

BIENES CULTURALES

Revista del Instituto del Patrimonio Cultural de España

Número 8 • 2008

CIENCIAS APLICADAS AL PATRIMONIO



El Real Decreto 1132/2008, de 4 de julio (BOE 9 de julio de 2008) cambió la denominación del Instituto del Patrimonio Histórico Español por la vigente de Instituto del Patrimonio Cultural de España. Todos los textos contenidos en esta publicación son anteriores a esta fecha por lo que se refieren a la institución por su denominación anterior.

BIENES CULTURALES

Revista del Instituto del Patrimonio Cultural de España

Número 8 • 2008

CIENCIAS APLICADAS AL PATRIMONIO





MINISTERIO DE CULTURA

Edita:

© SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA

Subdirección General

de Publicaciones, Información y Documentación

© de los textos y fotografías, los autores

N.I.P.O.: 551-08-046-2



MINISTERIO
DE CULTURA

César Antonio Molina

Ministro de Cultura

María Dolores Carrión Martín

Subsecretaria de Cultura

José Jiménez

Director General de Bellas Artes y Bienes Culturales

BIENES CULTURALES

Revista del Instituto del Patrimonio Histórico Español

Número 8 • 2008

Sumario

9 PRESENTACIÓN

11 IN MEMORIAM JOSÉ MARÍA LOSADA ARANGUREN

MARCO TEÓRICO

17 POLÍTICAS PÚBLICAS RELACIONADAS CON CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO EN ESPAÑA
Marián del Egado, Miriam Bueso, Guillermo Enríquez de Salamanca

27 EL PAPEL DE LAS CIENCIAS EN LA PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL.
LA SITUACIÓN EN EUROPA
Alberto de Tágla

37 EL PATRIMONIO CULTURAL IBEROAMERICANO: UN RETO PARA LAS CIENCIAS NATURALES
Mario O. Fernández

APLICACIONES

49 FERNANDO GALLEGO EN TRUJILLO: ESTUDIOS QUÍMICOS
Marisa Gómez, Maite Jover de Celis

61 FERNANDO GALLEGO EN TRUJILLO: ESTUDIOS FÍSICOS
Tomás Antelo, Araceli Gabaldón, Carmen Vega

75 EL RETABLO DE SANTA MARÍA LA MAYOR DE TRUJILLO: DIBUJO SUBYACENTE
Tomás Antelo, Araceli Gabaldón, Carmen Vega

89 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA VARIM: CAPTACIÓN Y COMPOSICIÓN AUTOMÁTICA
DEL MOSAICO REFLECTOGRÁFICO
Juan Torres, Alberto Posse, José. M. Menéndez

99 BODEGONES ATRIBUIDOS A BLAS DE LEDESMA
Clara González-Fanjul, Tamara Alba, Araceli Gabaldón

- 117** ESTUDIO TÉCNICO DE *FERNANDO VII A CABALLO* DE FRANCISCO DE GOYA
Rocío Bruquetas, Tomás Antelo, Ángela Arteaga, Pilar Borrego, Miriam Bueso, Marián del Egido, Araceli Gabaldón, Marisa Gómez, Carmen Martín de Hijas, Carmen Vega, David Juanes
- 133** LA PALETA DE SOROLLA A TRAVÉS DE ALGUNAS PINTURAS ANALIZADAS DE MUSEOS Y COLECCIONES
David Juanes, Marisa Gómez
- 147** APLICACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS SIN TOMA DE MUESTRA EN FOTOGRAFÍA HISTÓRICA. ESTUDIOS DE UNA COLECCIÓN PROCEDENTE DEL MUSEO SOROLLA
Marián del Egido, Carmen Martín de Hijas, David Juanes
- 157** PROYECTO DE CONSERVACIÓN DEL CLAUSTRO DE SAN JUAN DE DUERO
Juan A. Herráez
- 167** INCIDENCIA DEL EMPLEO DE MORTEROS DE AZUFRE EN EDIFICIOS DEL SIGLO XIX: DAÑOS PRODUCIDOS EN LA VALLA PERIMETRAL DE LA BIBLIOTECA NACIONAL Y DEL MUSEO ARQUEOLÓGICO NACIONAL
Pedro P. Pérez, José V. Navarro, Ana Sánchez
- 181** JUSTIFICACIÓN DE LOS ESTUDIOS PREVIOS DE LAS PINTURAS MURALES DE GOYA EN LA BÓVEDA «REGINA MARTIRUM» DEL PILAR DE ZARAGOZA
Leandro de la Vega
- 183** EVALUACIÓN DEL CONTENIDO Y DISTRIBUCIÓN DE SALES EN LAS PINTURAS MURALES DE GOYA EN LA BÓVEDA «REGINA MARTIRUM» DEL PILAR DE ZARAGOZA
Belén Franco, Josep Gisbert, Ignacio Mateos, Pilar Navarro, Pedro López
- 197** MICROBIOLOGÍA Y BIOLOGÍA MOLECULAR APLICADA AL PATRIMONIO EN EL IPHE
M.^a Isabel Sarró, Irene Arroyo
- 211** REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE LA POLICROMÍA DE LA DAMA DE BAZA. COMPARACIÓN CON LA DAMA DE ELCHE
Marisa Gómez, David Juanes, José Vicente Navarro, Carmen Martín de Hijas, Marián del Egido, Montse Algueró, Elena González, Ángela Arteaga.
- 223** COMPORTAMIENTO DE CONSOLIDANTES DE METALES SOMETIDOS A ENVEJECIMIENTO ACELERADO
Elena González, Joaquina Leal
- 233** ESTUDIO ANALÍTICO DE LA REJA MAYOR DE LA CAPILLA REAL DE GRANADA.
M.^a Auxiliadora Gómez, Marisa Gómez, Montse Algueró, M.^a Antonia García
- 247** APUNTES HISTÓRICOS SOBRE UN ESCUDO ROMANO DEL MUSEO DE LEÓN
Victorino García, Luis Grau
- 249** UN ESCUDO ROMANO DEL MUSEO DE LEÓN. ANÁLISIS Y ESTUDIO
José V. Navarro Gascón

Estudio analítico de la reja Mayor de la Capilla Real de Granada

AUXILIADORA GÓMEZ MORÓN

Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico

MARISA GÓMEZ

MONTSE ALGUERÓ

M^a ANTONIA GARCÍA

Instituto del Patrimonio Histórico Español

Introducción

La reja Mayor de la Capilla Real de Granada se puede considerar una de las obras maestras de la rejería española del siglo XVI. Fue ejecutada y terminada en el año 1520 por el Maestro Bartolomé, que desarrolló especialmente su trabajo en la provincia de Jaén¹.

Esta monumental reja de hierro forjado, profusamente decorada, cierra la nave del crucero y protege el espacio de la Capilla Real, al tiempo que nos permite deleitarnos con su espléndida visión. Las pilastras, los frisos y el remate, compuesto por el grupo central de escudos, escenas y elementos simétricos que decoran ambas caras, estaban dorados y policromados. A semejanza de los retablos, se estructura en sentido horizontal en tres cuerpos y un remate o crestería en el que se representan escenas de la Pasión y en los extremos los martirios de San Juan Evangelista y San Juan Bautista, coronado por un Calvario central y una ornamentación de follaje y flameros. Realzan el conjunto el escudo y los emblemas de los Reyes Católicos, situados en el centro del segundo cuerpo. En sentido vertical se organiza en cinco calles, siendo la central de doble anchura (fig. 1).

La majestuosidad de la reja Mayor de la Capilla Real se hace patente ante la abundante ornamentación presente en ambas caras, efectuada en chapas de hierro repujado,

especialmente en el ático y la calle central, decoradas con una suntuosa policromía. Carecemos de documentación con respecto a la ejecución de las encarnaciones, los dorados, plateados y veladuras. Los «maestros de fazer rexas» solían entregar la obra una vez estañada (los barrotes) y empavonada, impregnándola con aceite. Según parece, eran los pintores y doradores de los retablos los autores de las encarnaduras y las labores propias del dorado, aunque no siempre era así.

