejos técnicos sustentados en registros de seguimiento elaborados para evaluar los equipos HVAC y reutilizados con fines de conservación. El primero es un fondo de biblioteca trasladado de un edificio histórico a un edificio nuevo, y el segundo es una sala de depósito equipada con deshumidificadores, donde el análisis evidenció un índice de humedad muy bajo. La principal conclusión es que un uso sinérgico de los datos de monitoreo puede mejorar el clima interior de las colecciones y reducir la demanda de energía para la preservación.

Palabras clave: conservación preventiva, sostenibilidad, clima interior, vigilancia ambiental, patrimonio cultural

Reutilização de monitorização de manutenção sobre conservação preventiva

Resumo: O clima interior das bibliotecas e arquivos é determinante para a preservação das suas colecções, uma vez que a temperatura e a humidade relativa podem desencadear outros factores de dano. As normas e a literatura recomendam a monitorização a longo prazo para compreender a história climática onde se acondicionam os bens, em vez de seguir condições rígidas e arbitrarias. Esta tendência é sustentável e amiga do ambiente, mas acrescenta um novo dever ao pessoal sobrecarregado. Apresentamos dois conselhos técnicos sustentados em registos de monitorização produzidos para avaliar o equipamento HVAC e reutilizados para fins de preservação. O primeiro é uma colecção de biblioteca transferida de um edifício histórico para um novo edifício, e o segundo é uma sala de depósito com desumidificadores, onde a análise evidenciou uma humidade muito baixa. A principal conclusão é que uma utilização sinérgica dos dados de monitorização pode melhorar o clima interior das colecções e reduzir a procura de energia destinada à conservação preventiva.

Palavras-chave: conservação preventiva, sustentabilidade, clima interior, monitorização ambiental, património cultural

Introducción

The preservation of collections housed in museums, archives and libraries is a challenge for conservators, registrars, engineers, librarians and designers, among other disciplines. In this sense, many institutions that preserve Cultural Heritage (CH) focus on improving the collection environment to the highest quality possible, while in turn need to reduce their operating and maintenance costs. This necessity is not exclusive to CH: countries in the European Union are encouraged to reduce carbon emissions as subscribers to global agreements. But it is not everything about energy efficiency and emissions: the preservation of valuable and irreplaceable collections is an intrinsically sustainable activity itself as we are caring historic goods for the enjoyment of future generations (Luciani and Del Curto 2018).

Preventive conservation is a discipline that acts on the context of the property to be preserved, it is concerned with creating adequate conditions in the direct environment of the elements so as to delay or prevent the natural aging that all materials suffer due to time effect (ICOMCC and ICOM-CC 2008). The main environmental factors affecting conservation are light, pollutants, temperature (T) and relative humidity (RH) (Daniel *et al.* 2000), but we are focusing on T and RH as it depends on those factors to trigger conditions of mechanical, chemical and biological risk like brittleness, foxing, moulds, pests, discoloration, yellowing .

State-of-the-art HVAC systems are capable enough to provide accurate T and RH conditions with high efficiency, with different costs depending on the outdoor climate and the performance of the envelope. But the set point configuration of the HVAC is seldom part of a conscious debate. Scientific evidence shows that, in addition to being sophisticated and expensive, maintaining stringent targets does not guarantee conservation, and can be unsustainable for the management of museums (Silva *et al.* 2016). Yet, they are still frequently used. The paradigm shift arises in 2010, admitting new safety parameters that allow mobile climatic intervals according to the proofed fluctuation that, as well as improving the conservation of property, are more economical in terms of energy since they contemplate previous climatic cycles (Padfield *et al.* 2014 ; Henry 2007 ; CEN 2011; ASHRAE 2019; Michalski 2007; UNI 1999; Pagliarino 2019; ICC and ICOM-CC 2014; Serota and Jones 2008).

The staff of the Institutions has now new tasks: to acquire instruments, to perform long term monitoring, and to analyze periodically the retrieved data. As material and human resources are always scarce, this is not easy. In our research path, studying the indoor climate for conservation, we run into the problem of missing T and RH data, and we were able to solve it thanks to the synergetic communication within the Institution: the library staff noticed us that there were dataloggers and who were they from.

The objective of this article is to present two technical advices related to the indoor climate of library rooms, sustained on the reuse of long term monitoring data, originally produced by the maintenance department with the aim of assessing the HVAC equipment.

The rest of the paper proceeds as follows. Section 2 presents background on indoor climate assessment, and related work in the area. Section 3 describes the case study institution and the general methodology performed to analyze monitoring data. Section 4 presents the results of the methodology applied to the climate data of both library rooms. Section 5 discusses the results obtained with the literature and the limits of our methodology, and section 6 presents the conclusions.

Background

Martens has already explained how poor definition of standards and a lack of understanding of the underlying physics lead to irrational, expensive and sometimes damaging distortion of the way museums are built and operated (Martens 2012). The average RH ideal value of 55% attributed to Thomson (1986) was deliberately chosen because early observations showed that fixing humidity on average levels of the cold northern-Europe winter would prevent the most evident damage (Brown and Rose 1996). But in cold climates, with low moisture content, winter heating will reduce ambient internal humidity to below 20%. To fix this issue, mechanical humidification can add moisture, but rising dew point promotes condensation or even dampness above the envelope of the building, meaning the constructive layer or set of layers of enclosure that separates the indoor rooms with the exterior. Wet layers may cause damage to the building itself.

In order to preserve collections and historic buildings as well the economy of CH institutions, that are struggled by the cost of maintaining stringent indoor conditions to reach literature and loan prescriptions, new research legitimate the paradigm shift: the ASHRAE Handbook (2011), PAS 198 (British Standards Institution. 2012), and European Standard UN 15757: 2010 (CEN 2011), that provide specifications for the control of T and HR in order to limit the mechanical damage induced by the climate to hygroscopic materials. This is called proofed fluctuation: when it has been proven that the microclimate is not harmful, the historical climate of the space where the object is preserved and adapted can be kept. It is based on the acclimatization concept that is the process in which materials exposed for prolonged periods to a given environment with fluctuations of T and RH accumulate sufficient internal stress as to produce breaks, and these breaks open and close as if they were expansion joints. The adaptation to the fluctuations should not be interpreted as a positive factor since these internal fissures in fact constitute a form of damage, so any variation of the oscillations entails a new acclimatization, and new damage. The procedure suggests climate bands instead of

targets, with extra limits for daily and seasonal variations according to the climate class the institution is applying. This is why it is convenient to know clearly where those limits are for each collection, to avoid wider excursions.

Silva *et al.* (2014) pointed that when applying EN 15757 methodology in temperate climates, short-term fluctuations are limited too rigidly for buildings that do not usually have HVAC systems and interiors climates largely depend on the variations of the outdoor climate. The method described in EN 15757 assumes that the short-term fluctuations cause a higher risk, and limits their range significantly, therefore the authors considered that it is necessary to adapt this methodology to ensure a reliable application in temperate climates based on EN 15757, but influenced by ASHRAE specification and UNI 10829. They also propose a sequential process to determine an optimal indoor microclimate that reaches a balance between HVAC efficiency, conservation needs and thermal comfort of visitors. As a result, they propose seasonal T and RH ranges based on monitoring data collected ad hoc the precedent year in a national museum of Portugal (Silva *et al.* 2016).

Kramer *et al.* focus their study on obtaining a right setpoint configuration for the HVAC system of museums that contemplates T and RH for the comfort of the visitors and the needs of the collection. The algorithm is based on monitoring and dynamic simulation, and works for four different qualities of envelope, and all of the ASHRAE climates classes, assuming that however the envelope of the building may be, an efficient setpoint strategy is the first step for reducing the energy demand of the museum (Kramer, van Schijndel and Schellen 2017).

When a collection is in the same location through the years, it is natural that the climate band repeats itself as a pattern, but when a collection is going to be transferred, the climate history is a strong preservation argument to imitate the former climate in the new location, when the conservation state is good. This research presents an extra profit of performing indoor monitoring, using existing data available from the performance evaluation of HVAC system of an



Figure 1. - Main facade of the Royal Tobacco Factory. The authors.

Institution. It consists on a decision tool applied on a case study, the library of the University of Seville, being transferred from a historic building to a new construction building. The use of this methodology, well supported by standards and recent literature, will permit a rational use of equipment and energy, by the adoption of a conscious and cost efficient determination of the climatic target (CT), understood as the safety interval of T and RH for each collection, and based on the historic climate of collections.

Materials and methods

— Case study

The Royal Tobacco Factory (Real Fábrica de Tabacos) is an industrial building from 1757, in a neoclassical baroque style, built by Sebastián Van der Borch, who was a military engineer in charge of the Royal Factory. It is one of the larger perimeter buildings in Spain: its rectangular plan has 147m. by 185m., with 42,000 sqm. It has two main levels, and a basement; the roof and mezzanine slab are performed by square-shaped spherical cap vaults of 5.87m side [Figure 1]. Each vault stands over four pillars of a cross-section sandstone. Facades are made of stone and bricks, and the same materials were used for the vaults and interior walls (González-García de Velasco and González Vilches 2013).

Since 1954 and thanks to a government donation, it is the house of the Rectorate of the University of Seville and the Faculty of Humanities and Philology, and it is a protected Cultural Heritage Monument since 1959 (Cano Arroyo 2014). In this magnificent building lied the Antonio Machado y Núñez Library, holding the historic archive and a valuable collection of medieval codices, manuscripts, incunabula and antique and rare books. In the basement level, the Faculty of Humanities has its periodicals deposit, and, likewise the rectorate Library, has a fabulous historic collection arriving up to the colonies period. The periodicals deposit is on the first basement. As it is vulnerable due to the damp foundations and possible flooding, it is fitted with dehumidifiers, that are activated at the discretion of the staff.

In 2017, the University of Seville inaugurated a new building for the Library, placed 1.7 km away from the Tobacco Factory. This new building complies all the Spanish regulations of the Technical Building Code and the European energy efficiency requirements. Regarding the microclimatic control for the conservation of all its collections, it is fitted with modern equipment that allows real-time monitoring of the climate in each library room from the maintenance offices of the University.

Maintenance personnel collected monitoring data of the former building with the aim of observing if the climate is adequate to comfort conditions, and to check the correct performance of the HVAC equipment of the rooms, but any institution datalogging indoor climate can perform the proposed methodology.

— General methodology

The methodology is based on a European Standard (CEN 2011), and the procedure involves 5 stages: i) the analysis of the raw data from the datalogger, or data extraction; ii) the calculation of the mobile average with 30 days' period; iii) exclusion of the extreme values beyond the 7^o and 93^o percentile; iv) determination of the maximum and minimum limits of the band; v) selection of the climate target.

- Data extraction

Data is provided by the maintenance department, which practices long term monitoring of the historic building rooms to control the HVAC system performance. They use dataloggers Testo 175H1, logging T with a negative temperature coefficient (NTC) thermistor with a precision of $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$; and capacitive sensor of RH with a precision of $\pm 2\%$. The logging dataset includes T and RH from October 2015 to January 2016, and the moving average has a period of 30 days, meaning that the climate target corresponds to 15 days after the beginning (November 12nd) and 15 days before it ends (December 21st). The logging interval chosen by the maintenance office was one minute, so only a 16% of the records were kept and selected to obtain a five-minute interval sample.

- Mobile average

Seasonal variation is the mobile average of every record of the previous 15 days and following 15 days of each individual reading. Short-term fluctuations are the difference between a specific value and its 30-day moving average. In practice it is a simple procedure in Excel: in a 5 minute dataset, add a trend line to the RH series with "mobile average" format, and set a period of 8928, to include 288 registers a day (12*24) from the 15 previous and the 15 subsequent days. The result is a curve with softer edges, without any extreme peaks and valleys [Figure 2].

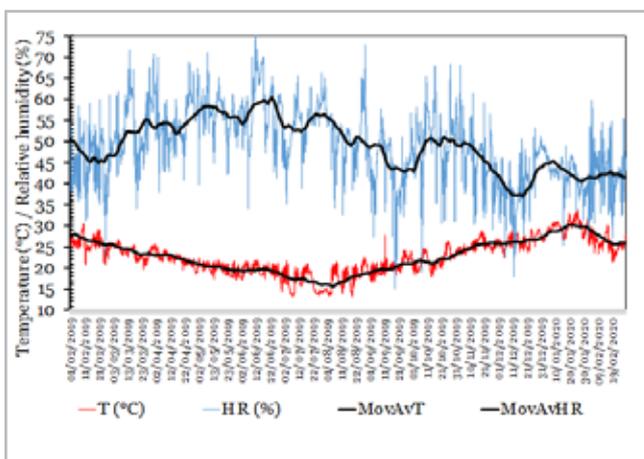


Figure 2.- Mobile average trend line example.

- Exclusion of the extreme values

According to EN 15757 the lower limit is given by the 7th percentile of differences between the moving average and the real records and the upper limit is given by the 93rd percentile of the difference between the record and the value that the moving average takes for that record. So, we exclude of the new safety band the highest 7% and the lowest 7% of the excursions to avoid the risks that imply the extreme peaks and troughs in the registries.

However, if the procedure indicates that fluctuations are less than 10%, it is considered unnecessary strict and negligible, and the 10% band can be accepted under a specialist supervision, like a conservator able to detect early signs of damage.

-Selecting limits to the band

To determine the final safety band [Figure 3], some other extra conditions are recommended: not to trespass certain values in spite of the historic climate. These limits are 40% as a minimum value for RH based on the risk of frailty, since the lack of humidity turns the paper brittle. The maximum value for RH is fixed in 60% (Bizot Group 2015). The development of bacteria usually requires higher RH (Pavlogeorgatos 2003). Low values of T are often safe over 16°C, excluding the risk of condensation -limited by humidity band- but beyond 25°C should be avoided as it accelerates chemical reactions, and desiccates the external layers of the exposed materials, raising the fragility level (Bizot Group 2015).

The process to incorporate this condition in Excel is adding the "if" function, using as a logical test the premise of being inside the range of 40% and 60% for humidity, and being under 25°C for temperature. If the logical test is true, then the top limit value for the band is the mean average value plus the value of the 93rd percentile, and the lower limit of the band is the mean average value plus the value of the 7rd percentile (negative value). If the logical test is not true, then the limits are fixed by the range, 40-60% [Figure 3].

- Climate target

Once determined the safety band, it is necessary to select one value to set the HVAC equipment. The interval of time in which the thermostat is fixed (seasonally, monthly, or weekly) is related to the availability of staff to modify the thermostat, the capacity of the thermostat to save different set points, and the precision aspired. A monthly set point is more accurate than a seasonal set point, but a weekly set point is not recommended because outdoor weather is likely to change from one year to another. We propose to set a monthly setpoint value calculated as the average for each month of the mean average.

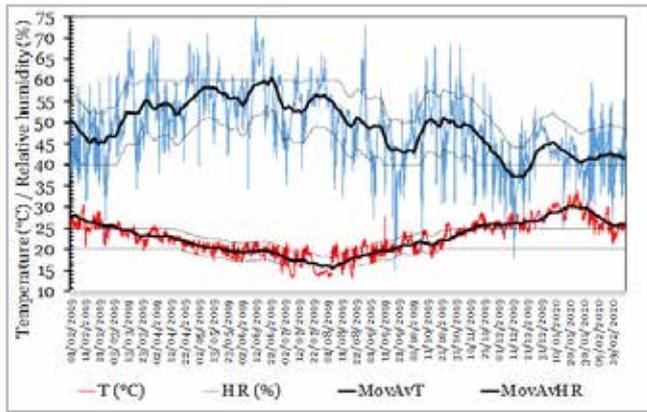


Figure 3.- Safety margins example.

Results

The results reflect the methodology applied on two rooms, with two different objectives: the relocation of the General Library of the University of Seville, and the need of dehumidification equipment in the deposit of the Philology Library of the University of Seville.

— General Library

From the original dataset, the first action is to filter and order the registers to obtain a logging interval of 5 minutes, which means 288 registers per day. The second stage of the methodology consists of calculating the mean average for each datum. That is the average of the 4320 previous and the 4320 subsequent values as it is shown on Figure 4.

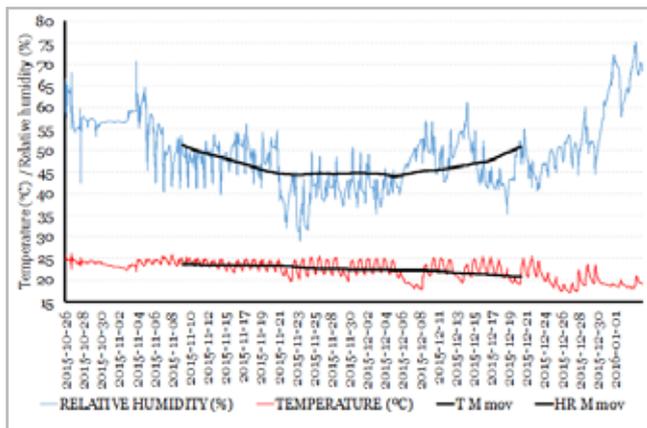


Figure 4.- Stage 2 of the methodology, determination of the mobile average of the General Library

In Figure 5, the mean average line for RH is drawn as a constant, and the Y axe represents the bias between the logged value and the mean average. The shadowed zone is for the excluded values, limited by the 93° and 7° percentile that, in this particular case, are values below -6.64 and above 7.45 using Excel function Percentil.exc. EN 15757 affirms that if the limit is smaller than 10%, the band will remain unnecessarily strict, so it can be set as 10%.

As explained in section “Selecting limits to the band” besides the limits given by the 7th and 93rd percentile [Figure 5], to determine the climatic band we are introducing 3 extra conditions with the extreme limits that prevent also chemical and biological damage. The interval for the target band excludes:

- RH greater than 60%,
- RH lower than 40%;
- and T higher than 25° C

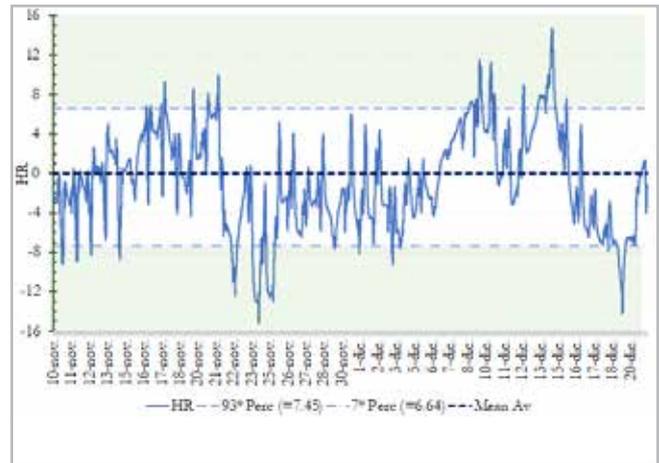


Figure 5.- Values corresponding the 7° and 93° percentile.

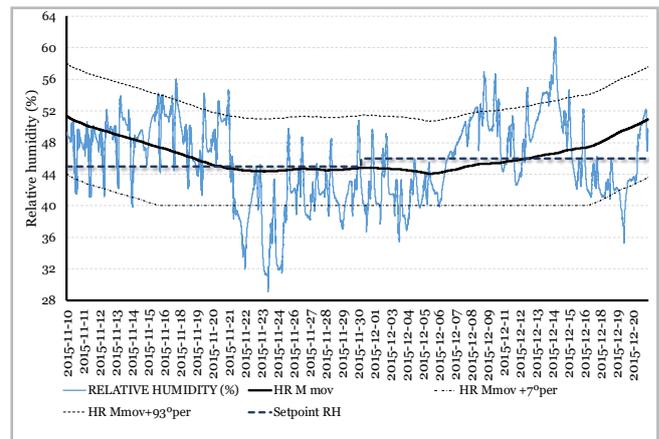


Figure 6a.- Target band and RH setpoint, excluding extreme values

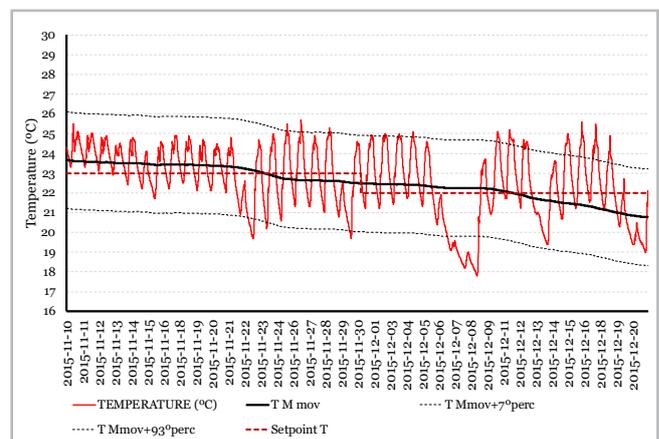


Figure 6b.- Target band and T setpoint, excluding extreme values.

As we are considering the heating period, it is noticeable that the HVAC turns the air too dry [Figure 7], below the limit of 40%, to fulfil the thermal comfort expectations for people reading seated (1.0 met) with winter clothing (1 Clo) (ASHRAE 2013) This is an issue useful to inform and amend in the new location in order to prevent future chemical damage and fracture risk of organic materials.

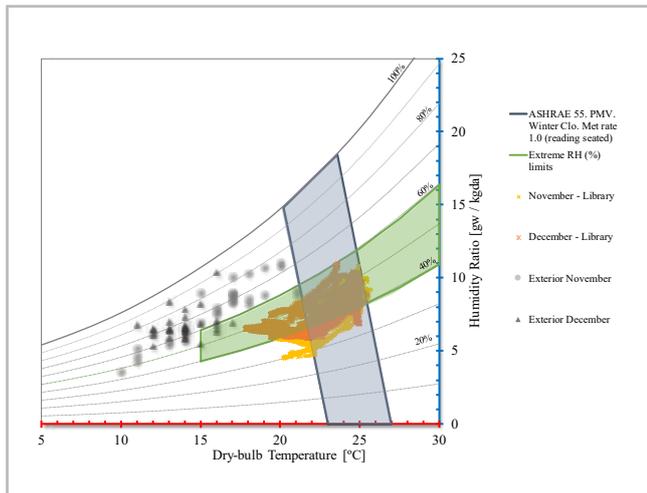


Figure 7.- Psychrometric chart. Comfort zone and ideal RH zone in the Library.

Finally, after the analysis, it is possible to determine the set point climate interval that the institution can manage. For the period analysed, the condition that contemplates mechanical risk based on the historic climate and biological and chemical damage based on extreme limits is 45% and 23°C for November and 46% and 22°C for December, showed in trimmed line in Figure 6. In November humidification is needed.

—Periodicals deposit. Library – Faculty of Humanities

The periodicals deposit, placed in the basement level of the Royal Tobacco Factory, is fitted with 2 de-humidifiers manually activated. We are using the monitoring information to assess the indoor climate according to mechanical, chemical and biological damage, and to determine if the equipment is actually needed.

Figure 8 in the left shows a corridor of the periodicals deposit, with metal shelving and a clean and well organized collection. The picture in the right shows the instrument set by the maintenance staff to control the HVAC equipment: a Testo data logger displays the T and RH at the visit moment (may 22nd 2017, 11:00AM) 24.8°C and 32.9%, a day where outdoor condition was 23° and 57%. The unusual value for a supposed “humid” room led us to dig into the long term monitoring. Figure 9 shows the trend for T and RH, and while T is constant and safe, RH is lower than literature suggests.

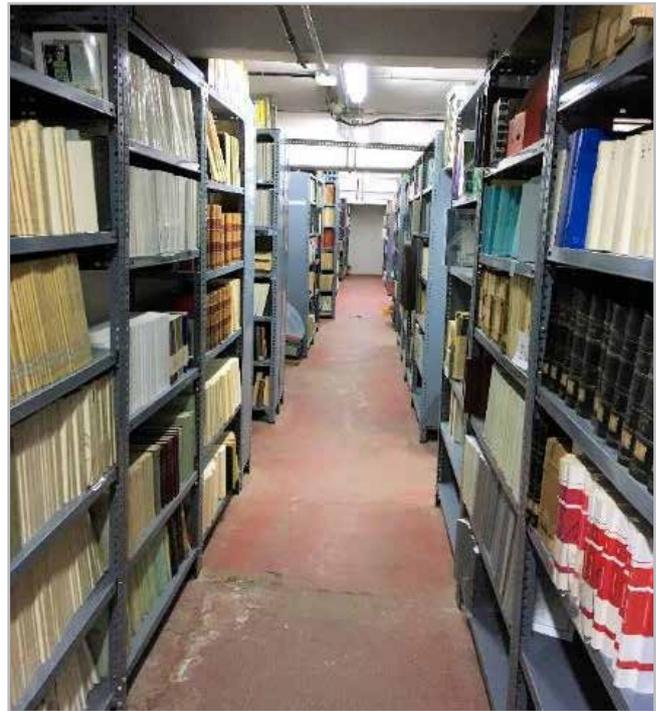


Figure 8.- Periodicals Deposit. Library of the Faculty of Humanities.

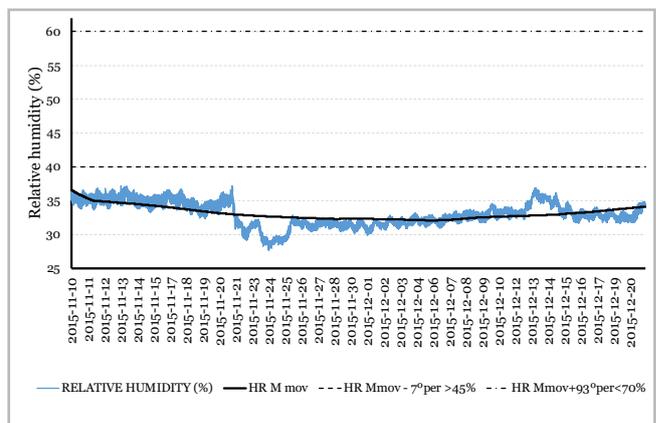


Figure 9a.- Mobile average and target band of RH for Periodicals Deposit

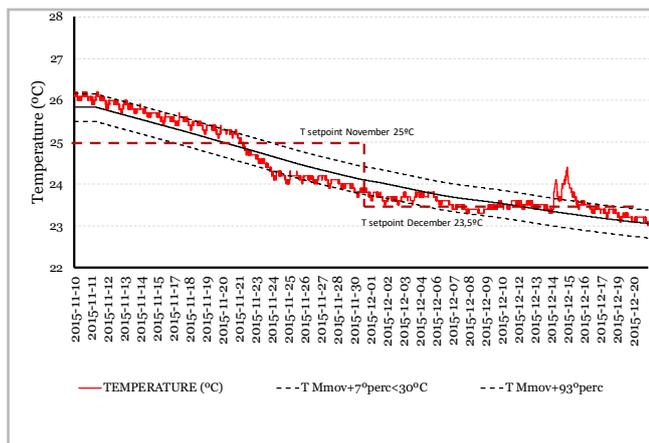


Figure 9b.- Mobile average and target band of T for Periodicals Deposit

Discontinuing the intermittent use of dehumidifiers will reduce the energy demand of the equipment, release the staff of emptying the buckets, and avoid the chemical risk that an extreme dry environment triggers in the collection. If dehumidifiers are to be used, they should be humidistically controlled based on RH sensors, connected to the drainage system.

The detention of the de-humidificators will increase of the absolute humidity in the air, and is going to approach the T and RH to preservation conditions (green), and comfort conditions (blue) as it is shown in Figure 10.

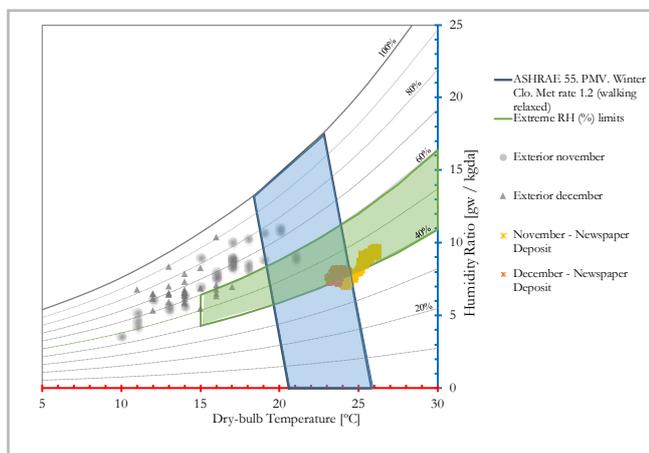


Figure 10.- Psychrometric chart. Comfort zone and ideal RH zone in the periodicals deposit.

Discussion

Before the implementation of this procedure, the set point for T and RH in the new Rector Machado Library would follow instructions from literature, but would ignore the historic climate of the collection, at the risk of new mechanical damage. Besides the prescription of the 15757 standard, the methodology also contemplates

the extreme limits of RH and the maximum level of T to prevent biological and chemical degradation.

Silva (2015) agrees on the fact that 15757 standard is suitable for cold climates, permitting larger long term variations and smaller daily oscillations, but not for temperate climates as Seville and Lisbon: not needing permanent climate control, indoor climate suffers wider short term fluctuation. This is why some extra limitations are included.

For the determination of the full climatic band, the data set should include, at least, 13 months of monitoring information, but ideally, to have a consistent idea of the historic climate of the collection, the data set should include more than two years to perform a more complete report, but that is a subject of further studies. As in this case the monitoring was performed from October to January, the climate band was calculated to assess only two months of the period: November and December. But the problems that the present assessment evidenced will not change even under a longer dataset.

Conclusions

The monitoring campaign was performed with maintenance scope, and it was reused in order to obtain two main advices related to conservation.

The first is the ideal set point configuration for the heating of the General Library Collection in its new building, in the months of November and December based on the climatic history of the goods preserved in each room, therefore, in compliance with the new literature agreement to prevent new mechanical damage. With this information, the conservation responsible can consciously decide the T and RH set point for the brand new building.

The second technical advice alerts the staff to inappropriate use of mechanical de-humidifiers in the periodicals deposit, because the RH is already too low and may provoke damage to the collection, like drying and brittleness to paper. Another suggestion would be to install humidistically-controlled dehumidifiers with automatic drainage.

This conservation improvements are environmentally friendly and also money-saving measures. They are based on T and RH data, and this article is not only an additional proof of the convenience of performing long term monitoring for conservation porpoises, but an idea for other institutions willing to improve their conservation climate.

Finally, the main conclusion is that a synergetic communication within an Institution is helpful to release the staff of extra tasks, save money, and operate in a sustainable way.

Acknowledgements

Certain data and procedures from this work were collected during the doctoral research developed by Maria de la Paz Diulio, entitled 'Efecto de la envolvente arquitectónica en el desempeño higrotérmico interior de bibliotecas y su relación con la conservación preventiva' at Universidad de Sevilla and Universidad Nacional de La Plata.

The authors want to appreciate architects and maintenance personnel of Universidad de Sevilla for their priceless participation. This work was supported by Bec.Ar Program (Ministerio de Educación, República Argentina), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), and Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) of Argentina.

The authors also wish to acknowledge Patricia Edith Camporeale for her help in proof reading the article.

References

- ASHRAE (2011). Chapter 23. Museums, galleries, archives, and libraries. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. *ASHRAE Handbook HVAC Applications* (SI Edition). 1-22. ISBN 978-1-936504-07-7.
- ASHRAE (2013). Standard 55. "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy." S.I.: s.n.
- ASHRAE (2019). Chapter 24. Museums, galleries, archives, and libraries. *ASHRAE Handbook—HVAC Applications*. S.I.: s.n., 1-46.
- BIZOT GROUP (2015). NMDC guiding principles for reducing museums' carbon footprint. . S.I.:
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. (2012). Specification for Managing Environmental Conditions for Cultural Collections. *Pas* 198: 55.
- BROWN, J.P. and ROSE, W. (1996). Humidity and moisture in historic buildings: the origins of building and object conservation. *APT bulletin* [en línea], 27(3): 12–23. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/1504411>.
- CANO ARROYO, D. (2014). *Fondo antiguo y archivo histórico de la biblioteca de la Universidad de Sevilla: un plan de conservación preventiva adaptado a sus necesidades conservativas y funcionales* [en línea]. [Consulta: 30 July 2018]. <http://fondosdigitales.us.es/tesis/tesis/2528/fondo-antiguo-y-archivo-historico-de-la-biblioteca-de-la-universidad-de-sevilla-un-plan-de-conservacion-preventiva-adaptado-sus-necesidades-conservativas-y-funcionales/>.
- CEN (2011). UNE-EN 15757. *Conservación del patrimonio cultural. Especificaciones de temperatura y humedad relativa para limitar los daños mecánicos causados por el clima a los materiales orgánicos higroscópicos*. Bruxelles: Comité Europeo de Normalización.
- DANIEL, V., PEARSON, C., COLE, I., GANTHER, W., KING, S. (2000). Behaviour of museum buildings in tropical climates. *Studies in Conservation*, 45(1): 45–50. <https://doi.org/10.1179/sic.2000.45.Supplement-1.45>.
- GONZÁLEZ-GARCÍA DE VELASCO, C., GONZÁLEZ VILCHES, M., (2013). La cimentación por arquerías invertidas en el edificio histórico de la Fábrica de Tabacos de la Universidad de Sevilla. *Informes de la construcción*, 65: 465–470. <https://doi.org/10.3989/ic.12.064>.
- HENRY, M. (2007). *The heritage building envelope as a passive and active climate moderator: opportunities and issues in reducing dependency on air-conditioning*. The Getty Conservation Institute, Tenerife Spain.
- ICC and ICOM-CC (2014). *Environmental Guidelines ICOM-CC and IIC Declaration*. [en línea]. [Consulta: 22 July 2021]. <http://www.icom-cc.org/332/-icom-cc-documents/declaration-on-environmental-guidelines/#.YPIEZ6YzaUl>.
- ICOMCC and ICOM-CC (2008). *Terminología para definir la conservación del patrimonio cultural tangible* [en línea]. NuevaDelhi. http://ge-iic.com/files/Cartasydocumentos/2008_Terminologia_ICOM.pdf.
- KRAMER, R., VAN SCHIJNDEL, J., SCHELLEN, H. (2017). Dynamic setpoint control for museum indoor climate conditioning integrating collection and comfort requirements: Development and energy impact for Europe. *Building and Environment*, 118: 14–31. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.028>.
- LUCIANI, A., DEL CURTO, D. (2018). Towards a resilient perspective in building conservation. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 8 (3): 309-320 <https://doi.org/10.1108/JCHMSD-07-2016-0040>.
- MARTENS, M.H.J. (2012). *Climate risk assessment in museums: degradation risks determined from temperature and relative humidity data*. Eindhoven: Technische Universiteit. <https://doi.org/10.6100/IR729797>.
- MICHALSKI, S. (2007). *The Ideal Climate, Risk Management, the ASHRAE Chapter, Proofed Fluctuations, and Toward a Full Risk Analysis Model*. Contribution to the Experts' Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies, The Getty Conservation Institute, Tenerife, Spain.
- PADFIELD, T., RYHL-SVENDSEN, M., LARSEN, P.K., JAKOBSEN, M. and JENSEN, L.A. (2014). Conservation physics: Climate control in the archive of the Arnamagnaeian Institute.
- PAGLIARINO, A. Coord. (2019). *Environmental Guidelines Update*. [en línea]. [Consulta: 22 July 2021]. <https://aiccm.org.au/network-news/environmental-guidelines-update/>.
- PAVLOGEORGATOS, G. (2003). Environmental parameters in museums. *Building and Environment*, 38(12): 1457–1462. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(03\)00113-6](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(03)00113-6).
- SEROTA, N., JONES, M. (2008). *NMDC Guiding Principles for reducing museums carbon footprint*. UK National Museum Directors Council; *Guiding principles for reducing museums' carbon footprint*, 2–4.