Hay constancia de una intervención realizada en el año 1776, en la cual se mencionan los nombres del dorador y pintor (Antonio Chávez Carvajal) y del cerrajero (Francisco Tacón), así como ciertas precisiones sobre los gastos y materiales «900 reales por el pintado de las reja principal de dicha Capilla Real, aumentar de dorado de oro de milan (oro falso) 216 piezas imitándolo a lo antiguo, pintar los rostros de 40 angelotes y 16 mascarones; retocar el escudo y limpiar todo el dorado antiguo de dicha reja....»². En ésta, se repararon y en casos puntuales se sustituyeron algunos elementos decorativos.

Metodología y estudio del soporte de la reja: determinación de adiciones y alteraciones

El estudio analítico del soporte de la reja Mayor de la Capilla Real ha tenido como *obje-*

¹ No hay duda de la autoría del constructor de la reja «MAESTRE BARTOLOME ME FECI».

² Legajo 96, año 1776 del Archivo de la Capilla Real.



Figura 1. Vista general de la reja después de la restauración dirigida por el IPHE.

tivos fundamentales la caracterización estructural y composicional del metal, así como el conocimiento de su estado de alteración. La información microestructural permite en muchas ocasiones conocer la tecnología de fabricación del objeto, la secuencia de tratamientos térmicos y mecánicos empleados para alcanzar la forma y composición de cada uno de los elementos estudiados.

Otro aspecto de este estudio es poder discernir entre elementos originales y otros añadidos en restauraciones posteriores, aunque no siempre es posible alcanzar este objetivo. En nuestro caso, hemos llegado a localizar adiciones no originales de la obra

gracias a la detección de notables diferencias con respecto a los materiales originales.

Para analizar el material metálico se extrajeron muestras de los principales elementos constitutivos de la reja, tanto de los barrotes como de las figuras decorativas que la rematan, así como los elementos de anclaje empleados (remache, cuña). Seleccionamos los puntos de mayor interés para el análisis, tras una inspección visual de la obra, en estrecha colaboración con los restauradores. La toma de micromuestras se hizo simultáneamente al desmontaje de las piezas vencidas o sujetas con alambre de la reja, aprovechando desprendimientos en zonas ocultas o rebabas en los bordes de las figuras decorativas y chapas. La preparación de dichas muestras se ha realizado procurando obtener secciones transversales que permitan el estudio de las técnicas de ejecución de la obra, con especial interés en los tratamientos superficiales de la misma.

La metodología de estudio se inicia con la observación visual, seguida de un examen a mayores aumentos bajo un microscopio estereoscópico (Nikon, SMZ 1500) tanto de la superficie de las muestras como de la sección transversal. A continuación se estudia la superficie del metal y la sección transversal mediante microscopía óptica de reflexión (Olimpus, BX51) para identificar inclusiones, vacuolas, grietas, tratamientos superficiales y posibles alteraciones por corrosión. En el caso de las muestras de pequeño tamaño, éstas deben ser incluidas en resina para mejorar su manipulación y pulido.

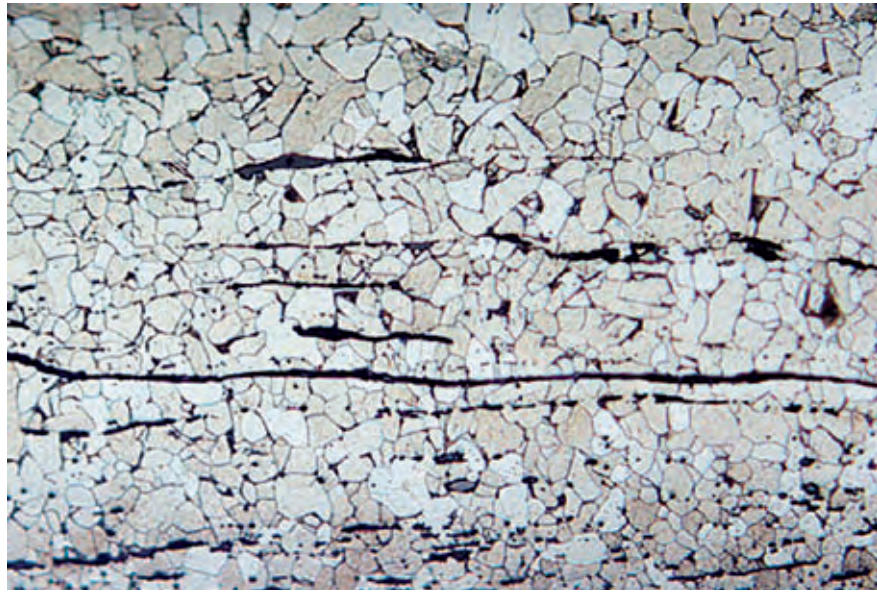
Para revelar la estructura metalográfica de las muestras se ataca la superficie del metal con una mezcla de reactivos específicos para cada aleación: En nuestro caso se ha empleado una mezcla de ataque para hierros y aceros denominada nital³, que permite dis-

³ Nital: C₂H₅OH, 98 ml; HNO₃ concentrado, 2 ml.

tinguir los límites del grano del metal y gracias a la información obtenida a partir del tamaño, distribución, presencia de maclas, número de fases y forma de los granos se puede conocer más sobre las técnicas empleadas en la ejecución de la reja.

Por último, se realiza el estudio mediante *microscopía electrónica de barrido con microanálisis por dispersión de energías de rayos X* (JEOL, modelo JSM-5800-Oxford Link Pentafet). Esta técnica aporta gran información topográfica de las muestras. Se aplica a las preparaciones metalográficas empleadas en el estudio de microscopía óptica metalizadas con carbono para convertirlas en conductoras. La ventaja adicional es la posibilidad de realizar análisis químico elemental de las zonas observadas gracias al espectrómetro de energías dispersivas de Rayos X acoplado al microscopio.

En el estudio metalográfico *de las chapas decorativas originales del siglo XVI* de la sección pulida sin atacar se identifican abundantes escorias y fisuras orientadas en dirección paralela al borde de la chapa. Las deformaciones y la orientación preferencial de las



fisuras y escorias se deben a los esfuerzos a los que se ha sometido la chapa durante el repujado hasta alcanzar la forma final.

Cuando se revelan las estructuras metalográficas se observa en todas las chapas una estructura monofásica de ferrita (hierro α), formada por granos equiaxiales, entre los que se aprecian restos de escorias y fisuras deformadas durante el repujado de la lámina.

Figura 2. Fotografía de microscopía óptica de la sección transversal de una chapa decorativa original pulida y atacada con nital ($\times 10$). Detalle de las grietas orientadas según la dirección de trabajado de la lámina.