SILVA, H.E., HENRIQUES, F.M.A. (2015). Preventive conservation of historic buildings in temperate climates. The importance of a risk-based analysis on the decision-making process. *Energy and Buildings*, 107: 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.067>.

SILVA, H.E., HENRIQUES, F.M.A., HENRIQUES, T.A.S., COELHO, G., (2016). A sequential process to assess and optimize the indoor climate in museums. *Building and Environment*, 104: 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.023>.

SILVA, H.E. and HENRIQUES, F.M.A.A. (2014). Microclimatic analysis of historic buildings: A new methodology for temperate climates. *Building and Environment*, 82: 381–387. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.005>.

THOMSON, G. (1986). *The museum environment*. Butterworths, in association with the International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

UNI (1999). *10829. Condizioni ambientali di conservazione, misurazione ed analisi*. 1999. Milano: Norma Italiana. Milano: Ente Nazionale di Unificazione. CTI - Comitato Termotecnico Italiano.

Autor/es



María de la Paz Diulio
diuliomp@gmail.com
Universidad Nacional de La Plata (UNLP)
<https://orcid.org/0000-0002-8821-5393>

Doctora en Arquitectura (EIDUS en cotutela con UNLP) y Especialista en Arquitectura y Hábitat Sustentable (FAU UNLP). Soy investigadora asistente de CONICET sobre modos de habitar y construir que contemplen al ambiente, a la sociedad y al uso racional de los recursos naturales. Mi tesis doctoral fue enfocada a las condiciones higrotérmicas adecuadas para la conservación preventiva del patrimonio cultural, en el contexto actual de cambio climático. Actualmente soy Profesora Interina de Acondicionamiento y Confort en UNRN, y mis objetivos se relacionan con tecnologías, energía, clima y ambiente para lograr condiciones de confort en edificios del Alto Valle de Río Negro.



Pilar Mercader-Moyano
PMM@US.ES
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Universidad de Sevilla: Sevilla, Andalucía,
ES.
<https://orcid.org/0000-0003-2180-4887>

PhD Arch Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Mi investigación se enfoca en la rehabilitación ecoeficiente de edificios y barrios, abarcando aspectos de cálculo de huella ecológica, eficiencia energética, consumo de recursos naturales, y emisiones de CO₂ en construcción. Soy Catedrática de Universidad (US), y me interesa la innovación y el uso de nuevas tecnologías y materiales.



Analía Gómez
analía.gomez@fau.unlp.edu.ar
Universidad Nacional de La Plata
<https://orcid.org/0000-0001-7057-354X>

Arquitecta, Doctoranda en FAU - UNLP. Investigadora CONICET. Como especialista en Conservación Preventiva llevo adelante un grupo de investigación sobre la temática en museos, archivos y bibliotecas con el fin de implementar estrategias bioclimáticas que permitan prolongar la vida de los bienes para las generaciones futuras. Soy Profesora Titular Ordinaria de Instalaciones de Edificios en la FAU-UNLP y Profesora Titular de Conservación Preventiva en la FA-UMSA. Actualmente me desempeño como Prosecretaria de Vinculación Tecnológica en la FAU-UNLP.

Artículo enviado 27/01/2021
Artículo aceptado el 27/11/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.901>

Estudio técnico y propuesta de intervención conservativa del bordado chino de Chaozhou, “Cien Pájaros adorando al Fénix (百鳥朝鳳)”

Thainá Vígio Ribeiro, Sofía Vicente Palomino, Eva M^a Montesinos Ferrandis, Dolores Julia Yusá-Marco

Resumen: En este artículo se aborda el estudio de un bordado chino en seda del siglo XX, el tema es Cien Pájaros adorando al Fénix. A partir del examen técnico-artístico se logró determinar su estilo como Chaozhou, la elaboración del bordado, sus puntadas, y las características técnicas del tejido de soporte. Se realizó un detallado análisis microscópico, solidez de tintes, pH y colorimetría, a fin de identificar los materiales componentes del bordado, así como establecer su paleta cromática y cuantificar la pérdida de color entre el anverso y reverso. El análisis mediante Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) determinó el avanzado grado de deterioro del tejido de seda y de los hilos del bordado y de sus colorantes. Con todo ello se pudo constatar el grave estado de deterioro de los materiales que obliga a plantear una propuesta de intervención conservativa adecuada para salvaguardar este preciado bien cultural, ya que es un ejemplo de un tipo de obra de gran interés por el contexto histórico y cultural al que pertenece.

Palabras clave: Bordado chino Chaozhou, seda, Fénix, propuesta de intervención conservativa, FTIR

Technical study and conservative proposal of the Chaozhou Chinese embroidery One Hundred Birds Playing Homage to the Phoenix (百鳥朝鳳)

Abstract: This article presents the study of Chinese silk embroidery, known as One Hundred Birds Playing Homage to the Phoenix, from the early twentieth century. The technical-artistic exams determined its style as Chaozhou, its stitches, weave, and elaboration. A detailed microscopic analysis, dye solubility test, pH and colorimetry were carried out to determine the component materials of the embroidery, as well as create its color palette and quantify the loss of color between the front and back. Fourier Transform Infrared Spectrophotometry (FTIR) analysis was used to verify the advanced degree of polymeric deterioration of the silk fibers and their dyes. With all this, it has been possible to propose the appropriate intervention to safeguard this precious cultural heritage, since it is an example of a type of work of great interest due to the historical and cultural context to which it belongs.

Keywords: Chaozhou chinese embroidery, silk, Phoenix, conservative proposal, FTIR

Estudo técnico e proposta de intervenção de conservação do bordado chinês de Chaozhou, “Cem Pássaros adorando a Fénix (百鳥朝鳳)”

Resumo: Neste artigo aborda-se o estudo de um bordado de seda chinês do século XX, que se intitula “Cem Pássaros adorando a Fénix”. A partir do exame técnico-artístico foi possível determinar o seu estilo como Chaozhou, a elaboração do bordado, os seus pontos, e as características técnicas do tecido de suporte. Foi realizada uma análise microscópica detalhada, solidez da tintura, pH e colorimetria a fim de identificar os materiais componentes do bordado, bem como estabelecer a sua paleta cromática e quantificar a perda de cor entre a frente e o verso. A análise por Espectrometria de Infravermelhos por Transformada de Fourier (FTIR) determinou o grau avançado de deterioração do tecido de seda e dos fios do bordado e dos seus corantes. Tudo isto permitiu confirmar o grave estado de deterioração dos materiais, o que torna necessário propor uma intervenção de conservação adequada para salvaguardar este valioso bem cultural, pois é um exemplo de um tipo de obra de grande interesse devido ao contexto histórico e cultural a que pertence.

Palavras-chave: Bordado de Chaozhou chinês, seda, Fénix, proposta de intervenção de conservação, FTIR

Introducción

Los estilos de bordados en seda de la ciudad de Chaozhou en la provincia de Guangdong, China, han sido reconocidos desde 2006 como Patrimonio Cultural Inmaterial (Zheng 2019). Generalmente, se caracterizan por una tela de seda blanca con bordados policromos que recuerdan a la naturaleza subtropical y cuyo objetivo principal es atraer la buena suerte. En Occidente son conocidos genéricamente como Bordados Cantoneses y fueron exportados a Europa como bien textil desde el siglo XVII hasta principios del siglo XX a través de la Ruta Marítima de la Seda y las diásporas chinas (Enyu 2016).

Una obra de este fino bordado datada en 1920 [Figura 1] fue depositada temporalmente en el Taller de Conservación y Restauración de Textiles del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio (IRP-UPV) con el objetivo de analizarla en profundidad y trazar un adecuado plan de conservación preventiva. El estudio se inició con una entrevista semidirigida a la propietaria logrando su contextualización. Después se realiza un estudio de los aspectos iconográficos, sociales y técnico-artísticos de la pieza textil. Finalmente, se profundiza en su análisis técnico por medio de documentación fotográfica, microscopía óptica, digital y estereoscópica, test de solubilidad de tintes y pH, análisis colorimétrico, así como Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR-ATR); en base a ello se ha podido determinar materiales, técnicas y estado de conservación y de esta forma plantear una propuesta de intervención y conservación preventiva adecuada que ayudará a salvaguardar este preciado bien cultural.



Figura 1.- Fotografía general de la obra Cien Pájaros Adorando al Fénix: a) haz; b) envés. Fuente de las autoras.

Los bordados chinos de la ciudad de Chaozhou

En China el bordado comenzó aproximadamente hace 3.000 años en la dinastía Zhou del Este (Zhang 2016), desarrollando innumerables técnicas y características propias. En el Clásico de Historia o Shū Jīng, uno de los documentos que ha servido

como base política y filosófica para la China antigua, se menciona la preferencia de la seda para bordar; el bordado se denomina 繡花, donde 繡 es bordado y 花 es flor, y juntos significan "hacer decoraciones con agujas".

El bordado Yue de la provincia de Guangdong incluye el bordado de la ciudad de Guangzhou 廣州 y el bordado de la ciudad de Chaozhou 潮州 (Sun 2007). En la dinastía Song, el puerto de Guangzhou presentaba gran actividad, lo que promovió el desarrollo del bordado, que comenzó a exportarse a las regiones más cercanas y posteriormente por los portugueses y otros europeos.

El bordado puede realizarse por una sola persona o por varias manos a la vez, algunas veces necesitando años para finalizar un trabajo. Se suele utilizar el bastidor horizontal, hecho de bambú o pino, apoyado por dos o más caballetes y con la tela base del bordado atada por cordones de algodón. Se suelen utilizar tres tipos de agujas metálicas: una recta con la punta ligeramente curva, otra con la punta fina y una tercera de espesor mediano (Shao 2018). Tensada la tela en el bastidor, se ordenan los diversos colores de los hilos y se anudan en varias barras cerca del bordador, de modo que pueda seleccionar fácilmente los colores mientras borda. Luego, se separan los hilos de seda en hebras individuales. Para orientarse en el proceso de creación de la figura, utilizan un papel con el diseño dibujado al lado del bastidor o atado bajo él, o se delinea el dibujo directamente en la tela.

La costura del bordado es el factor decisivo que afecta al estilo de todo el trabajo, siendo también la forma de distinguir las clases de bordado, que se dividen en tres categorías: bordados en hilo de algodón 棉線繡, bordados en hilos de seda 絲線繡 y bordados en hilos metálicos 金銀線繡. Todos ellos poseen la tela base de raso de seda. Los bordados en hilo de seda son la categoría que más se exportó a Europa y está caracterizado por la exclusiva presencia de seda. Generan el efecto naturalista al simular texturas con las puntadas, contrastando los colores intensos con una tela blanca, como se presenta en nuestro caso de estudio.

Contextualización de la pieza

A mediados de la era republicana y después del establecimiento del Partido Comunista en China (1949) se produjo una disminución de las exportaciones de la región de Guangdong, con su consiguiente cierre de locales de confección del bordado, aunque algunas familias mantuvieron la tradición de bordar para usos cotidianos y ceremonias especiales. En esta época se inició la primera gran dispersión a escala global de esta población, migrante, que provenían de la región sur de Guangdong y de Shanghái. Muchos de ellos se llevaron el bordado de Chaozhou como herencia familiar. En Brasil, mediante el análisis de datos del Censo Demográfico y del Sistema Nacional de Cadastro e Registro de Estrangeiros (Shyu 2008, Hong 2016), se concluye que la mayor parte (alrededor del 80%) de esta población vive en São Paulo y Rio de Janeiro.

Según la entrevista realizada a la propietaria, su familia llegó a Rio de Janeiro en 1920 a través del puerto de Shanghai con dos bordados Chaozhou, uno de ellos, el Cien Pájaros adorando al Fénix. Estos bordados, en un principio, estaban destinados a ser vendidos, pero debido a su belleza terminaron por transformarse en una herencia familiar de cuatro generaciones y de más de cien años de antigüedad.

Descripción y aproximación iconográfica

La obra está realizada sobre un tejido de raso de seda, es un bordado al pasado, de la categoría Bordado en hilo de seda, donde el motivo decorativo atraviesa la tela base mediante una aguja creando múltiples puntadas, logrando un dibujo naturalista. Presenta zonas bordadas con poca densidad y una única capa de recubrimiento, sin rellenar completamente la base. Diferente a la mayoría de los bordados Chaozhou, este no lleva la inscripción o título de su temática. Sus medidas son 50 x 70 cm, los bordes cubren el lateral del bastidor 1,5 cm, las perforaciones de los clavos de 0,4 cm diámetro y el cerco de humedad de 42 x 27cm, cubriendo un total de 32,4% de la pieza. Presenta diferentes atributos vegetales: césped, herbáceas, un bambú, un pino y la peonía. Con relación a las aves hay cien en total, todas

con sus respectivas parejas, cincuenta detalladas y otras cincuenta volando distantes en el cielo.

En el arte chino predominan las representaciones de flora y fauna que denotan un significado vinculado a cualidades humanas. El simbolismo proviene sobre todo de las fuentes literarias, mientras que la composición formal de las escenas está influenciada por la pintura. El bordado retrata la temática "Cien Pájaros adorando al Fénix" 百鳥朝鳳, donde 百 es cien, 鳥 es pájaro, 朝 es hacia y 鳳 es fénix. Esta criatura mitológica surgió en objetos funerarios y rituales que poseen la característica común de un culto totémico a las aves junto al Sol y al cielo (Hu 2019). Hay muchos textos en los que está documentada la existencia mitológica del fénix, uno de los más antiguos es del período pre-Han: 爾雅 Er Ya, en el capítulo 17 - Interpretando Pájaros y 論語論 Las Analectas de Confucio (Knapp 2019). En el primero hay una descripción de su apariencia de cola rizada y la diferencia entre macho (feng) y hembra (huang). Ya en el segundo, se le atribuye la simbología celeste a la cabeza del ave, los ojos el sol, la espalda la luna, los pies la tierra y la cola los planetas (Yucai 1974). En la cultura contemporánea, esta ave híbrida es parte de las artesanías populares y se describe como una combinación de cabeza de faisán dorado, cuerpo de pato mandarín, cola de pavo real, patas de grulla, boca de loro y



Figura 2.- Identificación iconográfica de los elementos: 1) grulla de corona roja; 2) pino; 3) águila; 4) cacatúa; 5) golondrina; 6) ave del paraíso; 7) pájaros; 8) loro; 9) fénix; 10) peonía; 11) palomas; 12) bambú; 13) pavo real verde; 14) garza; 15) rocas; 16) patos mandarines; 17) faisán dorado y 18) gallo rojo. Fuente de las autoras.

alas de golondrina, a menudo sobre un fresno rojo, un pino o una paulonia, como se aprecia en el bordado. El tema del bordado surgió, según cuenta la leyenda, que el fénix ayudó a los demás animales del bosque cuando hubo una sequía y estos, le regalaron las más hermosas partes de sus cuerpos. La escena alude a los valores confucianos de la comunidad que se congrega en torno a un determinado personaje o emperador. El monarca era considerado como el hijo celestial y mantenía, así como los pájaros, una proximidad con el cielo. Se establece la jerarquía donde para cada rol hay deberes claramente definidos y la mutua responsabilidad entre el superior y el subordinado (Yucui 1974). En ese sentido, cada ave posee una función o significado específico, que se complementa al emparejarse con otras [Figura 2].

Técnicas de ornamentación

El bordado está ejecutado mediante la técnica de puntadas cortas, planas y sin superposición de hilos, siendo esto una de las principales características del estilo Chaozhou. Se combinan hilos sencillos lisos o con dos a tres hebras de distinto color y retorsión floja, lo que genera un gran brillo (Bertin-Guest 2003). Las puntadas se dividen en cuatro tipos, de acuerdo con la función que van a ejercer en el bordado, así tenemos los básicos (基本針法), los de contorno (輪廓線針), de detalles (細針法) y de fusión (搶針套). Dentro de las puntadas básicas de relleno, se encuentra la puntada de satén recta 直緞針, presente en las rocas y Sol. Similar a ésta, la puntada Xie Zhen 斜針, con las líneas en diagonal, presente en la corteza del pino, en el tallo de la flor, en los pájaros distantes volando, en la cola del ave del paraíso, en las partes negruzcas de las alas y de rellenos en general. Para indicar el movimiento del agua y el césped, se ha usado la puntada atrás 倒縫. Se aprecian en el bordado las puntadas de contorno, presente en los ojos, algunos contornos de aves, en los picos y en las crestas del gallo. Una variación de esta es la puntada hacia adelante que contornea perímetros circulares o curvos 滾針 que se encuentra en los ojos del fénix y faisán.

Las puntadas de detalles combinan a la vez hilos sin torsión y torsionados, a menudo en hojas, plumajes y pelos. En los nudos del bambú utilizaron el punto clavo 釘針, en las hojas del pino la puntada radial 徑向針 ligeramente torsionada y la misma puntada para la cola del pavo real. Para representar las escamas de los pies de los pájaros grandes se empleó el Lei Zhen 勒針. Por último, se observó dentro de la puntada fusionada tres variaciones: Puntada en capa 套針 – hilos uniformes por hileras en el ojo de la pluma del fénix; 搶針單套 – puntadas paralelas cortas y largas, sobreponiendo ligeramente unas a otras, como en la cara del pato mandarín y la imitación de pelaje y escamas 搶針雙套 – se realiza con puntadas juntas colocadas una al lado de la otra de forma escalonada, sin ser paralelas ni de la misma longitud, presente en los pétalos de la flor, en las escamas del fénix y en la cara del faisán. Esta última puntada es la que lleva mayor cantidad de hilos y por ese motivo se emplea en las figuras protagonistas, como el fénix.

Metodología experimental

—Estrategia de muestreo

Se ha dividido el bordado en 4 escenas (a, b, c y d) en el anverso (A) y en el reverso (R). La nomenclatura va precedida de M (muestra), seguida de una numeración y de la zona de extracción (h: hilo, t: tela y m: mancha).

—Instrumentación y procedimiento experimental

La estrategia experimental ha consistido en distintas fases consecutivas de análisis que han ido permitiendo conocer datos acerca del estado de conservación de la pieza, lo que ha determinado la propuesta de intervención razonada previa a la intervención conservativa.

Se inicia con las fotografías generales, rasantes y tangenciales adquiridas con una cámara réflex Nikon DX AF-Snikkor 18-55mm, mientras que para las UV se ha añadido un filtro LIV CLE y para las macrofotografías un objetivo Macro 1:1 D5200 90mm, y para identificar la densidad del tejido base, el ligamento, ángulo de torsión y punto de ligamento se adquirieron microfotografías con un microscopio óptico Leica DM750, X4-X200, con sistema fotográfico digital acoplado modelo MC170HD y software LAS v.4.9.0., ambos en el Laboratorio de Fotografía del Dpto. CRBC-UPV.

También, en la identificación de las puntadas se utilizó un microscopio USB Dino-lite Capture con software Premier 2.0 versión 1.5 32 A a 50mm en el anverso y respectivo reverso.

Después se prosigue con el test de solidez del tinte. Su resultado indicará la posibilidad o no de realizar tratamiento acuoso. Se utilizaron siete muestras de hilos sueltos que fueron extraídos tanto del anverso como reverso del bordado, amarillo claro, cian y tonos verdosos. Debido a su pequeño tamaño, se aplica el agua a través de papeles secantes siguiendo el método de Sheila Landi, se mantienen las muestras en el sándwich de papel secante durante 24 horas, tras lo cual se observa si se ha producido solubilidad de algún color, y se confirma bajo observación con microscopio digital (Landi 1985).

Otro dato importante en la toma de decisiones son los valores de pH, pues proporcionan información del estado de alteración del tejido y en función de este se decide qué acción restaurativa o conservativa realizar. Se emplea un pH-metro Laquatwin Horiba y cilindros de agarosa obtenidos con el perforador dérmico cilíndrico (2mm x 4mm Ø A8963,0100 ITW Reagents), preparados en agua pura desionizada (4g-96ml), siguiendo el protocolo de Wolbers (Wolbers, Dillon y Lagalante 2014). Se llevaron a cabo un promedio de 3 medidas por zona (tiempo de contacto del gel de 2 minutos), esto permite que los iones del textil puedan migrar hacia el gel (concentración iónica de 10µS/cm) y así obtener los valores de pH.

Después se determina la gama y posible alteración cromática mediante el análisis colorimétrico, el cual se realizó utilizando el sistema internacional CIELAB con las coordenadas $L^*a^*b^*$ y los atributos de color C^*h^* , generando una diferencia total de color (ΔE) que si supera el valor 2,0 es visualmente perceptible por el ojo humano (Melgosa 2001). Se empleó un espectrofotómetro MINOLTA CM-2600d con iluminante primario D65 y observador 10° , apertura S, 100% UV y componente especular incluido (SCI). Se tomaron 5 medidas y se calculó su desviación estándar.

La caracterización química de la fibra y su grado de degradación se obtuvo mediante un espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier Bruker Optik GmbH Alpha II FTIR con accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) modelo A225/Q PlatinumATR_Diamond del Dpto. CRBC-UPV. Las condiciones de trabajo fueron 64 escaneos, 4 cm^{-1} de resolución rango de 4000 a 500 cm^{-1} . Los espectros IR obtenidos en transmitancia se convirtieron en absorbancia y se procesaron con el software OPUS/IR, v.8.5 (SP1-64Bit).

Resultados y discusión

— Aproximación al estado de conservación de la pieza

Tras su observación, se aprecian fibras sueltas y pérdidas diseminadas por toda la obra, decoloración de tintes, manchas y varios desgarros principalmente en la dirección de la trama. Además, hay pérdidas de puntadas en ambas caras, sobre todo en las efectuadas con hilo simple sin torsión, como en la hoja de pino (puntada 釘針) y el agua con la hierba (puntada atrás). En general, exhibe poca suciedad en la superficie y no parece haber sido intervenida previamente.

Exhibe cercos de humedad, sangrado de tintes y variaciones de color. Durante la entrevista, la propietaria señaló que la pieza estaba enrollada en una bolsa de plástico y guardada en un armario para evitar manchas y polvo, siendo revisada ocasionalmente. En 1970 su familia decidió enmarcarla como si fuera un lienzo, plegando sus bordes y perforándolos con clavos en un bastidor de madera y lo dejaron expuesto en el salón. Ya en 1985 fue enmarcada por última vez con un marco lacado, paspartú, acabado en terciopelo rojo, un cristal y un tablero de aglomerado para dar estabilidad al conjunto.

La tela del bordado tiene un aspecto amarillento y problemas de decoloración, el bordado posee sangrado de tintes por ambos lados, principalmente en los amarillos oscuros, naranjas y rojos.

— Documentación fotográfica de las puntadas

Con las fotografías tangenciales se comprueba la riqueza de distintos relieves y la volumetría en las puntadas. En total se contabilizan 11 tipos de relieves [Figura 3a y 3b]. En las fotografías de luz transmitida es posible observar los diferentes grados de cubrimientos de las puntadas, así como algunas marcaciones de grafito [Figuras 3c y 3d]. Se nota que las puntadas básicas de relleno satén recta y puntada hacia atrás, están formadas por hilos largos, mientras que Xie Zhen y la puntada de detalle punto clavo son los de hilos más cortos. En general, la gran mayoría de las puntadas están realizadas con un mismo hilo el cual pasa todo el envés de la tela, con pocos nudos. En la [Figura 4] se presentan detalles de las puntadas.



Figura 3.- Detalle de la fotografía del fénix: a) luz incidente y b) luz tangencial. Detalle con luz transmitida: c) zona de poca densidad de hilos en las puntadas y d) zona de mayor densidad en las puntadas.

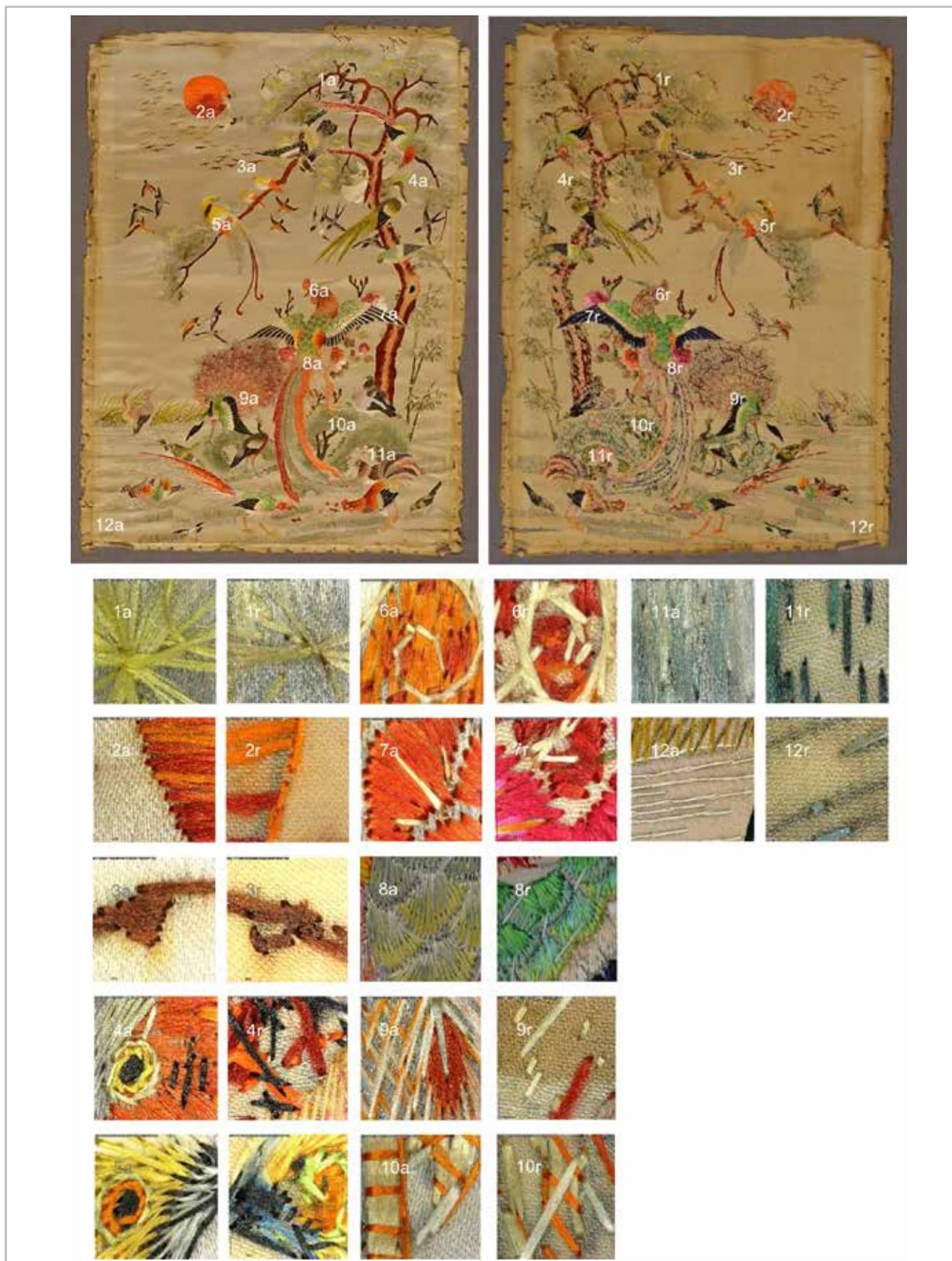


Figura 4.- Macrofotografías de las técnicas de ornamentación en el anverso (a) y respectivo reverso (r): 1) Puntada radial con hilo ligeramente torsionado; 2) Puntada de Satén recta; 3) Puntada Xie Zhen; 4) Puntada de contorno en perímetros circulares; 5) Puntada de contorno básica; 6) Puntada en espiral; 7 y 8) Puntada doble de imitación pelaje o escama 9) Puntada partida con hilos de dos cabos torsionados dispuesta radialmente; 10) Puntada Lei Zhen; 11) Puntada de Satén recta y 12) Puntada atrás.

— Examen morfológico de fibras y ligamentos

Tela base: El soporte está confeccionado con seda *Bombix mori*, la urdimbre más fina cubre todo el haz dotando de gran brillo a esta superficie, efecto común en los rasos. El método utilizado para crear el tejido sería el telar industrial, presentando similar finura y uniformidad de los hilos de cada dirección. Se identificaron dos efectos estructurales diferentes: Torsión en S en la trama con un ángulo de torsión flojo de 16° y sin torsión aparente en la urdimbre. Se trata de un ligamento de raso de seda natural, con densidad de 140 hilos/cm en la urdimbre y 76 hilos/cm en la trama y con un promedio de diámetro de la urdimbre de $80\ \mu\text{m}$ y de $111\ \mu\text{m}$ para la trama [Figura 5].

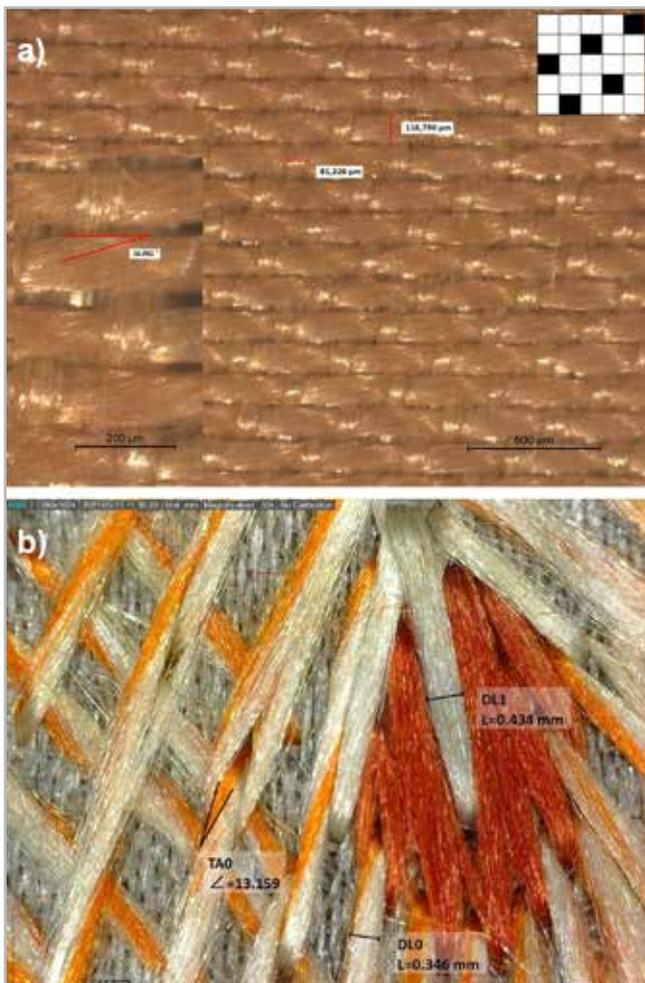


Figura 5.- a) Microfotografía donde se aprecia el grado y la torsión en S de la trama, los diámetros y el curso del ligamento de la tela; y b) macrofotografía en las que se puede apreciar la ausencia de torsión y el diámetro del hilo monocromático simple. También se observa el hilo bicolor de dos cabos en el cual aparece una retorsión floja en Z, pero los cabos no tienen torsión aparente.

Bordado: El bordado está realizado con dos tipologías diferentes de hilos ambos formados por filamentos de seda. El primer tipo es hilo simple sin torsión aparente. La segunda tipología se caracteriza por ser hilos de dos cabos cada uno de un color distinto y la retorsión que los une es en dirección Z y muy floja con ángulos entre 13° y 24° .

Los diámetros en general de todos los hilos se encuentran entre $10\text{-}14\ \mu\text{m}$. Como resultado de la morfología descrita, se puede señalar que las puntadas son delicadas y brillantes pero frágiles.

— Observación mediante radiación lumínica UV e IR

Con la observación bajo radiación IR se aprecian las marcaciones con grafito que se utilizaban para orientar las puntadas [Figura 6a y 6b], mientras que bajo luz ultravioleta fue posible obtener información preliminar sobre fluorescencia de algunos colorantes [Figura 6c y 6d], siendo los principales colores los rosas de las flores, amarillo de las plumas de los pájaros, verde en el fénix y blanco de las grullas. La aparición de fluorescencia puede indicar la presencia de colorantes sintéticos o de algún tipo de acabado (De Luca *et al.* 2017). La gran cantidad de colores morados y rosas encontrados en este tipo de bordado, destinado a una producción a gran escala para su exportación, es otro indicativo del uso de colorantes sintéticos de bajo coste. Estos dos tonos son unos de los más difíciles de obtener con los métodos tradicionales chinos de tinción natural (De Luca *et al.* 2017; Han y Chen 2019), requiriendo una enorme cantidad de materia prima y sobreteñidos, elevando así, el coste del producto final.

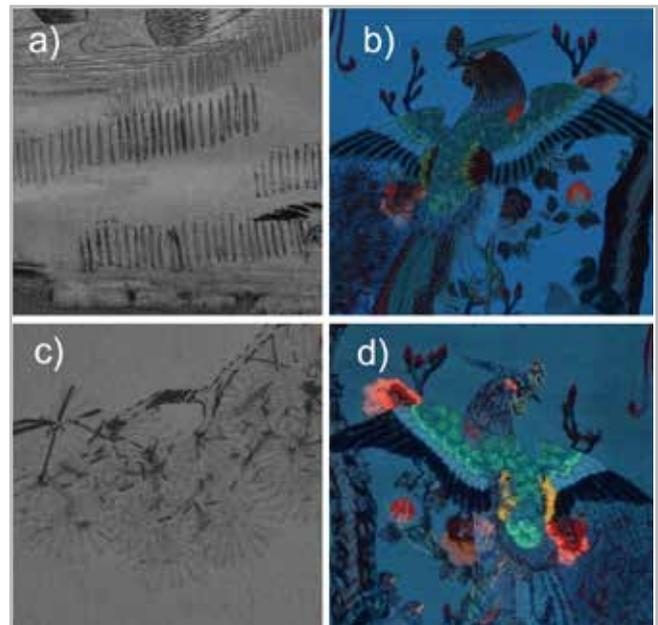


Figura 6.- Detalle de fotografías en radiación IR: a) anverso y c) reverso, donde se observan las marcaciones; y en radiación UV: b) anverso y d) Reverso, donde se aprecia la fluorescencia de los hilos.