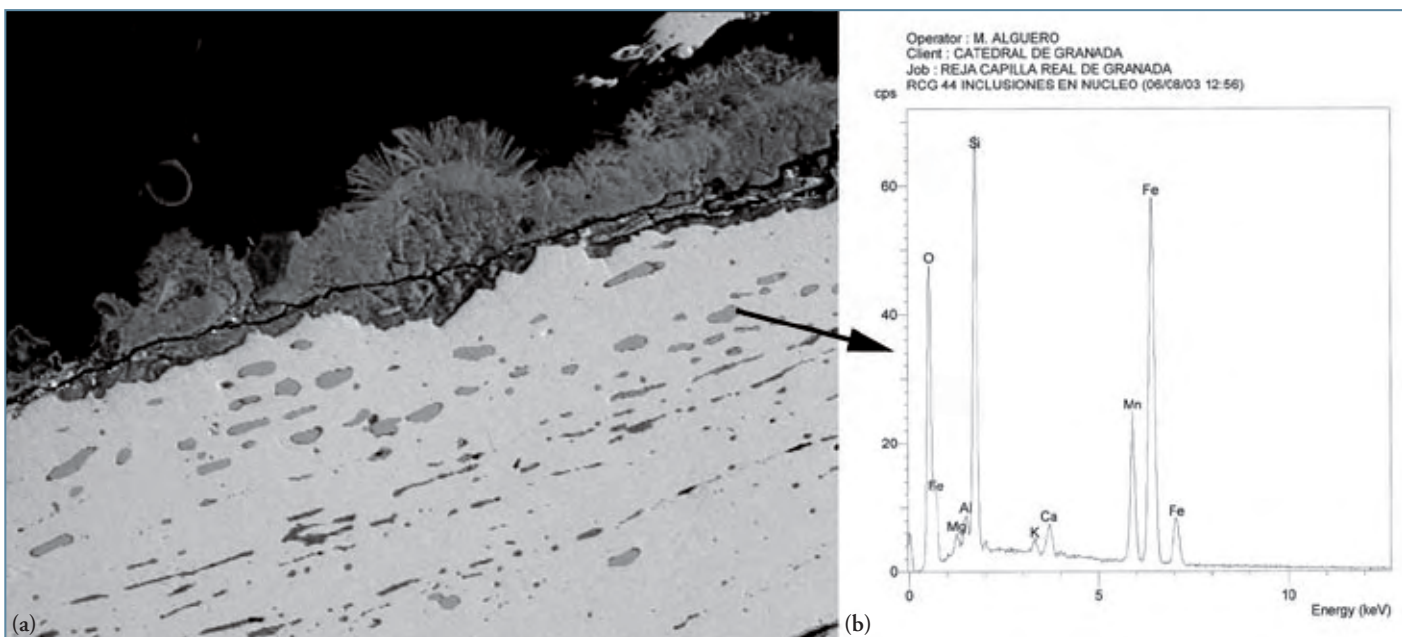


Figura 3. (a) Imagen SEM con electrones retrodispersados de la sección transversal de una figura decorativa original del siglo XVI. (b) Microanálisis EDX de la inclusión.



Figura 4. Fotografía de microscopía óptica de la sección transversal de una figura decorativa no original pulida y atacada con nital (x20).

Figura 5. (a) Imagen BSE de una chapa decorativa no original en la que se observa una fina lámina de latón en la policromía, que aparece de color brillante. (b) Microanálisis EDX de la lámina.

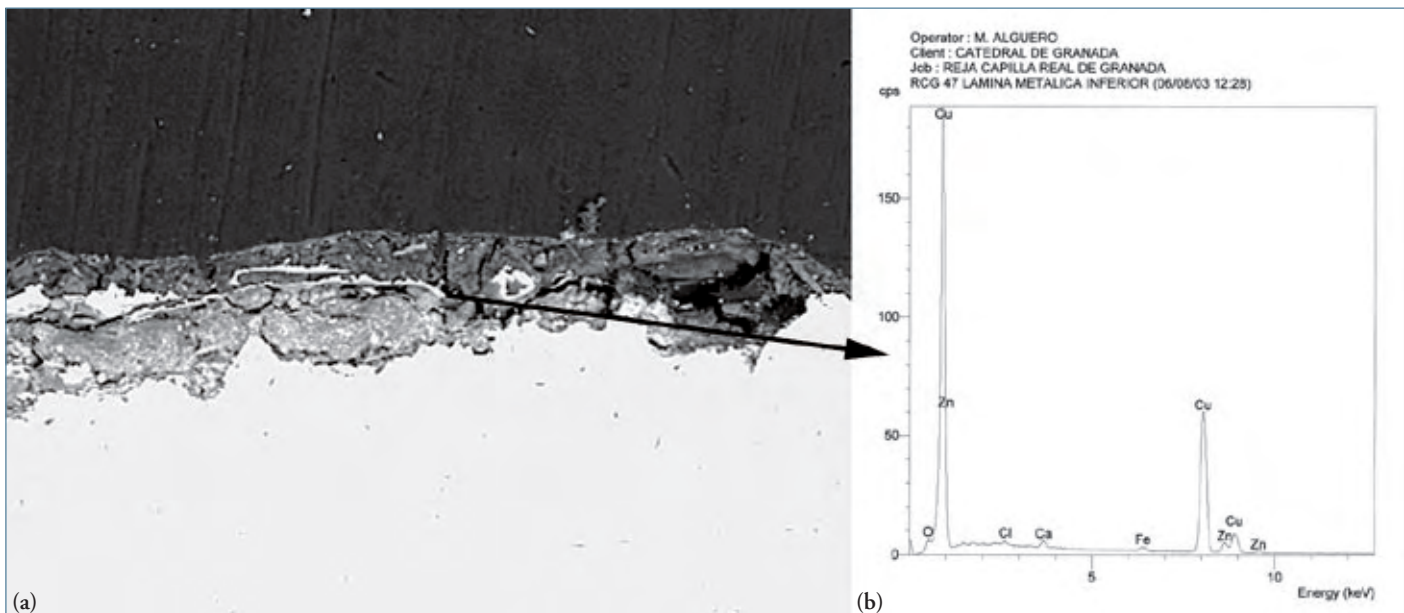
Los granos equiaxiales indican que el trabajo de la chapa se ha realizado en caliente o se ha sometido a una fase final de recocido para eliminar las tensiones generadas con las deformaciones (fig. 2).

La observación al microscopio electrónico de barrido en modo de electrones retrodispersados (BSE), de estas figuras originales, muestra una imagen composicional en

la que se aprecia un núcleo de hierro con numerosas inclusiones. Son de naturaleza silicatada y aparecen en la imagen BSE con un color gris más oscuro que el resto de la matriz, por contener elementos de menor número atómico. Puntualmente se ha detectado en la superficie de la chapa un pequeño foco de corrosión formando eflorescencias de óxidos de hierro (fig. 3).

En algunas muestras de láminas se han encontrado en la cara interna restos de plomo, posiblemente procedentes de los cuños de este material, utilizados cuando el relieve a alcanzar en el repujado de las planchas era importante.

Entre las figuras decorativas clasificadas por su estructura y composición química como originales, sólo una presenta un dorado realizado con latón, empleándose oro en el resto de figuras estudiadas. Pensamos que este latón ha sido aplicado en una restauración posterior para renovar el dorado de la pieza original, durante la restauración de 1776. La hipótesis se refuerza al coincidir la composición química del dorado de esta chapa con la analizada en las aleaciones de



las figuras no originales del siglo XVIII (latón: 93% cobre y 7% cinc).

En el estudio metalográfico de las muestras pulidas *de chapas decorativas no originales* sin atacar se observan diferencias sustanciales con respecto a las muestras de figuras originales. Se reducen considerablemente el número y tamaño de las inclusiones en la matriz de hierro y baja la porosidad.

La estructura metalográfica que se revela en este grupo de muestras difiere completamente de la que presentan las chapas originales del siglo XVI. Una vez atacada con nital se observa un sistema bifásico, en contraste con los hierros monofásicos de bajo contenido en carbono de las muestras originales. El sistema bifásico está constituido por fase α (solución sólida de carbono en hierro α) y perlita (cementita $-Fe_3C-$ y ferrita) con una estructura Widmanstätten (fig. 4). El contenido en carbono es superior al de las muestras originales.

En microscopía electrónica de barrido se ha trabajado con electrones retrodispersados (modo BSE) para obtener una información composicional. Se ha realizado el análisis químico de las láminas metálicas del dorado mediante espectrometría de dispersión de rayos X acoplado al microscopio. Los resultados indican que todos los dorados no originales están realizados con finas láminas de latón con un contenido promedio de cinc del 7%.

La gran calidad de la obra se refleja tanto en sus materias primas como en su ejecución. Los *elementos sustentantes*, barrotes de sección cuadrada, hacen gala de dicha calidad y robustez. Aparecen en la obra adoptando formas helicoidales, lo que les obliga a retorcerse sobre sí mismos manteniendo la verticalidad. En su superficie se aprecian restos de un recubrimiento metálico, que actualmente toma la apariencia de pequeños islotes, al haberse eliminado parcialmente



Figura 6. Detalle de los restos del recubrimiento que muestran los barrotes. Autor: José Manuel Santos Madrid.

con el paso del tiempo (fig. 5). Sobre el estaño se distingue una capa negruzca, cuya identificación se expone en la sección del artículo que analiza la policromía.