— Examen morfológico mediante Microscopio Óptico con Luz Polarizada

El examen morfológico revela el estado avanzado de degradación de las fibras de seda. Es posible observar la morfología triangular de los dos filamentos de fibroína y ausencia de sericina. El tejido base es el más

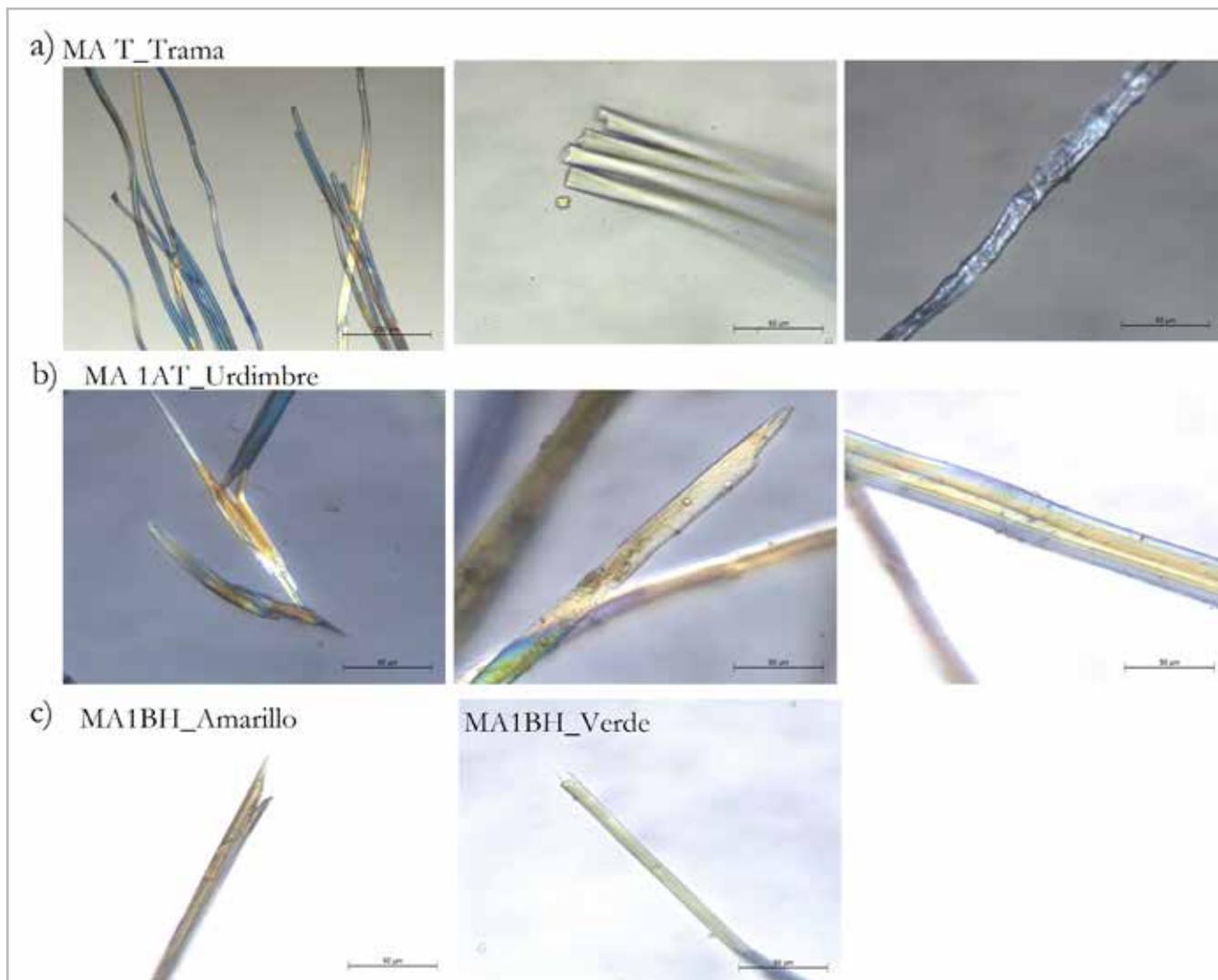


Figura 7.- Microfotografías de fibras con luz polarizada (x40 y 45°): a) MA T_Trama (Tejido base), b) MA1AT_Urdimbre (Tejido base Anverso) y c) MA1BH (Bordado-Hilo).

comprometido, especialmente en la urdimbre. Ambos deterioros fueron observados en las muestras de urdimbre y trama. En el bordado se aprecian, sobre todo, grietas y cortes transversales en diferentes partes [Figura 7].

— Test de solubilidad de tintes y evaluación del pH

Tras 24 horas, no se observó solubilidad de ninguno de los colores amarillo claro, cian y tonos verdosos, confirmado bajo observación con microscopio digital y con papel absorbente antes y después del proceso.

Con relación al pH, en la tela base, este no se ve afectado por la presencia de manchas, a excepción de los márgenes del gran cerco de humedad, los cuales presentan ligera acidez en comparación con su interior y exterior. También se obtiene una mayor acidez en los bordes que estaban en contacto con la madera del bastidor y en las zonas de colocación de los clavos donde aparecen manchas por su oxidación. Ya en el bordado, no se ve disparidad entre las puntadas por anverso y

reverso, sino una tendencia hacia la acidez de los colores morados y rosas. Por un lado, no hay mención de tonos rosas como colorantes naturales en los principales recetarios de tintura natural china del período (Han y Chen 2019). Por otro lado, estos datos combinados con lo observado en las fotografías UV, coinciden cualitativa y temporalmente con el comportamiento del colorante sintético rodamina B, un tinte rosado común en China en la década de 1900 (Li 2018; De Keijzer y Hofmann 2015). Los resultados revelan un pH ácido 4.8 para la seda deteriorada en la muestra del bordado CR29Bh. Sin embargo, en el tejido del reverso en la zona CR2Am se obtiene un pH 10.3, este valor puede indicar el avanzado estado de descomposición del polímero en diferentes zonas del tejido y del bordado.

Con estos resultados de pH y con algunas zonas de bordado solubles y mecánicamente frágiles ante el método de agarosa, conocido por su control de humedad sobre los textiles, se ha descartado cualquier intervención de limpieza en medio acuoso, o por capilaridad mediante uso de geles rígidos.

— Caracterización colorimétrica

La paleta cromática china del bordado se determinó comparando el reverso (colores conservados) con el anverso (decoloración) en un total de 16 muestras. También, se estableció el deterioro del tejido cuantificando las variaciones cromáticas que se han producido y cuáles han tenido mayor y menor alteración, tomando como punto de referencia una zona salvaguardada por el marco (CA12At). Además, se estudió si las degradaciones del soporte interfieren en los colores de las puntadas [Tabla 1].

En el bordado, se observa una gama cromática muy diversa. La luminosidad varía de muy oscura a muy clara,

cromas puros a débiles y tonalidades de rojo-anaranjado hacia violeta-azulado. En el anverso, todas las muestras han perdido pureza de color y se han aclarado. Las menores alteraciones se produjeron en el Sol en CR3Ah-CA3Ah con un rojizo anaranjado puro y en el ala del pavo real en CR41Ch-CA50Ch con un magenta rojizo grisáceo. Las alteraciones más significativas se sitúan en el ala del fénix en CR43Dh-CA49Dh con un tono de violeta azulado a amarillo anaranjado y en sus escamas en CR44Dh-CA40Dh de un cromata vivo a uno medio.

Entre los puntos CR3Ah-CA3Ah, se observa como la tonalidad varía hacia un naranja con una diferencia de color (ΔE) imperceptible al ojo humano, de forma que es uno de los colores más estables ante la radiación

COORDENADAS COLORIMÉTRICAS DEL BORDADO									
Muestra	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	C*(D65)	h(D65)	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	ΔE^*
CR3Ah	48,9 ±0,3	55,1±0,3	84,2±0,5	100,6±0,5	56,81±0,0	0,2	-2	0,3	0,3
	medio			5	6				
CA3Ah	49,1±0,3	53,1±0,2	84,5±0,6	99,8±0,6	57,83±0,0	0,127	0,95	0,23	0,98
	medio			3	2				
CR41Ch	0,143±0,005	0,38±0,03	0,09±0,01	0,39±0,0	13,26±0,0	0,127	0,95	0,23	0,98
	negro			3	2				
CA50Ch	0,27±0,02	1,33±0,14	0,32±0,04	1,36±0,1	13,37±0,1	0,127	0,95	0,23	0,98
	negro			4	1				
CR43Dh	8±2	11,5±0,8	-27±1	30±2	292,9±0,9	46,5	-9,23	39,5	61,7
	negro			30±2	292,9±0,9				
CA49Dh	54,5±0,3	2,27±0,15	12,3±0,6	12,5±0,6	79,6±0,5	46,5	-9,23	39,5	61,7
	medio			12,5±0,6	79,6±0,5				
CR44Dh	50,7±0,3	35,8±0,6	49,1±0,7	60,8±0,9	126,1±0,2	-2,66	-55,4	-22,2	59,7
	medio			60,8±0,9	126,1±0,2				
CA40Dh	48,04±0,15	-19,6±0,2	26,9±0,5	33,3±0,5	126,1±0,4	-2,66	-55,4	-22,2	59,7
	medio			33,3±0,5	126,1±0,4				
COORDENADAS COLORIMÉTRICAS DEL TEJIDO									
CR11Am	51,1±0,4	10,71±0,13	30,2±0,3	32,0±0,4	70,44±0,13	6,86	-4,81	-6,31	10,5
	medio			32,0±0,4	70,44±0,13				
CA5Am	58,0±0,4	5,9±0,1	23,89±0,14	24,6±0,2	76,2±0,2	6,86	-4,81	-6,31	10,5
	claro			24,6±0,2	76,2±0,2				
CR15Am	68,1±0,3	11,1±0,2	34,7±0,4	36,4±0,4	72,3±0,2	7,53	-4,39	-8,5	12,2
	claro			36,4±0,4	72,3±0,2				
CA7Am	75,58±0,12	6,71±0,04	26,2±0,2	27,1±0,2	75,65±0,04	7,53	-4,39	-8,5	12,2
	muy claro			27,1±0,2	75,65±0,04				

Tabla 1. Valores de las coordenadas colorimétricas (L*, a*, b*) y su desviación estándar y la diferencia total de color ΔE^* , en el haz y respectivo envés del tejido y bordado.

lumínica. Los colores muy puros suelen ser un fuerte indicativo de la presencia de colorantes sintéticos. En el contexto de la obra, se sabe que los colorantes naturales anaranjados no suelen tener buena solidez a la luz, además de la tendencia a solubilizarse y sangrar el tinte. Cabe destacar por último que, las medidas CR42Dh-CA39Dh y CR44Dh-CA40Dh coinciden con características de colorantes sintéticos que emiten fluorescencia y de pH ácido. Estos colorantes podrían ser rodamina B y fluoresceína (Lodeiro *et al* 2018, Choi *et al.* 2010).

En el haz del soporte, el punto CA12At es un naranja-amarillo débil muy claro, valores que se acercan a un color blanquecino. De acuerdo con el proceso de confección de la tela de seda china para bordados y, teniendo en cuenta el aspecto de los bordados Chaozhou contemporáneos, se confirma que el tejido de la obra era blanco. La urdimbre tiene una tonalidad amarillo-anaranjada, mientras que en el envés se observa el mismo amarillo anaranjado, como en la mancha CR11Am-CA5Am. A diferencia de lo observado en el bordado, no hay grandes variaciones totales de color, pero todas ellas son perceptibles al ojo humano, siendo el mayor cambio 26,8 en CR17Am-CA6Am. De hecho, los bordes con manchas de óxido son los que más modificaciones han sufrido en claridad, croma y tono, pero no por acción lumínica, sino debido a los materiales del enmarcado. Los resultados también indican que las manchas no afectan al color del bordado y sugieren la presencia de un procesamiento diferente para la trama. Esta distinción puede estar causada por diferentes condiciones a las que han estado sometidas la trama y urdimbre y de una alteración de color por parte del acabado. El oscurecimiento, como se apreció en microscopia, no indicaría una mayor debilidad fisicoquímica si se compara con el anverso.

— *Caracterización química mediante Espectrofotometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR-ATR)*

Los espectros IR presentan bandas características de una seda deteriorada desgomada: bandas 1580-1700 cm^{-1} (amida I y estiramiento de grupos carbonilo (C=O)), bandas 1480-1580 cm^{-1} (amida II con la vibración de flexión del grupo NH), amida III en la región 1200-1300 cm^{-1} con estiramiento de grupos CN en la urdimbre y 1100-1067 cm^{-1} para amida IV (Hong *et al* 2021). En 3300 cm^{-1} (grupos -NH, O=C-) se encuentra la amida (A) (Hong. *et al* 2021; Luxford 2009; Tang *et al.* 2006). La elevada absorción en la amida II es propia de la seda degradada. También se observan estructuras secundarias de láminas β en la fibroína, especialmente en la urdimbre, que afectan a sus propiedades mecánicas y le dan un aspecto friable.

La aparición de bandas IR en la región de carbonilo libre (1700-1775 cm^{-1}) es un indicador de oxidación, causado por la exposición a la radiación UV (Gong *et al.* 2020: 1-14). La radiación UV también causa una reducción drástica en la intensidad de la banda del doblete de

tirosina, aproximadamente 800-850 cm^{-1} , debido a su fotooxidación, aminoácidos presentes en las regiones amorfas (Vilaplana *et al* 2015).

En la trama, la baja absorbancia en bandas IR de las amidas I a IV, inicialmente, indicaría el predominio de la conformación de espiral aleatoria y α -helicoidal o α -hélice en detrimento de las hojas β . Se aprecia la amida V en 694 cm^{-1} (Hong *et al.* 2021). La notable intensidad a 1024-993 cm^{-1} y dos bandas alrededor de 3500 cm^{-1} , atestiguan la presencia de humedad extra absorbida y procesos de degradación típicos de sedas cargadas (Garside, Wyeth y Zhang 2010 a; Hacke 2008: 3-15; Garside, Wyeth y Zhang 2010 b).

En relación con los bordados, se utilizó la muestra MR2Ch teñida de verde por su mejor estado de conservación y muestras de seda sin teñir (urdimbre y trama), sin embargo, no se logró identificar ningún agente colorante, pero si la banda IR del doblete de tirosina y los picos característicos de la seda degradada.

Propuesta de intervención conservativa

Con los resultados obtenidos se ha podido planificar la intervención conservativa del bordado, que tiene como objetivo mejorar los problemas de alteración mecánica y química de la obra. Dado el estado de la seda y los tintes, no se recomienda aplicar una limpieza fisicoquímica. La intervención se divide en dos fases principales: hidratación y creación de puentes de hidrógeno en la seda y la creación de un sistema de montaje para su correcto almacenaje o exposición.

El primer paso consiste en la limpieza mecánica mediante aspiración controlada de baja succión (aspirador portátil museummuntz 555-MU-E-HEPA 700w con cepillo PHU y tul de nylon) por las dos caras. Dada la fragilidad del bordado se efectuará una primera aspiración a una distancia de 1cm fijado por una estructura exterior formada por un bastidor y el tul de nylon que entra en contacto con el bordado, antes de aspirar se fija la potencia de la aspiración.

A continuación, se realizará la hidratación mediante nebulización por sesiones y por ambos lados con glicerina al 2% en agua desionizada, una sesión anverso-reverso cada 24 horas, durante el transcurso del proceso la obra permanecerá en una cámara (22°C-55% HR aprox.). Se irá comprobando la mejora mecánica (Aghazadeh *et al.* 2018) del soporte y del bordado hasta observar la mejora necesaria para poder manipular la pieza con seguridad y corregir las deformaciones.

El sistema de acondicionamiento [Figura 8] fue diseñado para garantizar la conservación de la obra en óptimas condiciones, es decir, garantizar la estabilidad mecánica, evitar problemas de abrasión y crear una zona estable en



Figura 8.- Esquema ilustrativo de acondicionamiento y exhibición de la pieza textil.

condiciones ambientales. Este sistema además se puede utilizar tanto para almacenaje como exposición (no es aconsejable y solo durante periodos cortos de tiempo). El montaje de una caja mediante presión (Kajitami y Phipps 1986: 62-69; Brako 1986: 46-49) adaptada principalmente a tejidos arqueológicos frágiles, resuelve el problema de la estabilidad mecánica, creando un soporte que haga un encaje con la forma y profundidad necesaria para acoger la obra de forma confortable. Este sistema se basa en un soporte con un grado de amortiguación acorde a las necesidades de la obra creado mediante la superposición de estratos de diferentes características con un acabado

estético mediante un tejido que integre la obra y una tapa de metacrilato que en nuestro caso descansara presionando ligeramente sobre el perímetro superior creado a partir del hueco del sistema. La adaptación de este sistema se describe a continuación:

a) Preparación del marco de madera de pino: se utilizará con una capa de film de polietileno aluminizado termoestable Marvelseal 360®, como barrera de protección contra la transmisión de vapor, óxidos de madera y otros gases atmosféricos con la ayuda de una mini espátula térmica.

b) Preparación del soporte: la primera capa colocada sobre el marco es una lámina inerte de policarbonato compacto de 0,2 cm de espesor, seguida de una lámina de Art Sorb[®] SiO₂ – LiCl preacondicionado en el rango de 40% a 55% de HR que evitará la condensación de humedad. Sobre esta capa se colocará un marco de guata de poliéster para separar la tapa de metacrilato del textil o un separador hecho de materiales de archivo (por ejemplo, matboard de archivo) creando un bajo relieve, dejando un perímetro de 10 cm, de esta forma se puede controlar el grado de presión. Sobre estos estratos se coloca una tela de soporte que integra y estabiliza la obra y que recubre todo el conjunto. Este tejido será un tafetán de seda, previamente lavado en agua fría desionizada con detergente tensioactivo Teepol[®] y luego se teñirá con el tono adecuado utilizando tintes sintéticos Lanaset[®].

c) Colocación de la pieza en el montaje de la exposición: se realizará utilizando las puntadas adecuadas sobre el tejido de consolidación. Las zonas más debilitadas estarán protegidas con un tul monofilamento Nylon[®]. El montaje se completa con una tapa de polimetilmetacrilato de plexiglas[®] (PMMA) o un policarbonato con protección UV a presión y se cierra mediante tornillos de acero inoxidable, también será necesario tener en cuenta la electricidad estática y procurar un recubrimiento antiestático (por ejemplo, acrílico Tru Vue StaticShield[®]), se valorará el material que nos de las prestaciones más completas.

Conclusiones

La puesta en valor de la obra Cien Pájaros adorando al Fénix ha quedado afianzada como un bordado de seda popular artesanal Chaozhou, de enorme importancia cultural no sólo por su riqueza material-técnica, sino también, por constatar la evolución de la función social que se ha hecho de ella. Por un lado, la valoración de este tipo de bordado en el mercado de arte europeo durante trescientos años fruto de la globalización. Por otro lado, la diseminación, en el siglo XX, del bordado de la región de Guangdong a través de la diáspora china, ha cambiado su uso inicialmente comercial a herencia familiar, llegando a ser declarado Patrimonio Cultural Inmaterial en el siglo XXI. La investigación artístico-técnica e iconográfica ubicó la pieza en las dos primeras décadas del siglo XX. Se ha podido confirmar que se trata de una obra artesanal, con once puntadas, tres de ellas de alto nivel técnico y temática características de la categoría "Hilos de Seda Chaozhou", mientras que el tejido base es de confección industrial. Se ha determinado la gama cromática además de la investigación de recetas y procesos de tinción de origen chino, lo que ha permitido realizar una correspondencia de los colores del bordado con los colorantes naturales y sintéticos y establecer la pérdida de color en el anverso.