El estudio de los barrotes se ha realizado en sección transversal, lo que ha permitido identificar con una sola muestra los tratamientos superficiales del barrote así como la estructura y composición interna.

Figura 7 Fotografía de microscopía óptica de un barrote atacada con nital ($\times 10$). La metalografía muestra el diferente tamaño de grano entre las zonas más internas del barrote y la periferia.

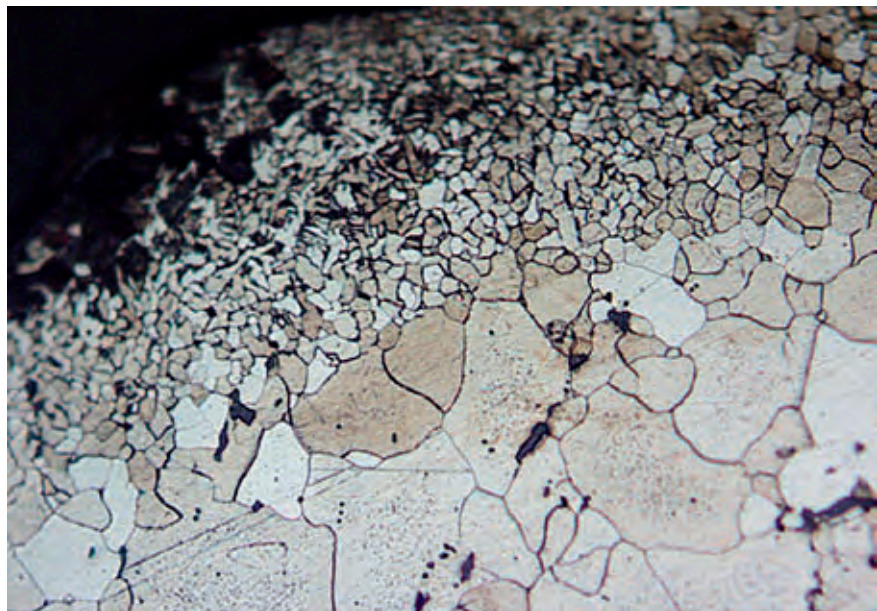




Figura 8. Fotografía de microscopía óptica del recubrimiento de estaño del barrote sin atacar (x10)

Con el microscopio óptico de luz reflejada se observa en la zona del núcleo una matriz de granos poligonales y equiaxiales de ferrita α , con presencia de escorias de color oscuro, alargadas según la dirección de trabajado. Estas impurezas son características del hierro obtenido por pudelado, y corresponden a las impurezas propias del afino (fig. 6). La estructura fibrosa que se desarrolla confiere gran tenacidad al material, obteniéndose un producto de excelente calidad. Su composición es la de un hierro monofásico con un contenido muy bajo en carbón y es idéntica a la analizada en las chapas originales empleadas en las figuras decorativas.

En los bordes del barrote, los granos de ferrita son mucho más pequeños, y se aprecia una leve corrosión intergranular, debido al proceso final de martillado al que se ha sometido el barrote para conseguir la forma final cuadrada, y a enfriamientos no homogéneos en la pieza.

Esta estructura evidencia el duro proceso de ejecución de los barrotes hasta alcanzar la forma final. El hierro caliente era sometido a enérgicos golpes para conferirle la forma

deseada. Este proceso modificaba lentamente la estructura interna del metal, haciéndose necesario exponer a las barras a procesos cíclicos de calentamiento-enfriamiento para evitar la acritud y aumentar su capacidad de deformación.

En algunos barrotes se han identificado restos del estañado que recubría inicialmente la superficie. La estructura observada en el estañado indica que ha sido aplicado por inmersión del hierro en caliente (fig. 7). El recubrimiento de estaño ha cumplido la función de protegerlo ante la corrosión. Esto, junto a la gran calidad de la materia prima, explica el buen estado de conservación de la reja.

Puntualmente se han detectado signos de corrosión en una pequeña zona superficial del barrote. Se han analizado mediante microscopía electrónica de barrido y microanálisis por espectrometría de dispersión de energías de rayos X (MEB-EDX) para conocer la profundidad y el alcance de la alteración. Se aprecia una pequeña picadura de corrosión compuesta por óxidos de hierro, que por su escasa penetración y presentarse de forma muy localizada no ofrece gran importancia (fig. 8).

En las rejas monumentales existen muchos otros *elementos con función de ensamblaje (o anclaje)*, además de los elementos principales que la constituyen (barrotes y chapas que conforman las figuras decorativas), que también resultan interesantes en cuanto a su técnica de ejecución. Se ha analizado uno de los *cerramientos* de los frisos realizados en chapa con un recubrimiento metálico idéntico al observado en los barrotes. Al atacar la muestra se revela una estructura monofásica de ferrita (solución sólida de carbono en hierro α), con granos equiaxiales e inclusiones deformadas según la dirección de laminado, similar a la mostrada por los ele-

mentos originales de la reja anteriormente analizados. La capa superficial más brillante corresponde al recubrimiento de estañado de la lámina (Fig. 9).

Este tratamiento se emplea para proteger el metal al que recubre, ya que el estaño presenta una buena resistencia a la corrosión atmosférica, incluso en ambientes húmedos. Los recubrimientos de estaño son muy finos, del orden de 2 a 15 μm , en nuestro caso es de aproximadamente 8 μm . El estañado se aplica por inmersión a 300 $^{\circ}\text{C}$ con las láminas de hierro previamente calentadas.

A mayores aumentos se puede observar con más detalle el tratamiento de estañado de la lámina de hierro, conservado perfectamente en esta zona. Cuando se aplica el estaño en caliente se produce una difusión de los átomos de estaño en la estructura de hierro, produciéndose dos fases: fase ζ y θ , que dan lugar a dos capas de intermetálico. La capa más interna (punto 1, fig. 10) son cristales columnares de FeSn_2 , compuesto intermetálico que forma la fase θ , y su composición es la indicada en el microanálisis de la fig. 10. Esta capa es muy compacta y limita la formación de FeSn_2 , restringiendo la difusión de los reactivos a través de ella. La capa más externa (punto 2, fig. 10) estuvo inicialmente compuesta de estaño puro, aunque en nuestro caso presenta un mayor grado de oxidación como resultado lógico de su larga exposición a la atmósfera.

Otro elemento de anclaje estudiado ha sido una pequeña *cuña* de hierro original encontrada en la reja, en la que se observa una estructura y composición idéntica a la de los barrotes. La metalografía presenta una matriz de ferrita (hierro α), formada por granos equiaxiales, entre los que se aprecian restos de escorias deformadas durante el trabajado de la *cuña*. Estas escorias son

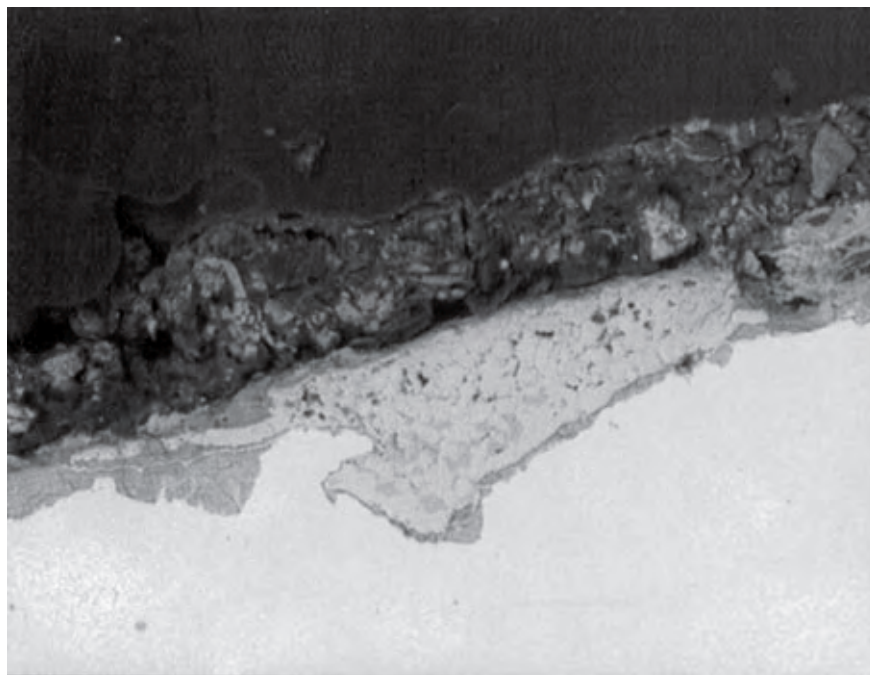


Figura 9. Imagen BSE composicional de la zona externa del barrote donde se localiza corrosión.

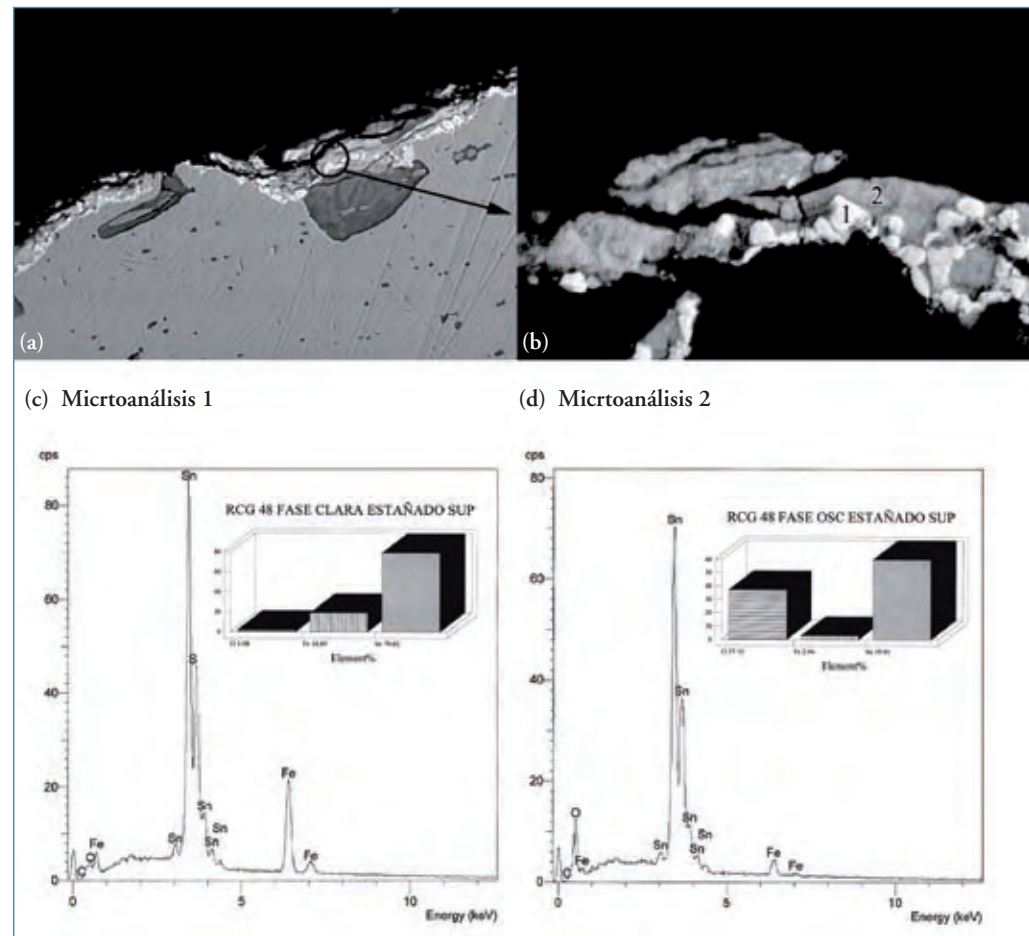
responsables de la buena resistencia mecánica mostrada por estos materiales

A diferencia de los barrotes, en la *cuña* no se aprecia ningún tratamiento superficial de protección. A pesar de esto, la corrosión es poco profunda, y forma una capa de óxidos de hierro homogénea y compacta en toda la pieza, sirviendo de barrera protectora.

También se ha analizado uno de los *remaches* que sujetaba las dos partes de una figura decorativa. Al realizar el montaje de la muestra se ha buscado la sección transversal a lo largo del eje del remache para observar su perfil.

En microscopía óptica de luz reflejada se revela la estructura metalográfica con una matriz de granos ferríticos deformados según las direcciones de los esfuerzos, que delatan que ha sido sometido a un trabajo intenso para conformar la cabeza del remache. En la parte central del cuerpo del remache los granos de ferrita son mayores, debido a que el enfriamiento en esta zona ha sido más lento que en las partes más

Figura 10. Imagen BSE del estañado sobre el barrote donde se aprecian las dos fases formadas (a). En la ampliación de la imagen se indican las dos fases (b) analizadas (c y d) por espectrometría dispersiva de rayos X (EDX).



externas (fig. 11). Muy probablemente la cabeza del remache se formó por deformación en caliente a partir de una barrita original.

Metodología y estudio de la policromía de la reja: determinación de adiciones y alteraciones

Antes de la restauración dirigida por el IPHE⁴ en 2003 el colorido original se hallaba oculto por repintes y repolicromías. Los barrotes torneados, los fustes de las columnas y otros elementos sustentantes estaban pintados de negro, mientras que los elementos decorativos simétricos de las pilastras, los frisos, el remate, el grupo central de escudos y las escenas, estaban

cubiertos por colores opacos o por recubrimientos oscurecidos.

El *objetivo* de los análisis de la policromía ha sido caracterizar los materiales presentes en la policromía del siglo XVI y distinguirlos de aquellos incorporados en el siglo XVIII y en otras actuaciones.

La instrumentación empleada en las técnicas microscópicas analíticas ha sido la misma que en el apartado anterior, de modo que sólo destacaremos ciertas diferencias, como el empleo de la microscopía de fluorescencia con una iluminación por reflexión por medio de una lámpara ultravioleta de luz negra o lámpara de Wood, en las muestras de policromía incluidas en una resina dura de tipo metacrilato y pulido posterior de la sección transversal. Al mismo tiempo que efectuamos el análisis

⁴ Paz Ruiz se encargó de la dirección técnica y la empresa Ágora ejecutó la restauración

morfológico de las capas superpuestas, la determinación de las partículas presentes, el tamaño, el color y la medida del espesor de los estratos, detectamos las películas orgánicas y los pigmentos y colorantes fluorescentes. En el siguiente paso de la secuencia se aprovechan las inclusiones estratigráficas para realizar el microanálisis de los componentes inorgánicos (pigmentos y cargas) de las policromías con el microscopio electrónico de barrido acoplado a un detector por dispersión de energías de rayos X (MEB-EDX), metalizando previamente con carbono como se describe en el estudio del metal.

Separamos previamente las diferentes capas para evitar posibles contaminaciones cuando deseamos establecer su naturaleza de las sustancias orgánicas presentes (aglutinantes, recubrimientos y adhesivos). Determinamos el tipo de polímero al que pertenecen los materiales orgánicos en las capas aisladas y dispersadas en un matriz de KBr, estudiadas con un espectrómetro de infrarrojos por transformada de Fourier (FT-IR, Bruker Equinox 55).

Hemos empleado la cromatografía en capa fina para determinar el colorante rojo de las correspondientes veladuras.



Figura 11. Fotografía de microscopía óptica de la sección transversal de una cuña atacada con nital (x5).

Analizamos por cromatografía de gases-espectrometría de masas (CG MS, SHIMADZU, inyector automático A6c-20i, GC-17a, MS-QP5050 y columna HT5) los esteres metílicos volátiles de los ácidos grasos característicos de los aglutinantes y recubrimientos, utilizando como reactivo metilante una sal de amonio cuaternario.