Se confirma que el principal factor de deterioro en la pieza es la radiación UV que, junto con factores

inherentes a la seda, colorantes y la manera en la que fue acondicionada a lo largo del tiempo ha provocado su decoloración en el anverso. Con la observación morfológica se han detectado varios tipos de deterioros fibrilares. Mediante FTIR-ATR, se han caracterizado a nivel molecular la urdimbre, y en la trama se ha identificado la presencia de bandas en 1024-993 cm⁻¹ propias de la seda cargada químicamente. Este tratamiento distinto aplicado a trama y urdimbre difiere del que se realiza en la mayoría de los rasos de seda en Europa.

Conforme se identificaban problemas en la pieza, se iban reduciendo las posibilidades de llevar a cabo una restauración textil con tratamiento de limpieza más profundos hasta llegar al estado de garantizar la rehidratación y protección de las fibras por medio de una intervención conservativa. Asimismo, esta investigación abre la posibilidad de profundizar en el conocimiento de los bordados chinos de seda y sus grados de deterioro.

Agradecimientos

Esta investigación se ha realizado en el marco de diferentes proyectos de investigación, las autoras agradecen la financiación recibida por I+D Generalitat Valenciana (GV/2007/212), Programa de Soporte a la Investigación y Desarrollo de la Universitat Politècnica de València (PAID-06-06-4720, PAID-00-07-2607, PAID-08-07-4466, PAID-06-10-2429). Las autoras quisieran agradecer a la Sra. Renata Garcia Costa, propietaria de la obra "Cien Pájaros adorando al Fénix (百鳥朝鳳)", que nos ofreciera la oportunidad de estudiar una pieza de bordado chino original Chaozhou en nuestro Taller de restauración textil del IRP-UPV y depositar su confianza en el equipo de investigación.

Declaración de divulgación

Las autoras no informaron de ningún posible conflicto de intereses.

Referencias

- AGHAZADEH, M., KARIM, R., ABDUL RAHMAN, R., SULTAN, M.T., JOHNSON, S.K., and PAYKARY, M., (2018). "Effect of Glycerol on the Physico chemical Properties of Cereal Starch Films", *Czech journal food science*, 36, 2018 (5): 403-409. <https://doi.org/10.17221/41/2017-CJFS>
- BERTIN-GUEST, J., (2003). *Chinese Embroidery: Traditional techniques*. Krause Publications, United States of America. ISBN 087349718X.
- BRAKO, J. (1986). "Textile mounting and support techniques: stretchers, strainers and solid supports". En *Textile Treatments Revisited Preprints, Harpers Ferry Regional Textile Group Symposium*. Washington, DC, 46-49.

- CHOI, M.G., CHA, S., PARK, J.E., LEE, H., JEON, H.L. AND CHANG, S.K., (2010). "Selective perborate signaling by deprotection of fluorescein and resorufin acetates", *Organic letters*, 12: 1468-1471. <https://doi.org/10.1021/ol100126c>.
- DE KEIJZER, M., HOFMANN, R., (2015). "German industrial dyes go east and west, period 1860–1913". En *Conference of 33rd Annual Meeting of Dyes in History and Archaeology*. University of Glasgow.
- DE LUCA, E., POLDI, G., REDAELLI, M., ZAFFINO, CH., BRUNI, S., (2017). "Multi-technique investigation of historical Chinese dyestuffs used in Ningxia carpet", *Archaeological and Anthropological Sciences*, 9: 1789-1798. <https://doi.org/10.1007/s12520-016-0334-z>.
- ENYU, S., (2016). "Tentative Discussion on the Influence of Maritime Silk Road Culture on Chaozhou Embroidery Culture". *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. <https://doi.org/10.2991/msetasse-16.2016.152>
- GARSDIE, P., WYETH, P., ZHANG, X. (2010). "Understanding the ageing behaviour of nineteenth and twentieth century tin-weighted silks", *Journal of the Institute of Conservation*, 33: 179-193. <https://doi.org/10.1080/19455224.2010.501293>.
- GARSDIE, P., WYETH, P., ZHANG, X. (2010). "The inherent acidic characteristics of silk, part II - Weighted silks", *e-Preservation Science*, 7: 126-131. Disponible en: <http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2010/Garsdie-03-06-2010.pdf>. [Consulta: 13/11/2021].
- GONG, D., ZHANG, X., GONG, Y., (2020). "Insight Into the Crystallinity of Chinese Ancient Silk by Synchrotron Radiation-Based and Conventional X-ray Diffraction Methods", *Journal of Conservation Science*, 36: 1-14. <https://doi.org/10.12654/JCS.2020.36.1.01>.
- HACKE, M. (2008). "Weighted silk: history, analysis and conservation", *Studies in Conservation*, 54: 3-15. <https://doi.org/10.1179/sic.2009.54.Supplement-1.3>.
- HAN, J., CHEN, C., (2019). "A comprehensive study of the dyes and dyeing methods for textiles excavated from a Qing tomb in Shijingshan District, Beijing", *Sciences of Conservation and Archaeology*, 31: 33-48. <http://www.wwbhkgkx.net/wwbhen/article/abstract/20190504>. [consulta: 10/08/2021].
- HONG, L., VAN DONGEN, E., (2016). 'China's Diaspora Policies as a New Mode of Transnational Governance'. *Journal of Contemporary China*, 25: 805-821, <https://doi.org/10.1080/10670564.2016.1184894>
- HONG, H., LEE, O.J., LEE, Y.J., LEE, J.S., AJITERU, O., LEE, H., SUH, Y.J., SULTAN, M.T., KIM, S.J., PARK, CH.J., (2021). "Cytocompatibility of Modified Silk Fibroin with Glycidyl Methacrylate for Tissue Engineering and Biomedical Applications", *Biomolecules*, 11: 35. <https://doi.org/10.3390/biom11010035>.
- HU, J., (2019). Study on Chinese traditional theory of artistic style, New Jersey World Scientific Company, 34-36. <https://doi.org/10.1017/9781108551571.005>.
- KAJITAMI, N., PHIPPS, E., (1986). "Pressure mounting: Our fifteen year's experience in interim treatment between stitch-mounting and consolidation". En *Textile Treatments Revisited, Harpers Ferry Regional Textile Group Meeting in the National Museum of American History: Smithsonian Institution, Washington DC*, 62-69.
- KNAPP, N. K., (2019). Noble creatures: Filial and righteous animals in early medieval Chinese, En: Sterckx, R., Siebert, M., Schäfer, D., (Ed.), *Animal Through Chinese History: Earliest Times to 1911*, 129-132. Cambridge. <https://doi.org/10.1017/9781108551571.005>.
- KOUL, B., UPADHYAY, H. (2018). "Fungi-Mediated Biodeterioration of Household Materials, Libraries, Cultural Heritage and Its Control". En *Fungi and their Role in Sustainable Development: Current Perspectives*, 597-615. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0393-7_32.
- LANDI, S. (1985). *The textile conservator's manual*. Butterworths series in conservation and museology, 41.
- LI, S., (2018). *Apreciación de las antiguas marcas comerciales de empresas extranjeras a finales de la dinastía Qing y principios de la República de China*. Antigua editorial de Wuxuan.
- LJALJEVIĆ GRBIĆ, M., UNKOVIĆ, N., STUPAR, M., VUKOJEVIĆ, J., NEDELJKOVIĆ, T., (2014). "Implementation of ATP bioluminescence method in the study of the fungal deterioration of textile artefacts", *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 22: 132-136. <http://fibtext.lodz.pl/article1376.html>. [consulta: 11/07/2021].
- LUXFORD, N. (2009). *Reducing the Risk of Open Display: Optimising the Preventive Conservation of Historic Silks*. University of Southampton, Faculty of Law, Arts & Social Sciences Textile Conservation Centre.
- MELGOSA, M., PÉREZ GÓMEZ, M., YEBRA, A., HUERTAS, R., HITA VILALVERDE, E. (2001). "Algunas reflexiones y recientes consideraciones internacionales sobre evaluación de diferencias de color." *Óptica pura y aplicada*, 34:(1): 1-10.
- MELO, D., SEQUEIRA, S.O., LOPES, J.A., MACEDO, M.F., (2019). "Stains versus colourants produced by fungi colonising paper cultural heritage: a review", *Journal of Cultural Heritage*, 35: 161-182. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.05.013>.
- OLIVEIRA, E., BÉRTOLO, E., NÚÑEZ, C., PILLA, V., SANTOS, H.M., FERNÁNDEZ-LODEIRO, J., FERNÁNDEZ-LODEIRO, A., DJAFARI, J., CAPELO, J.L. AND LODEIRO, C., (2018). "Green and Red Fluorescent Dyes for Translational Applications in Imaging and Sensing Analytes: A Dual-Color Flag", *Chemistry Open*, 7: 9-52. <https://doi.org/10.1002/open.201700177>.
- SHAO, X., (2018). *Chinese Embroidery: An Illustrated Stitch Guide - Over 40 Exquisite Projects*. Shanghai Press.
- SHYU, Y. J., CHEN, T. J., 'Integração cultural dos imigrantes chineses

no Brasil. *Revista de Estudos Orientais*. [10.11606/issn.2763-650X.i6p215-242](https://doi.org/10.11606/issn.2763-650X.i6p215-242).

SUN, P., (2007). *History of Chinese embroidery*. Beijing Library Press, Beijing.

SZOSTAK-KOTOWA, J. (2004). "Biodeterioration of textiles", *International Biodeterioration & Biodegradation*, 53: 165-170. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(03\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(03)00090-8).

TANG, Y., CAO, CH., MA, X., CHEN, CH., ZHU, H., (2006). "Study on the preparation of collagen-modified silk fibroin films and their properties", *Biomedical Materials*. 1: 242. <https://doi.org/10.1088/1748-6041/1/4/010>.

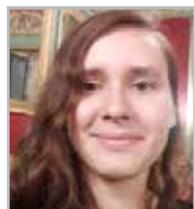
VILAPLANA, F., NILSSON, J., SOMMER, D.V.P., KARLSSON, S., (2015). "Analytical markers for silk degradation: comparing historic silk and silk artificially aged in different environments", *Bioanalytical Chemistry*. 407: 1433-1449. <https://doi.org/10.1007/s00216-014-8361-z>.

WOLBERS, R. C., DILLON, C., LAGALANTE, A. (2014). "Acrylic Emulsion Paint Films: The Effect of Solution pH, Conductivity, and Ionic Strength on Film Swelling and Surfactant Removal", *Studies in Conservation*, 59: 52-62. <https://doi.org/10.1179/2047058412Y.0000000076>.

YUCAI, D., (1974). *說文解字注*, Taipei, 150. ISBN: 780569530
XZHANG, D., (2016). *Writing with Embroidery: The History and Culture of Traditional Embroidery Art in China*. Shanghai: Donghua University Press, 127-122.

ZHENG, S., (2019). Protection and Development of the Intangible Cultural Heritage of Lingnan Embroidery from the Perspective of Maritime Silk Road. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 341: 77-80 <https://doi.org/10.2991/icadce-19.2019.16>.

Autor/es



Thainá Vígio Ribeiro

thainavigio.crtextile@gmail.com
Conservadora de Bienes Culturales Textiles
FreeLancer
<https://orcid.org/0000-0002-0606-4457>

Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales por la Universitat Politècnica de València. Ha colaborado en el Instituto Zuzu Angel de Moda en Río de Janeiro como conservadora de indumentaria y accesorios. Ha participado en jornadas y congresos nacionales e internacionales sobre conservación y restauración de bienes culturales textiles, también, tiene algunas publicaciones en revistas científicas indexadas. Ha realizado distintos cursos de especialización en instituciones nacionales y extranjeras sobre Historia del arte y caracterización de indumentarias chinas.



Sofía Vicente Palomino

svicente@crbc.upv.es
Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio - Universitat Politècnica de València (UPV)
<https://orcid.org/0000-0002-5260-4346>

Doctora en Bellas Artes por la Universitat Politècnica de València. Profesora Titular de la misma Universidad en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, de la Facultad de Bellas Artes. Como docente actúa en el área de la conservación y restauración de textiles y sus asignaturas están centradas en esta área del patrimonio tanto en el Grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales como en el Máster Oficial de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Ha dirigido un gran número de trabajos final de grado, máster y tesis doctorales. También ha participado y dirigido varios proyectos de investigación centrados en el estudio de tejidos antiguos, la caracterización e identificación de materiales, los efectos de mordientes y colorantes y sus comportamiento y envejecimiento, así como la caracterización y el análisis de los materiales utilizados en la conservación y restauración de los tejidos.



Eva Mª Montesinos Ferrandis

evmamont@hotmail.com
Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio - Universitat Politècnica de València (UPV)

Doctoranda en Conservación y Restauración de Bienes Culturales por la Universitat Politècnica de València. Como especialista en conservación de soporte textil, ha estado vinculada laboralmente a dicha institución como Técnico Superior del Laboratorio de Textiles del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio (IRP). Ha participado en diversos proyectos I+D+i con su actividad como conservadora y restauradora de textiles y docente para distintas instituciones desde 2002. Ha nivel formativo, ha participado en numerosos seminarios, cursos de especialización y estancias nacionales e internacionales de investigación.



Dolores Julia Yusá Marco

doyumar@crbc.upv.es
Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio - Universitat Politècnica de València (UPV)
<https://orcid.org/0000-0001-8207-3972>

Doctora en Química por la Universitat de València. Profesora Titular de Universidad en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, de la Facultad de Bellas Artes de la Universitat Politècnica de València (UPV). Investigadora miembro del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio (UPV). Como profesora imparte

docencia tanto en el Grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales como en el Master Oficial de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Sus asignaturas versan sobre la caracterización química de los materiales integrantes del Patrimonio, tanto a nivel de química básica como a nivel de técnicas analíticas instrumentales avanzadas. Ha dirigido un gran número de trabajos final de master y de grado, y varias tesis doctorales. Lidera una línea de investigación basada en el desarrollo de metodologías de análisis y control para la caracterización química y de las propiedades mecánicas y dimensionales de obra textil, en la que ha desarrollado diversos proyectos de investigación en los que ha sido investigador principal. También, destacaremos su colaboración como investigadora en otras líneas de diferentes áreas de la Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Los resultados obtenidos han sido publicados en revistas científicas de elevado índice de impacto, así como en congresos nacionales e internacionales.

Artículo enviado 23/06/2022
Artículo aceptado el 19/11/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1145>

The corrosion characteristics and electrochemical conservation treatment for an archaeological lead ossuary from Jordan

Ahmad N. Abu-Baker

Abstract: This study investigates the composition and corrosion of a lead ossuary excavated from the archaeological cemetery located on the site of the Queen Alia International Airport, Jordan. It also presents its conservation treatment using the potentiostatic reduction method. X-ray fluorescence (XRF) and scanning electron microscopy/ energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM/EDX) analyses showed that the ossuary was made from a relatively pure lead metal. Examination of the corrosion products using X-ray diffraction (XRD) and SEM/EDX analyses indicated the presence oxides, carbonates and chlorides of lead as the main corrosion products on the ossuary. The metallographic examination showed a cast α -Pb dendritic microstructure. A linear sweep voltammetry (LSV) scan for a small fragment from the ossuary in a sodium sulfate solution allowed identifying the working conditions to reduce the corrosion products to lead metal. Chronoamperometry (CA) techniques helped to monitor the reduction process and determine its completion. The potentiostatic methods showed an excellent effectiveness in determining treatment parameters and monitoring the reduction process of the corrosion products on the ossuary and to prevent over-treatment. The reduced ossuary was finally coated with Paraloid B72 to prevent corrosion reoccurrence in the poor environmental conditions of the storage area.

Keywords: Lead, ossuary, corrosion, analysis, conservation, potentiostatic reduction

Las características de corrosión y el tratamiento de conservación electroquímica de un osario de plomo arqueológico de Jordania

Resumen: Este estudio investiga la composición y corrosión de un osario de plomo excavado en el cementerio arqueológico ubicado en el sitio del Aeropuerto Internacional Queen Alia, Jordania. También se presenta su tratamiento de conservación mediante el método de reducción potencioestática. Los análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) y microscopía electrónica de barrido/espectroscopía de rayos X de dispersión de energía (SEM/EDX) mostraron que el osario estaba hecho de un metal de plomo relativamente puro. El examen de los productos de corrosión mediante análisis de difracción de rayos X (XRD) y SEM/EDX indicó la presencia de óxidos, carbonatos y cloruros de plomo como los principales productos de corrosión en el osario. El examen metalográfico mostró una microestructura dendrítica colada de α -Pb. Un escaneo de voltamperometría de barrido lineal (LSV) para un pequeño fragmento del osario en una solución de sulfato de sodio permitió identificar las condiciones de trabajo para reducir los productos de corrosión a plomo metal. Las técnicas de cronoamperometría (CA) ayudaron a monitorear el proceso de reducción y determinar su finalización. Los métodos potencioestáticos mostraron una excelente efectividad para determinar los parámetros de tratamiento y monitorear el proceso de reducción de los productos de corrosión en el osario y para prevenir el sobretreatment. El osario reducido finalmente se recubrió con Paraloid B72 para evitar la recurrencia de la corrosión en las malas condiciones ambientales del área de almacenamiento.