En primer lugar, describiremos los *elementos propios de la policromía del siglo XVI* que hemos logrado analizar.

Extrajimos micromuestras representativas de los dorados mates localizados en gran parte del friso, orlas que adornan los escudos, las pilastras, las decoraciones vegetales, los cabellos y las vestiduras de numerosos personajes (figs. 12 y 13). Todas las muestras que contenían restos de la policromía original estaban doradas a la sisa. El pan de



Figura 12. Detalle de la riqueza de la policromía del motivo principal de la reja, compuesto por el escudo y los emblemas de los Reyes Católicos, situados en el centro del segundo cuerpo.

Figura 13. Aspecto de los dorados y encarnaciones de la policromía original después de la restauración.

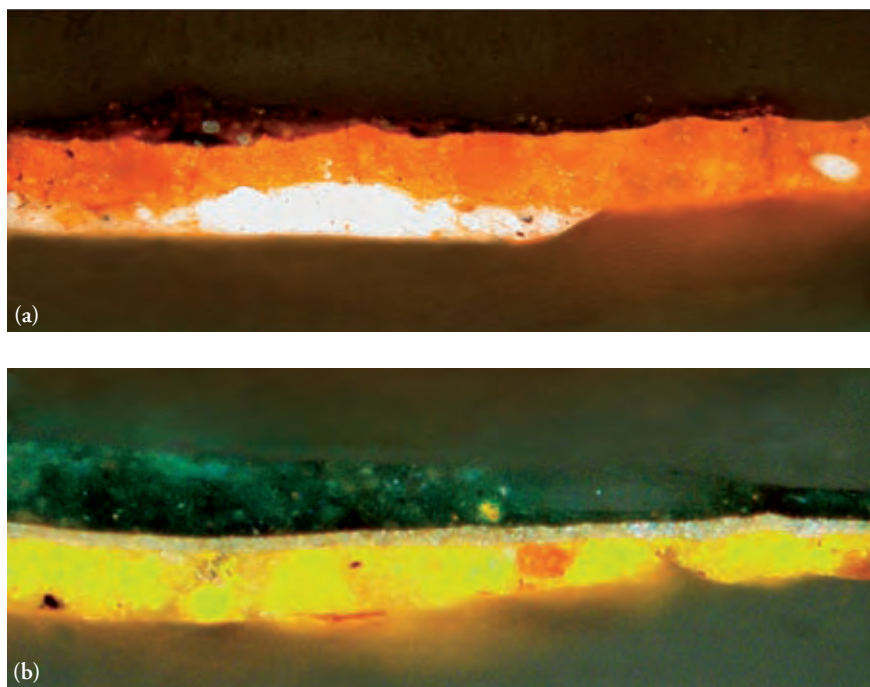


Figura 14. Microfotografías de una veladura roja sobre oro (a) y verde sobre estaño (b) respectivamente. En ambos casos se observa el adhesivo «a la sisa» del metal de color rojo anaranjado y la capa traslúcida de laca roja o de un verde de cobre, que proporcionan el efecto metalizado.

oro se asentaba sobre una capa mordiente pigmentada, muy fina, de color anaranjado y muy rica en aglutinante. Las funciones del pigmento mayoritario, el minio, consistían en proporcionar un matiz cálido al dorado, aumentar la viscosidad de la pasta sobre la que se aplicaba el oro y acelerar el secado del aceite de linaza cocido empleado como adhesivo. No hemos podido aislar el aceite de empavonar, es posible que se trate del mismo aceite de linaza de la sisa, aunque no podemos descartar que haya sido enmascarado por éste.

Observamos también la existencia de plateados, aunque en un número mucho menor que los dorados, en los cuerpos de los leones del escudo central y las vestiduras de algunos personajes de las escenas. La técnica de ejecución era semejante a la utilizada en los dorados a la sisa, sustituyendo el pan de oro por fina lámina de estaño, para imitar la plata (fig. 14).

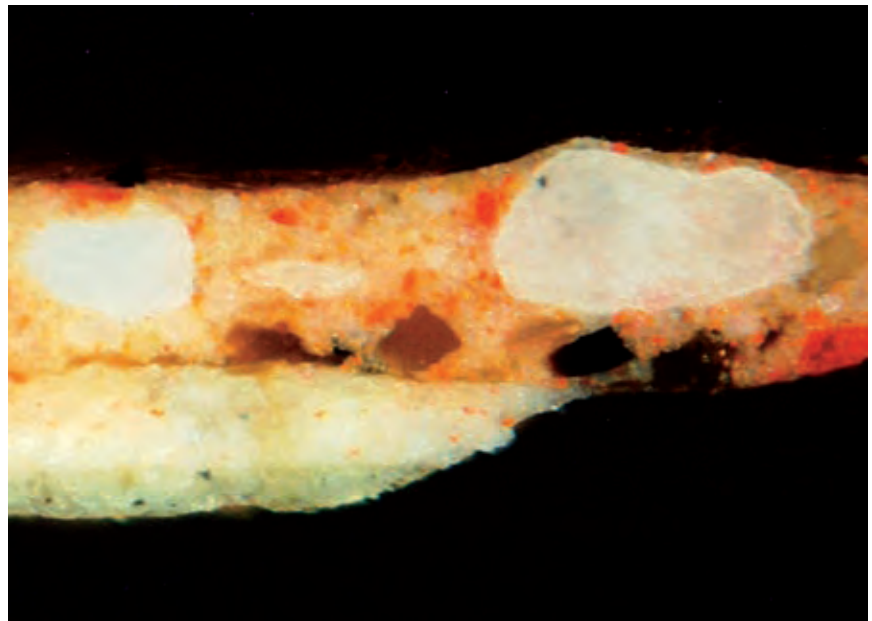
La mayoría de las decoraciones originales consistían en capas transparentes que daban un aspecto metalizado y brillante a la super-

ficie. Estos baños o veladuras rojas y verdes sobre el oro se habían ejecutado también al óleo y los pigmentos identificados han sido una laca roja, probablemente cochinilla⁵ y un pigmento verde de cobre, disuelto en el aceite de lino empleado como aglutinante. Encontramos también veladuras verdes de la misma composición que las anteriores sobre los plateados con la lámina de estaño. En el apartado anterior hemos visto que el estaño cubre actualmente de forma parcial el hierro de las partes no doradas y parece extenderse más allá de las áreas sin dorar, pero aparece también bajo algunos motivos cubiertos posteriormente por repolicromías doradas en forma de plateados y corlas o veladuras verdes.

La capa más interna de las micromuestras tomadas de las encarnaciones consistía en una delgada imprimación de albayalde. Iba seguida de las capas pictóricas rosadas que alcanzaban las tonalidades de los rubores de las mejillas, rodillas, etc., compuestas por albayalde y pequeñas cantidades de bermellón y laca roja finamente molidos (figs. 15 y 16). El único aglutinante identificado ha sido el aceite de linaza cocido.

En los azules distinguimos un estrato inferior compuesto por una mezcla de índigo, albayalde y pequeñas cantidades de azul esmalte, que cubría veladuras rojas originales. En ciertas muestras simétricas tomadas de ambas caras, había una segunda capa azul más intensa compuesta por albayalde y azul de Prusia. Dado que este último pigmento se usó a partir del siglo XVIII, mientras que el azul esmalte y el índigo son anteriores, Al no existir una documentación sobre este particular, no podemos descartar que la capa intermedia azul se deba a una *intervención del siglo XVII, de menor extensión*, aunque también podría servir de capa de fondo de la siguiente repolicromía (fig. 17).

⁵ La identificación del colorante ha resultado muy difícil debido a la presencia de impurezas que enmascaran los análisis.



Respecto de la *intervención realizada en el siglo XVIII*, la coloración de los adornos florales, las vestiduras y otros motivos se efectuó con pigmentos que forman capas opacas, azules, ya mencionadas, rojas y verdes, y estos últimos contienen bermellón y ver-

digrís, respectivamente. Las encarnaciones también estaban repolicromadas y cubiertas por recubrimientos oscurecidos (fig. 18).

En esta ocasión la identificación del dorado resultó ser un latón, tanto en las partes repolicromadas como en los restos de «pan de oro

Figuras 15 y 16. Cabeza de niño con una laguna en la mejilla derecha donde se ha tomado la muestra representada en la microfotografía. Imprimación blanca y encarnación rosada de albayalde y pequeñas cantidades de bermellón y laca roja.

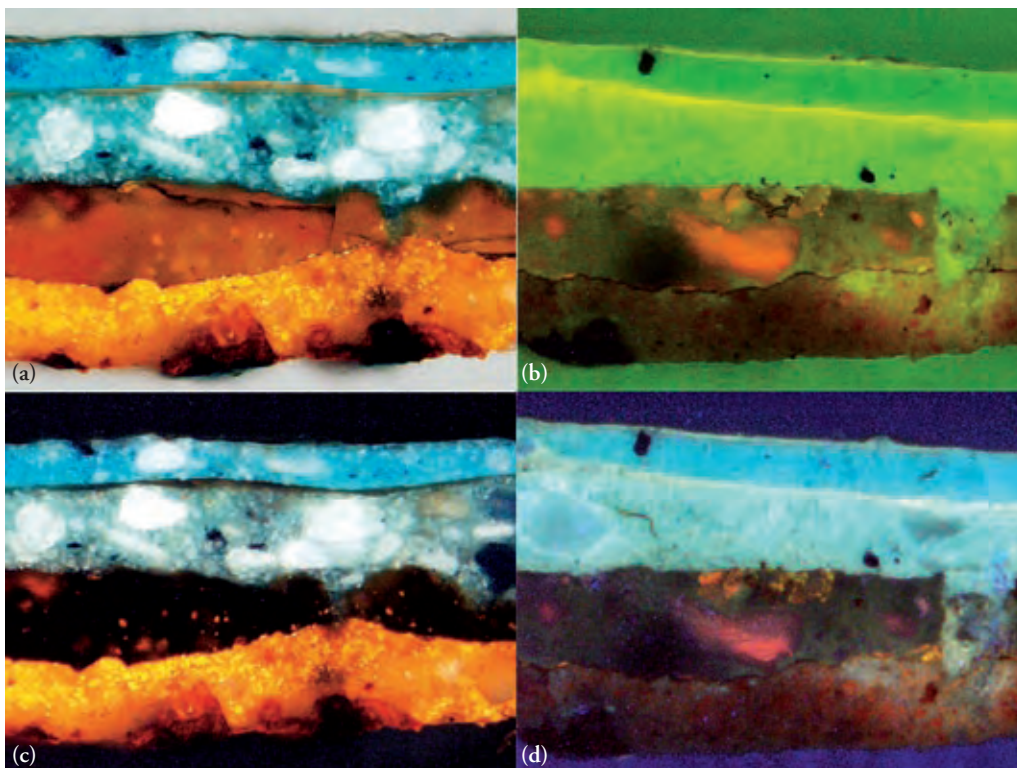


Figura 17. Microfotografías con luz reflejada de una lámina delgada a y b. Microfotografías de fluorescencia con filtro azul (c) y filtro UV (d). Repolicromía azul del siglo XVIII sobre una veladura de laca roja. La capa azul inferior puede tratarse de un fondo azul que contiene esmalte o una repolicromía del XVI. El estrato superior contiene azul de Prusia, pigmento que data desde el siglo XVIII.

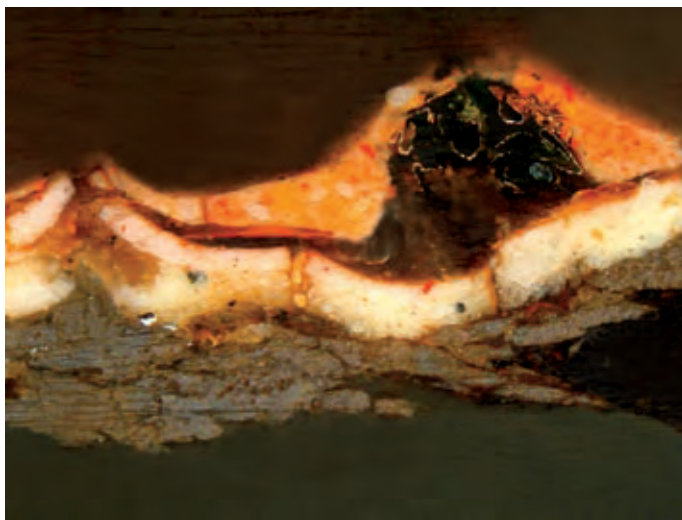
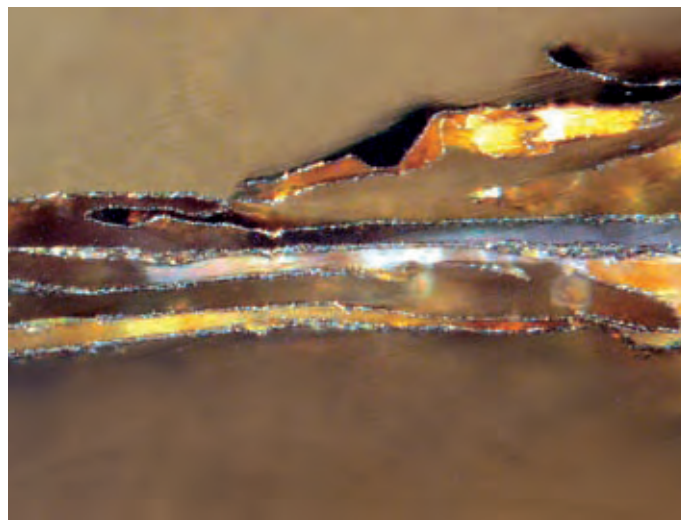


Figura 18. Microfotografía de una encarnación dieciochesca sobre la original, procedente de un elemento decorativo de pequeña dimensión, de ahí el estañado.

Figura 19. Pan de latón del librillo encontrado en el friso, empleado en la repolicromía barroca.



falso» de un librillo descubierto en el interior de un friso de la parte alta de la reja (fig. 19).

La sisa aplicada era más compacta que en el caso anterior, de color más rojizo y estaba compuesta por una mezcla de minio y tierra roja aglutinados con aceite de linaza cocido.

Observamos también una capa parda oscura traslúcida que, unas veces se sitúa entre los dorados de ambas épocas, otras sobre los dorados originales de las partes altas o, finalmente, bajo los repintes amarillos. Dicho película intermedia de naturaleza orgánica, contenía aceite de lino cocido, acompañado a veces por una resina de copal.

Encontramos también recubrimientos en la superficie no decorada de la reja, consistentes en una espesa capa negra de aceite de linaza y negro carbón, matizada finalmente con un barniz de colofonia y cera de abejas. Al oxidarse la lámina de estaño que cubría los barrotes originales, su aspecto metálico se había modificado e incluso perdido y consideraron necesario proteger el metal.

Ciertas partes doradas se hallaban ocultas por la capa negra mencionada en el párrafo anterior, pintada de nuevo de amarillo ocre aglutinado con aceite de linaza para recuperar la tonalidad del oro en determinadas lagunas. Esta última capa opaca supondría

una *intervención sobre la reja, mas reciente* que la de 1776.

Hasta ahora hemos descrito los aglutinantes y recubrimientos oleosos como aceite de linaza cocido con una proporción de palmitato /estearato (P / E) inferior a 2. Sin embargo, existen diferencias entre ellos en la relación de acelato/palmitato que interesa tratar con mayor detenimiento. El aceite empleado del repinte amarillo y de la repolicromía ha sido aplicado en caliente, como lo demuestran las relaciones de acelato /palmitato ($A/P > 1$) superiores a las habitualmente encontradas en los aceites secantes, a diferencia de los aglutinantes de las veladuras rojas y verdes y el adhesivo de la sisa original cuya relación es siempre $A/P \leq 1$ (fig. 20)

Conclusiones

Respecto a la técnica de ejecución y material soporte de esta gran obra, se tienen que distinguir dos aspectos: por un lado el trabajo y material de los barrotes, y por otro el de las chapas.