Palabras clave: Plomo, osario, corrosión, análisis, conservación, reducción potencioestática

As características de corrosão e tratamento de conservação eletroquímica para um ossuário de chumbo arqueológico da Jordânia

Resumo: Este estudo investiga a composição e corrosão de um ossuário de chumbo excavado no cemitério arqueológico localizado no local do Aeroporto Internacional Queen Alia, na Jordânia. Apresenta também seu tratamento de conservação pelo método de redução potencioestática. As análises de fluorescência de raios X (XRF) e microscopia eletrônica de varredura/espectroscopia de energia dispersiva de raios X (SEM/EDX) mostraram que o ossuário era feito de um metal de chumbo relativamente puro. O exame dos produtos de corrosão

por difração de raios X (DRX) e análises SEM/EDX indicou a presença de óxidos, carbonatos e cloretos de chumbo como os principais produtos de corrosão no ossuário. O exame metalográfico mostrou uma microestrutura dendrítica α -Pb fundida. Uma varredura de voltametria de varredura linear (LSV) para um pequeno fragmento do ossuário em uma solução de sulfato de sódio permitiu identificar as condições de trabalho para reduzir os produtos de corrosão a chumbo metálico. As técnicas de cronoamperometria (CA) ajudaram a monitorar o processo de redução e determinar sua conclusão. Os métodos potenciostáticos mostraram uma excelente eficácia na determinação dos parâmetros de tratamento e monitoramento do processo de redução dos produtos de corrosão no ossuário e na prevenção do tratamento excessivo. O ossuário reduzido foi finalmente revestido com Paraloid B72 para evitar a recorrência de corrosão nas más condições ambientais da área de armazenamento.

Palavras-chave: Chumbo, ossuário, corrosão, análise, conservação, redução potenciostática

Introduction

Lead is one of the earliest known and used metals. Its abundance, ease of extraction from its ores, low melting point, softness, flexibility, and relative corrosion resistance made it suitable to produce useful objects and architectural elements (Craddock 1995: 205; Selwyn 2004: 115). The archaeological lead and lead alloy artifacts form an important part of the cultural heritage collections. Therefore, their conservation is a main interest for archaeological metal conservators and conservation scientist.

The common lead corrosion products are stable, however they mostly form a white extended corrosion layer that obscures the bluish-grey original lead surface, therefore distorts the identifying visual characteristics of the object, and hides its surface details. In the professional conservation practice, the common interventive approaches used to conserve archaeological lead objects include mechanical, chemical, and electrochemical methods (Costa and Urban 2005, Schotte and Adriaens 2006, Palomar and Cano 2018). Since the hardness of lead is lower than the hardness of its common corrosion products, the mechanical cleaning of those corrosion products makes the underlying lead metal susceptible to scratching and damage (Cronyn 1990, 205–207). On the other hand, the chemical cleaning by acids, bases or chelating agents can remove the corrosion products from the surface, however they can also attack the metal, which is a main disadvantage for objects with non-uniform corrosion, or if remains of the solutions were not cleaned well after the treatment (Caley 1955; Watson 1985; Švadlena *et al.* 2020). The electrochemical reduction methods, particularly the potentiostatic reduction methods, have the advantage of consolidating the lead objects and minimizing the mass loss by returning the corrosion products back to metallic lead. The reduction of the corrosion products on a fixed sufficient potential while avoiding hydrogen evolution preserves the surface details that characterize the object, and the reduced metallic form clarifies the original identity of the object without obliterating its antique appearance and cultural values. The treatment is effective for lead objects with stable corrosion products or active corrosion products promoted by the presence of organic acid attacking the object (Carradice and Campbell 1994; Degriigny and Le Gall 1999; Rocca *et al.* 2004; Schotte *et al.* 2006; Barrio *et al.* 2009; Fontaine *et al.* 2016; Palomar *et al.* 2018).

This study investigated the corrosion of a lead ossuary from the collection of the Museum of Jordanian Heritage at Yarmouk University, Irbid, Jordan [Figure 1]. The ossuary came originally from a rescue excavation that was conducted at a late 2nd – early 3rd AD century cemetery site, which was discovered during the construction works of the Queen Alia International Airport, Amman back in 1978 (Ibrahim and Gordon 1987). The ossuary is relatively corroded, and no previous analyses or conservation treatments have been conducted on it since its acquisition and placement in the storage area of the museum. The study analytically investigated the composition of the original material and corrosion products of the ossuary and applied a conservation treatment using the potentiostatic reduction method. Finally, the ossuary was coated with Paraloid B-72 protective coating to prevent corrosion reoccurrence in the non-ideal storage environment.

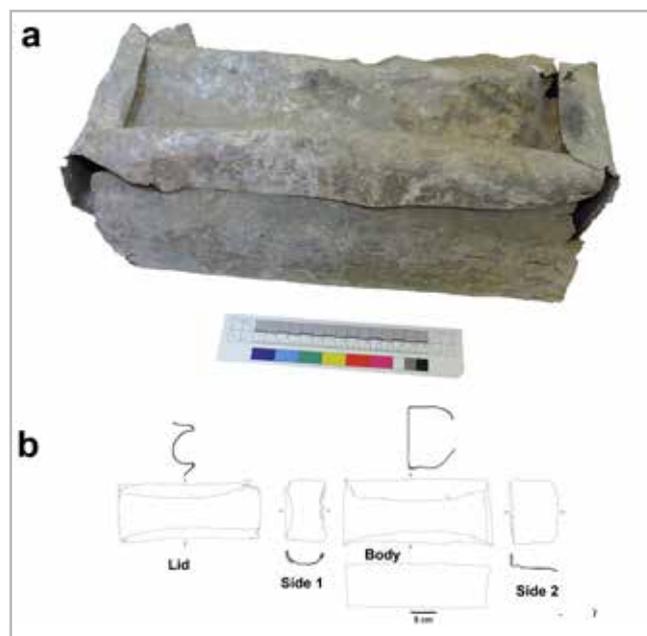


Figure 1.- An image (a) and drawing (b) illustrating the lead ossuary before the treatment

Materials and methods

The mineralogical composition of the corrosion products on the lead ossuary was determined using a Shimadzu LabX, XRD-6000 X-ray diffractometer. Copper $K\alpha_1$ radiation

($\lambda=1.5418\text{\AA}$) was used for the analysis and the spectrum was acquired at 40 kV, 30 mA and a step size of 0.05° in 2θ . The elemental compositions of the ossuary and the solder used to join its plates were determined by X-ray fluorescence (XRF) analysis. A S1 Titan 600 hand-held XRF analyzer (Bruker, Germany) equipped with a high-performance Silicon Drift Detector (SDD) was used in the analysis. The XRF analysis was performed at 40 kV excitation, 5 mm spot size and 60 s acquisition time. The small analysis sites on the of the body and solder point were first cleaned and flattened with a dental microdrill to reach an uncorroded surface. The quantitative analysis results were acquired with the aid of an internal alloy grade library. SEM/EDX was also used to investigate the elemental composition of the corrosion products and original material of the ossuary. Two cross-sections were taken from the body of the ossuary using a fine jeweller's saw and embedded in an Araldite 2020 epoxy resin. Following curing for 24 hours, a cross-section was ground on a series of silicon carbide papers from 1000 to 3000 grit and then polished on a Buehler minimet polisher beginning at 9–3 μm alumina polishing suspensions and reducing down to a highly polished surface using 1–0.25 μm diamond pastes. The sample was then decontaminated in ethanol in an ultrasonic bath and finally dried. The SEM/EDX investigation was carried out using a scanning electron microscopy (SEM) coupled with an energy dispersive spectroscopy (EDX) analyzer (FEI-Quanta 200). The second embedded cross-section was only polished with 9–3 μm alumina polishing suspensions then decontaminated in ethanol in an ultrasonic bath and dried. This cross-section was etched with the acidified glycerol etchant (Scott 1992: 71), then it was investigated using an Optika IM-3MET inverted metallurgical microscope. A cross-polarized image of the corrosion profile and internal microstructure was taken using an Optika C-P8 digital camera attachment.

A small broken fragment (2 x 1 x 0.1 cm) from the ossuary was used for determining the potentiostatic reduction parameters of the corrosion products. A three-electrode electrochemical cell connected to a potentiostat (Vertex[®], Ivium Technologies, The Netherlands) was prepared, the corroded lead fragment served as the working electrode of the cell and connected to the alligator clip of the working electrode's wire outside the electrolyte solution by a platinum needle that was inserted in it, mercury/ mercurous sulfate ($\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{SO}_4$) electrode filled with saturated potassium sulfate (10% w/w) (Gamry Instruments) served as the reference electrode, a T-316 stainless-steel mesh with a surface area bigger than the surface area of the corroded lead fragment served as the counter electrode, and a 100 ml of 0.1 M sodium sulfate (Na_2SO_4) solution (pH= 7) was used as the electrolytes. Linear sweep voltammetry (LSV) in the cathodic direction was carried out from the corrosion potential (E_{corr}) to -1.4 V vs the $\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{SO}_4$ reference electrode with a scanning rate of 1.0 mV/s. The potential of the reference electrode is 0.615 V vs the normal hydrogen electrode (NHE). Before the LSV experiment, the corroded lead fragment was

decreased in acetone to ensure complete wetting of the metal surface. Based on the LSV scan result of the small fragment, the ossuary's plates were individually treated by potentiostatic reduction processes carried out at -1.3 V in the same electrolyte (0.1 M Na_2SO_4). This potential was sufficient to assure a complete reduction of all corrosion products while avoiding hydrogen evolution that may obliterate the reduced metal surface. A T-316 stainless-steel mesh with a surface area bigger than the surface area of each corroded lead plate was used as the counter electrode of the cell. The volume of the electrolyte was 2 L for each of the two small sides of the ossuary, 8 L for the lid and 16 L for the main body. The approximate surface areas of the ossuary's plates were the following: 580 cm^2 for each of the two small sides, 2300 cm^2 for the lid, and 4100 cm^2 for the body. The reduction processes were monitored by chronoamperometry (CA) to determine the end-point of the treatment, which is achieved by having a low and stable current value indicating the completion of the reduction process (Costa 2003; Fontaine *et al.* 2016; Abu-Baker and MacLeod 2021). A small cross-section sample was taken from the ossuary after the potentiostatic reduction treatment. It was embedded and prepared as described for the sample before the treatment, then examined using the optical microscope to investigate the change on the corrosion layer. The ossuary was finally coated with a 5% Paraloid B72 dissolved in acetone and applied by brushing for 3 times to form a protective layer on its freshly reduced and porous metallic surface.

Results and discussion

—XRD analysis

The XRD characterization of the corrosion products on the lead ossuary is shown in Figure 2. The diffractogram shows that the lead (II) chloride (cotunnite PbCl_2) is the main corrosion product with the presence of lead (II) oxide (litharge PbO), lead (II) carbonate (cerussite PbCO_3), basic lead (II) carbonate (hydrocerussite $\text{Pb}_3(\text{OH})_3(\text{CO}_3)_2$), and lead (II) chloride hydroxides (laurionite $\text{PbCl}(\text{OH})$).

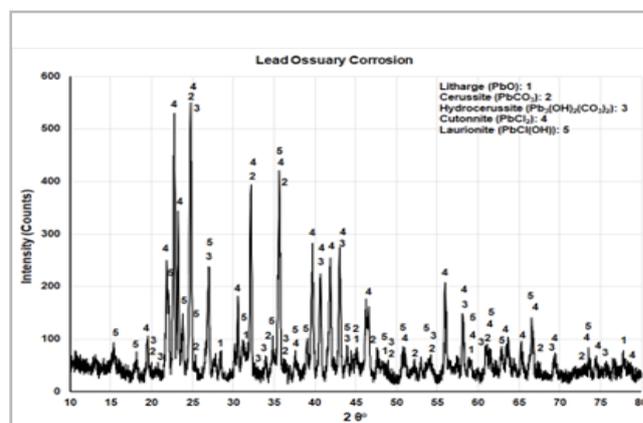
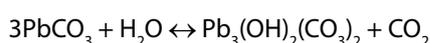


Figure 2.- XRD analysis result of the corrosion products on the lead ossuary

Lead is generally resistant to corrosion; it forms a thin layer of lead oxide (litharge α -PbO) protective layer when it corrodes in the atmosphere. Lead carbonates are expected corrosion products for artifacts excavated from carbonate containing soils. Over time, the lead oxide reacts with carbonate ions and forms carbonate compounds, mainly lead carbonate (cerussite PbCO_3) and basic lead carbonate (hydrocerussite $\text{Pb}_3(\text{OH})_3(\text{CO}_3)_2$). These carbonate compounds eventually form an adherent, relatively insoluble layer that decreases the corrosion rate of the lead. Cerussite (PbCO_3) and hydrocerussite ($\text{Pb}_3(\text{OH})_3(\text{CO}_3)_2$) are in equilibrium at a carbon dioxide pressure of $10^{-2.8}$ atm as the following equation shows:



Cerussite is the main corrosion product of lead artifacts buried in aerobic alkaline carbonate soil, where the carbon dioxide pressure is usually about 10^{-2} atm, which is above the equilibrium value, while hydrocerussite ($\text{Pb}_3(\text{OH})_3(\text{CO}_3)_2$) is the main corrosion product of lead artifacts exposed to the open atmosphere for a long time, because the atmospheric pressure of carbon dioxide (i.e. $10^{-3.5}$ atm) is less than the equilibrium value (Turgoose, 1985). The ossuary had been excavated from a carbonate soil then stored in an open atmosphere, which could justify the presence of the two corrosion products on its surface (Mattias *et al.* 1984; Nosek 1985; Abu-Baker *et al.* 2014).

The presence of the lead chloride-containing compounds (cotunnite PbCl_2 and laurionite $\text{PbCl}(\text{OH})$) as corrosion products indicate the presence of dissolved chloride anions in the burial soil of the ossuary (Selwyn 2004: 122). The percolation of saline water to the burial soil causes the formation of lead chloride and oxychloride minerals, which can also associate with the present carbonate ions to form double salts under certain conditions. Cotunnite (PbCl_2) is stable under acidic environments and high chloride concentrations. On the other hand, laurionite $\text{PbCl}(\text{OH})$ is formed when the pH of natural saline environment (i.e. chloride concentration is about 0.5 M and pH is about 8) is increased, penfieldite $\text{Pb}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ would also form when the pH is increased but it is thermodynamically less stable than laurionite. Therefore, the presence of cotunnite PbCl_2 as a main corrosion product suggests high chloride concentrations in the burial soil, and the mixture of corrosion products could be attributed to various environmental conditions that affected the object in the burial context and storage area (Abdul-Samad *et al.* 1982; Turgoose 1985, Edwards *et al.* 1992).

— XRF

The XRF analysis results of the ossuary's body and solder are shown in Figure 3. The ossuary is made of a relatively pure lead metal, while the solder used to join the now separated short sides to the main body of the ossuary is made of a lead (Pb)-tin (Sn) alloy, which contains about 24% Sn, therefore

had a lower melting point than the pure lead used to make the ossuary. The plates used for the manufacture of the ossuary would have been prepared by the sand-casting technique. To make the ossuary, a single rectangular sheet of lead was bent up at the side to form the main part of the coffer. The small side plates were soldered to the main part with a Pb-Sn alloy so as to complete the rectangular coffer. The lid of the ossuary overlaps the coffer and was made using the same casting and bending procedures. (Gowland 1901; Rocca *et al.* 2004; Prabhakar *et al.* 2019).

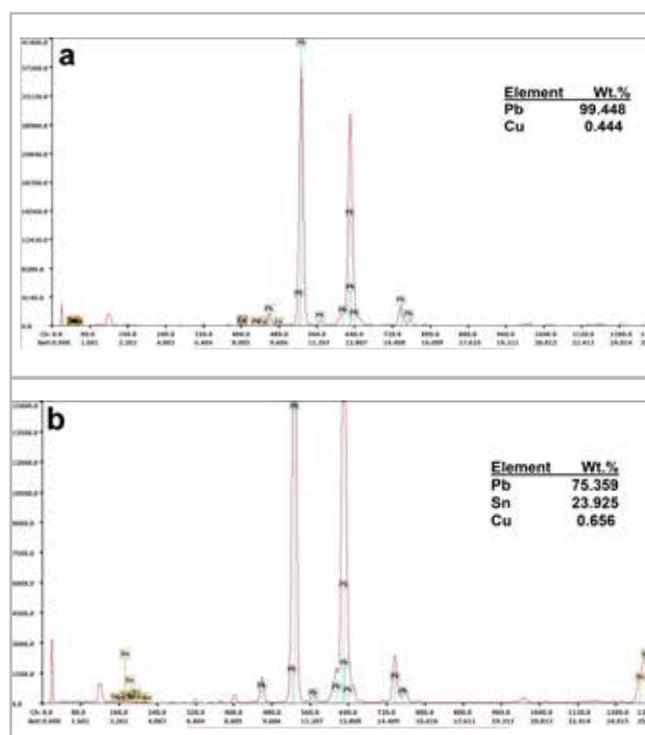


Figure 3. - XRF spectra and quantitative elemental analysis results for the ossuary (a) and its solder (b)

— SEM/EDX analysis and optical microscopy

The SEM/EDX examination of the corrosion profile of a cross section taken from the body of the lead ossuary shows a cracked irregular corrosion layer with a thickness that reaches about 1000 microns in some areas above the internal uncorroded metal [Figure 4]. The EDX analysis shows that the corrosion layer (area-a in the SEM image) mainly contains lead, oxygen, carbon, and chlorine. This suggests the presence of oxides, carbonate and chloride corrosion products of lead, which conforms to the XRD analysis results. The EDX analysis of the grey internal uncorroded metal (area-b in the SEM image) shows that the ossuary was cast from a relatively pure lead metal without adding alloying metals. The presence of carbon and silicon in the EDX analysis is expected because of the penetration of abrasive materials into the soft lead surface during the polishing of the cross-sections (Scott 1996). The silicon carbide abrasive residues appear as black particles in the SEM image.