Durante el proceso de taller, las barras de hierro eran calentadas y forjadas reiteradamente, hasta conseguir la forma deseada, de

modo que se obtenía una excelente calidad de hierro fibroso y tenaz. Tanto el conformado de las barras en sección cuadrada como el torcimiento de las mismas se realizaban en caliente, según se observa en las metalografías realizadas. Los sucesivos calentamientos hacen que el material se vuelva frágil. Para evitar esto, se sometía al hierro de forma periódica al proceso de templado.

Los barrotos llevan un acabado final de estañado. Para ello, al terminar el conformado, se calentaban y se aplicaba una capa final de estaño en caliente, buscando con ello una protección contra el óxido. Actualmente el estañado ha quedado prácticamente reducido a pequeñas zonas e islotes aislados en los barrotos, habiendo cumplido sobradamente su función. El sacrificio de este recubrimiento ha conservado hasta nuestros tiempos en condiciones admirables esta obra.

Otros elementos constitutivos de la obra, como los cerramientos de los frisos, tenían también una protección mediante estañado. Sin embargo, elementos de menor importancia, como cuñas o remaches, no tenían esta protección final.

Las láminas de hierro que adornan la reja han sido repujadas, alcanzando volúmenes considerables si tenemos en cuenta la dificultad que presenta el hierro ante esta técnica en comparación con otros metales.

Ninguna de las chapas que forman las figuras decorativas ha sido estañada, pero sí empavonadas, ya que estas piezas iban doradas y policromadas.

Las láminas de figuras decorativas originales presentan una estructura metalográfica monofásica de ferrita, con numerosas inclusiones y bajo contenido en carbono. Esta estructura y composición es idéntica a la que presentan los barrotos, cuñas y remaches.

Las figuras decorativas no originales muestran una composición y estructura

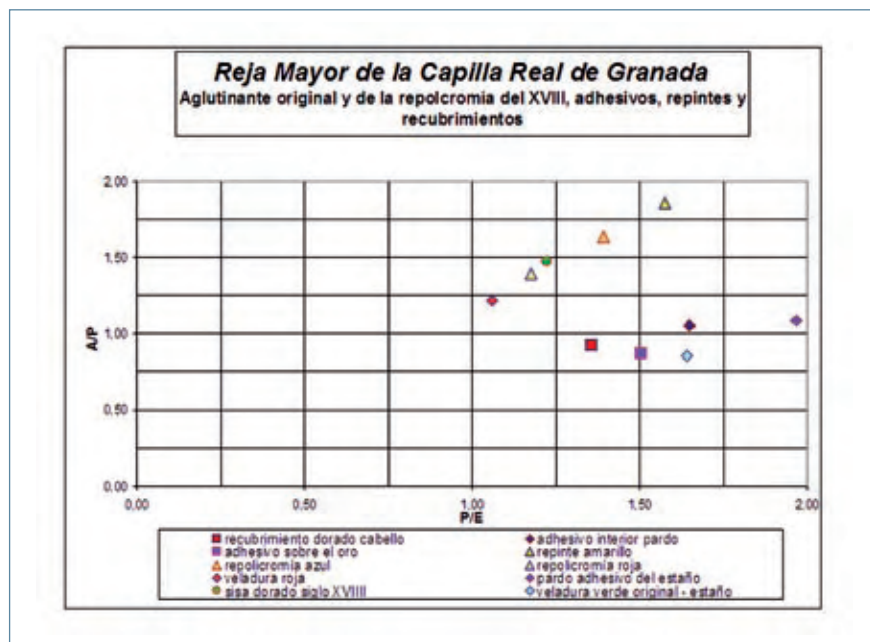


Figura 20. Esquema representativo de las relaciones acetato / palmitato (A/P) en el eje de ordenadas y palmitato / estearato (P/E) de los materiales grasos identificados por cromatografía de gases - espectrometría de masas.

metalográfica totalmente distinta a las anteriores: bifásica, sin inclusiones y con mayor contenido en carbono. Esto confirma la hipótesis de que sean elementos no originales de la reja, probablemente añadidos en la restauración de 1776.

Ya hemos visto que la suntuosidad de la policromía de la reja de la Capilla Real se localiza en elementos simétricos que decoran ambas caras y también que los colores que contemplábamos al comienzo de la restauración dirigida por el IPHE en el año 2003 estaban enmascarada por capas superpuestas que han puesto en evidencia los análisis.

Gran parte de la decoración de la crestería, los escudos centrales y las pilastras, que separan las calles había sido dorada originalmente «a la sisa», realizando ciertos elementos con veladuras rojas, verdes y pardas. El oro intensificaba el color de las veladuras rojas y pardas de frutos, ropajes y matices en los flameados, mientras que las verdes y pardas parece que se aplicaban siempre sobre plateados hechos con estaño.

El metal además de proteger los elementos sustentantes, sirvió para sustituir a la plata en el cuerpo de los leones, la hojarasca de los escudos y algunas vestiduras del siglo XVI. El color de las encarnaciones de los elementos antropomórficos y los personajes de las escenas era generalmente rosado claro.

La transformación de la rica policromía original era bastante considerable. Los oros se habían tornado verdosos debido a la corrosión del latón empleado en 1776 o amarillo -opacos al sustituirse por repintes ocres posteriores. Los verdes y rojos metalizados de los paños y de ciertos ornamentos vegetales habían pasado a ser opacos, llegando a modificar incluso su color inicial. Por último, gran parte de la policromía se hallaba oscurecida y en menor grado en estado lagunar.

Nuestro trabajo ha contribuido a la caracterización material de este tipo de obras monumentales, mal estudiadas, y a colaborar con la restauración que ha puesto de manifiesto parte de su magnificencia primitiva. Los análisis demuestran que la manufactura de la obra resulta un ejemplo de la gran calidad artesanal del maestro rejero responsable de su construcción y de los pintores y policromadores que intervinieron, que concierne tanto en los materiales de fabricación como en la técnica de ejecución.

Agradecimientos

A Paz Ruiz restauradora especializada en rejas monumentales por su colaboración a lo largo de todo el proyecto de intervención,

que nos ha suministrado además documentación del Archivo de la Capilla Real y las imágenes finales de la reja.

Bibliografía

- CAMPS CAZORLA, E.: *Hierros Antiguos Españoles*. Madrid: Publicaciones de la Escuela de Artes y Oficios Artísticos de Madrid, 1941.
- DOMÍNGUEZ CUBERO, J.: *La rejería de Jaén en el siglo XVI*. Jaén: Diputación provincial de Jaén, Instituto de Cultura, 1989.
- GALLEGO Y BURIN, A.: *Granada. Guía artística e histórica de la ciudad*, p. 239-240.
- MATA TORRES, J.: *La rejería sevillana en el siglo XVI*. Sevilla: Diputación de Sevilla, Área de Cultura y Deportes, 2001.
- GALLEGO DE MIGUEL, A.: *Rejería castellana. Palencia*, Publicación de la Institución Téllez de Meneses. Diputación de Palencia, 1988.
- FRANCE-LANORD, A.: *Ancient metals: structure and characteristic technical cards*. Roma: ICCROM, 1980.
- LEONI, M.: *Elementi di metallurgia applicata al restauro delle opere d'arte : corrosione e conservazione dei manufatti metallici*. Firenze: OpubLibri, cop. Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro, 1984.
- PITA ANDRADE, J. M.: *El libro de la Capilla Real*. Granada: Ed. Miguel Ángel Sánchez, C.B., 1994.
- SCOTT, D. A.: *Metallography and microstructure of ancient and historic metals*. Marina del Rey, California: The Getty Conservation Institute: The J. Paul Getty Museum in association with Archetype Books, cop., 1991.
- V.V.A.A.: *Metals handbook*, 9th Ed., Vol. 9, *Metallography and microstructures*, American Society for Metals, Metal Park, OH, 1985.