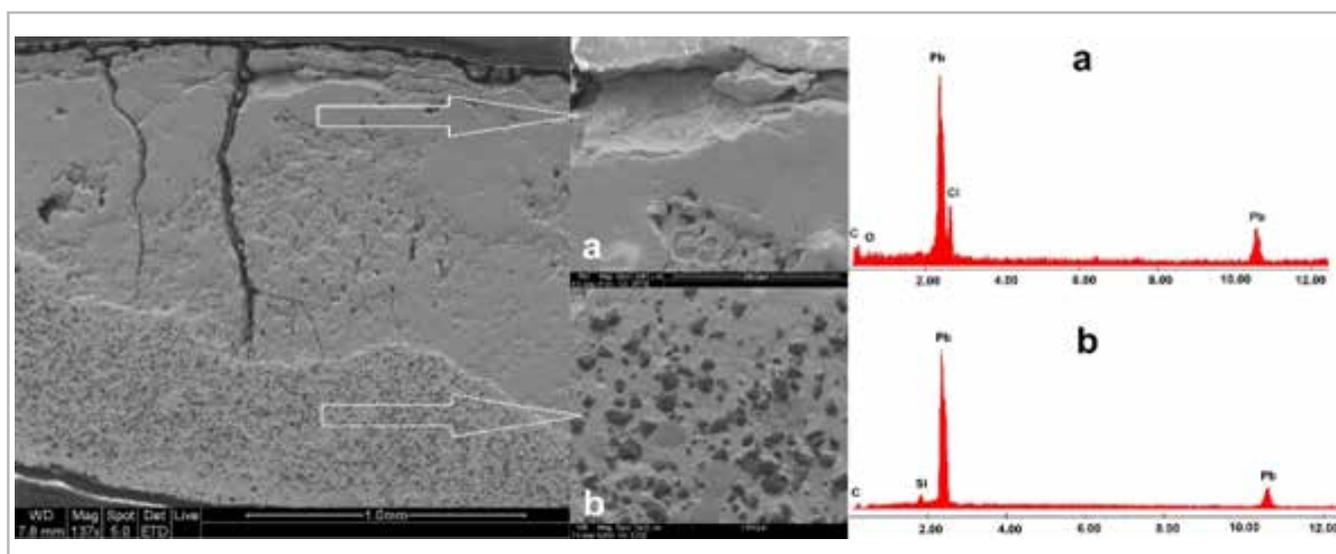


Figure 4.- SEM images and EDX analysis for the corrosion products (a) and internal uncorroded metal of the ossuary (b)

— LSV scan

Determining the reduction potentials for the lead corrosion productions on the ossuary was carried out by linear sweep voltammetry (LSV) in 0.1 M Na_2SO_4 . Figure 5 shows the LSV plot of the cathodic polarization of the small broken fragment of the ossuary in 0.1 M Na_2SO_4 . The plot shows two broad reduction peaks; one that reaches its maximum current at about -0.9 V and can be attributed to the reduction of the cottunite (PbCl_2) corrosion product. The following broad reduction peak reaches its maximum current at about -1.2 V and can be attributed to the reduction of the litharge (PbO), cerussite (PbCO_3) and hydrocerussite ($\text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$) corrosion products present on the surface as indicated by the XRD and SEM/EDX analyses. The hydrogen evolution potential starts after -1.3 V (Degryny and Le Gall 1999; Selwyn 2017). Since ossuary had a mixture of corrosion products on the surface, their close reduction peaks overlapped and formed a single broad reduction peak. However, the SEM/EDX and XRD aided the interpretation of the LSV plot.

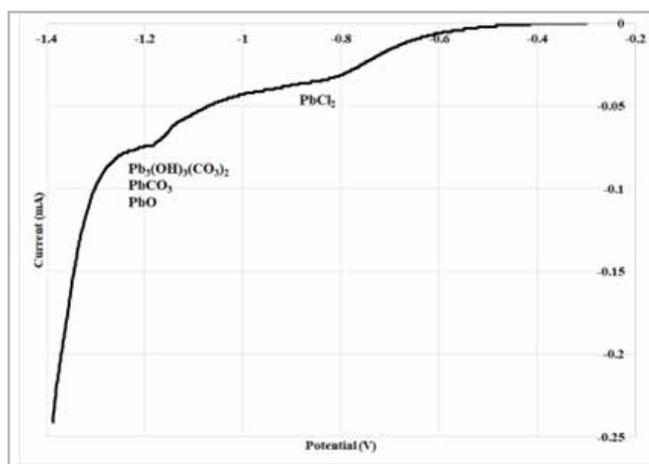


Figure 5.- Linear sweep voltammetry plot for the small corroded fragment taken from the lead ossuary

— Potentiostatic reduction

The lead ossuary has four separate plates: the body, lid and two sides. Each part was cathodically polarized at a constant potential of -1.3 V to assure a complete reduction of all corrosion products and avoid vigorous hydrogen evolution. Each of the four ossuary's parts was treated separately, and the process was monitored by chronoamperometry. Monitoring the current of side 1 plate showed that it started from about 585 mA at the beginning of the potentiostatic reduction process and decreases to about a stable low value of 29 mA after 32 h of potentiostatic reduction at -1.3 V. For the side 2 plate, the current started at 589 mA and reached about a stable value of 28 mA after 21 h of the reduction process. For the lid of the ossuary, the current decreased from about 939 mA to a low stable value of about 35 mA indicating the completion of the reduction process after 48 h. Finally, the reduction current of the body of the ossuary decreased from 300 mA to 38 mA in about 60 h of the potentiostatic reduction process [Figure 6]. The progressive decrease in the current indicates a progressive reduction of the corrosion products. At the end of the reduction process, the pH of the electrolyte decreased to about 3, which indicates that the production of H^+ ions at the anode was not compensated by similar production of OH^- ions at the cathode, where the main reaction process was the reduction of the lead corrosion products (Degryny and Le Gall 1999).

The potentiostatic reduction treatment converted the corrosion products on the ossuary to a reduced porous grey metal deposited on the surface. Therefore, after the completion of reduction process, each part of the ossuary was rinsed under running water with gentle brushing to clean the residual encrustations and improve its appearance, then it was cleaned with deionized water, followed by drying in acetone.

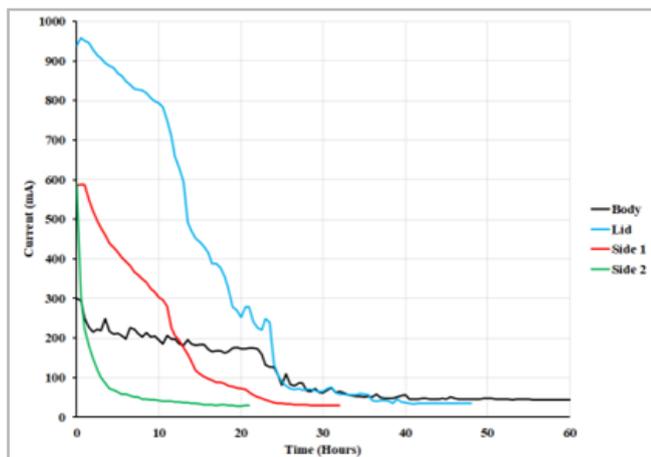


Figure 6.- Chronoamperometric curves for the potentiostatic reduction of the corrosion products on the four parts of the lead ossuary

— *Optical microscopy and protective coating*

The polarized light microscopy image of the cross section taken from the lead ossuary before the treatment shows a white corrosion layer over the internal grey lead metal. The image shows a cast α -Pb dendritic microstructure. The composition of the corrosion layer was identified by the XRD and SEM/EDX analysis. The hardly appearing dendrites of the uncorroded lead are distorted and have oriented patterns, which are associated with the direction of heat extraction and cooling rate of the cast sheet [Figure 7.a] (Vander Voort 2004; Costa and Urban 2005). The microscopic image of the sample taken from the ossuary after the potentiostatic reduction treatment shows a grey porous over the internal sound metal [Figure 7.b]. This indicates the success of the potentiostatic reduction process in converting all corrosion products into reduced powdery metallic lead over the internal sound lead metal (Degryny and Le Gall 1999).

Given that the ossuary was going to a non-ideal storage environment, it was coated with a 5% Paraloid B72 applied by brushing for 3 times to form a protective coating layer on its surface. Figure 8 shows the images of the artifacts after the end of the treatment.



Figure 8.- The ossuary after the treatment

Conclusion

The spectroscopic and microscopic analytical investigation of the lead ossuary from the archaeological cemetery located at the Queen Ali International Airport site identified its original composition, corrosion products, and state of preservation. The linear sweep voltammetry plot of a sample from the ossuary helped to identify the required working parameters to reduce the corrosion products while avoiding over potential causing vigorous hydrogen evolution, and the chronoamperometry technique was effective in determining the end of the process. The potentiostatic reduction method was effective in conserving the ossuary by returning its corrosion products back to a metallic form that clarifies its material nature without obliterating its antique appearance and cultural values.

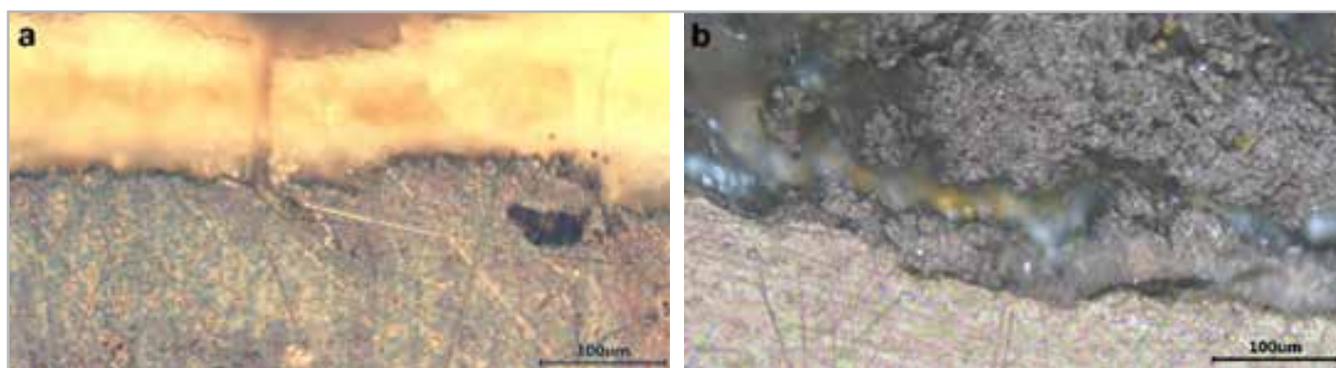


Figure 7.- Polarized light microscopy image of the corroded edge and internal metal of the ossuary (a), and microscopic image of a cross section taken from the ossuary after the potentiostatic reduction process (b)

Acknowledgements

I would like to thank the Deanship of Scientific Research and Graduate Studies at Yarmouk University for funding this research. I would also like to thank Professor Moawiya Ibrahim for kindly offering me a written permission to work on the ossuary and publish the results. I also thank Sereen Al-Shoubaki for drawing the sketch illustrating the four parts of the ossuary.

References

- ABDUL-SAMAD, F., THOMAS, J.H., WILLIAMS, P.A., BIDEAUX, R.A. AND SYMES, R.F. (1982). Mode of formation of some rare copper (II) and lead (II) minerals from aqueous solution, with particular reference to deposits at Tiger, Arizona. *Transition Metal Chemistry*, 7(1): 32-37, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.07.082>.
- ABU-BAKER, A., AL SEKHANEH, W., SHIYAB, A., DELLITH, J., SCHEFFEL, A., ALEBRAHIM, M.A. AND POPP, J. (2014). Analytical investigation of five Roman Pb-based scale weights (Qasr Ar-Rabbah, Jordan): a case study. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 14(1):181-190.
- ABU-BAKER, A.N. AND MACLEOD, I.D., (2021). An electrochemical simulation and treatment study for the carbonate and chloride based corrosion of heritage silver–copper alloys. *Studies in Conservation*, 66(4):190-210, <https://doi.org/10.1080/00393630.2020.1796020>.
- BARRIO, J., CHAMÓN, J., PARDO, A.I. AND ARROYO, M. (2009). Electrochemical techniques applied to the conservation of archaeological metals from Spain: a historical review. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 13(11):1767-1776, <https://doi.org/10.1007/s10008-009-0876-4>.
- CALEY, E.R. (1955). Coatings and incrustations on lead objects from the Agora and the method used for their removal. *Studies in Conservation*, 2(2): 49-54, <https://doi.org/10.1179/sic.1955.007>.
- CARRADICE, I.A. AND CAMPBELL, S.A., (1994). The conservation of lead communion tokens by potentiostatic reduction. *Studies in conservation*, 39(2):100-106, <https://www.jstor.org/stable/1506559>.
- COSTA, V., (2003). Electrochemistry as a conservation tool: an overview. In *Conservation science 2002: papers from the conference held in Edinburgh, Scotland 22-24 May 2002*, 88-95.
- COSTA, V. AND URBAN, F., (2005). Lead and its alloys: metallurgy, deterioration and conservation. *Studies in Conservation*, 50(sup1): 48-62, <https://doi.org/10.1179/sic.2005.50.Supplement-1.48>.
- CRADDOCK, P.T., (1995). *Early metal mining and production*. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- CRONYN, J.M., (1990). *The Elements of Archaeological Conservation*. Routledge.
- DEGRIGNY, C. AND GALL, R.L., (1999). Conservation of ancient lead artifacts corroded in organic acid environments: electrolytic stabilization/consolidation. *Studies in conservation*, 44(3):157-169, <https://doi.org/10.1179/sic.1999.44.3.157>.
- EDWARDS, R., GILLARD, R.D., WILLIAMS, P.A. AND POLLARD, A.M., (1992). Studies of secondary mineral formation in the PbO-H₂O-HCl system. *Mineralogical Magazine*, 56(382): 53-65, <https://doi.org/10.1180/minmag.1992.056.382.07>.
- FONTAINE, C., GUILMINOT, E., JEANNERET, R. AND ROSSETTI, L., (2016). Determination of parameters for local electrolytic treatment of corroded lead and lead-tin alloys. *Journal of Cultural Heritage*, 20: 607-614, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.02.002>.
- GOWLAND, W., (1901). XXI.—The Early Metallurgy of Silver and Lead: Part I., Lead. *Archaeologia*, 57(2): 359-422, <https://doi.org/10.1017/S0261340900014211>.
- IBRAHIM, M.M. AND GORDON, R.L., (1987). A cemetery at Queen Alia International Airport. *Institute of Archaeology and Anthropology series*.
- MATTIAS, P., MAURA, G. AND RINALDI, G., (1984). The degradation of lead antiquities from Italy. *Studies in Conservation*, 29(2): 87-92, <https://www.jstor.org/stable/1506079>.
- NOSEK, E.M., (1985). The investigation and conservation of a lead paten from the eleventh century. *Studies in conservation*, 30(1):19-22, <https://doi.org/10.1179/sic.1985.30.1.19>.
- PALOMAR, T. AND CANO, E., (2018). Comparative assessment of mechanical, chemical and electrochemical procedures for conservation of historical lead. *Journal of Cultural Heritage*, 30: 34-44, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.10.010>.
- PALOMAR, T., RAMÍREZ, B., VÉLIX, J.M. AND CANO, E., (2018). Evaluation of cleaning procedures for the conservation of tarnished lead. In *Conserving Cultural Heritage*, 45-47.
- PRABHAKAR, A., SALONITIS, K. AND JOLLY, M., (2019). Characterisation of lead sheet manufactured using traditional sand-casting technique. In *Shape Casting*, Springer, Cham. 283-292.
- ROCCA, E., MIRAMBET, F. AND STEINMETZ, J., (2004). Study of ancient lead materials: A gallo-roman sarcophagus—contribution of the electrolytic treatment to its restoration. *Journal of materials science*, 39(8): 2767-2774, <https://doi.org/10.1023/B:JMISC.0000021452.54819.f9>.
- SCHOTTE, B. AND ADRIAENS, A., (2006). Treatments of corroded lead artefacts: an overview. *Studies in conservation*, 51(4): 297-304.
- SCHOTTE, B., ADRIAENS, A., DHOOGHE, F., DEPLA, D., DIERICK, M., DOWSETT, M., LEHMANN, E. AND VONTOBEL, P., (2006). Chemical and morphological changes of historical lead objects as a result of the use of electrolytic reduction as a stabilization treatment. *Analytical chemistry*, 78(24): 8319-8323, <https://doi.org/10.1021/ac061381n>.
- SCOTT, D.A., (1992). *Metallography and microstructure in ancient and historic metals*. Getty publications.

SCOTT, D.A., 1996. A note on the metallographic preparation of ancient lead. *Studies in conservation*, 41(1): 60-62, <https://doi.org/10.2307/1506553>.

SELWYN, L., (2004). *Metals and corrosion: a handbook for the conservation professional*. Canadian Conservation Institute.

SELWYN, L., AND MCKINNON, W.R., (2017). Practical electrochemistry for conservators and conservation scientists: Part II: characterizing and treating corroded metals. *Journal of the Canadian Association for Conservation*, 42: 16-42.

ŠVADLENA, J., PROŠEK, T., STRACHOTOVÁ, K.C. AND KOUŘIL, M., (2020). Chemical removal of lead corrosion products. *Materials*, 13(24): 5672, <https://doi.org/10.3390/ma13245672>.

TURGOOSE, S., (1985). The corrosion of lead and tin: before and after excavation. In *Lead and tin: studies in conservation and technology*, 15-26.

VANDERVOORT, G.F. (Ed.), (2004). Metallography and microstructures of lead and its alloys, *Metallography and Microstructures*, 9: 789-800, <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v09.a0003773>.

WATSON, J., (1985). Conservation of lead and lead alloys using EDTA solutions. *Lead and Tin: Studies in Conservation and Technology*, United Kingdom Institute for Conservation, 44-45.

Author



Ahmad N. Abu-Baker

ahmad.abubaker@yu.edu.jo

Faculty of Archaeology and Anthropology,
Yarmouk University, Jordan

<http://orcid.org/0000-0001-9354-2658>

Profesor Asociado del Departamento de Conservación y Manejo de Recursos Culturales de la Facultad de Arqueología y Antropología de la Universidad de Yarmouk, Irbid-Jordan. Tiene títulos en química aplicada (BSc), conservación y gestión de recursos culturales (MA) y conservación de materiales culturales (PhD). Sus intereses de investigación incluyen: corrosión e inhibición de la corrosión de metales y aleaciones arqueológicas, técnicas electroquímicas en la conservación de metales, técnicas analíticas innovadoras aplicadas a la ciencia de la conservación y arqueometalurgia.

Artículo enviado 07/02/2022
Artículo aceptado el 28/11/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1093>

www.revista@ge-iic.com



Edición digital del GEIIC