La reja de la capilla de las Reliquias de la Catedral de Sigüenza

Ministerio
de Educación, Cultura
y Deporte

Estudios, análisis, restauración y mantenimiento de una obra renacentista

La reja de la capilla de las Reliquias de la Catedral de Sigüenza

Estudios, análisis, restauración
y mantenimiento de una obra renacentista

MINISTERIO
DE EDUCACIÓN, CULTURA
Y DEPORTE

DIRECCIÓN GENERAL
DE BELLAS ARTES Y BIENES CULTURALES
Y DE ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS

SUBDIRECCIÓN GENERAL
DEL INSTITUTO DEL PATRIMONIO
CULTURAL DE ESPAÑA

Catálogo de publicaciones del Ministerio: www.mecd.gob.es
Catálogo general de publicaciones oficiales: publicacionesoficiales.boe.es

Edición 2015

Coordinación científica
Paz Ruiz Rivero

Coordinación editorial del IPCE
Alejandro Carrión Gútiez
Rosa Chumillas Zamora
Soledad Díaz Martínez
Guillermo Enríquez de Salamanca González
Adolfo García García
Carlos Jiménez Cuenca
Lorenzo Martín Sánchez
Alfonso Muñoz Cosme
Mónica Redondo Álvarez
María Pía Timón Tiemblo

Coordinación de la publicación
Alejandro Carrión Gútiez

Fotografía de la cubierta:
Vista general del anverso de la reja.
Fotografía: Joaquín Gómez de Llerena

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA
Y DEPORTE

Edita:
© SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
Subdirección General
de Documentación y Publicaciones

NIPO: 030-15-048-6

ÍNDICE

Pág.

Estudio histórico-artístico.....10
Juan Carlos Hernández Núñez

Estudio de las técnicas constructivas.....28
Paz Ruiz Rivero, Tomás Antelo Sánchez y Javier Laguna Rodríguez

Análisis de los metales constituyentes.....56
Auxiliadora Gómez Morón

Análisis de los materiales constituyentes de la policromía.....67
María Antonia García Rodríguez y Pedro Pablo Pérez García

Restauración y mantenimiento.....79
Paz Ruiz Rivero

III. Análisis de los metales constituyentes

Análisis de los metales constituyentes

Auxiliadora Gómez Morón
Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH). Química.
Camino de los Descubrimientos, s/n, 41092 Sevilla
mariaa.gomez.moron@juntadeandalucia.es

Resumen: Se han caracterizado mediante métodos metalográficos muestras procedentes de la reja de la Capilla del Santo Espíritu de la Catedral de Sigüenza. Se observa una estructura muy homogénea de ferrita, hierro casi puro, con inclusiones deformadas. Las inclusiones se han estudiado empleando microscopio electrónico de barrido con espectrómetro de energías dispersivas.

La metalografía ha permitido distinguir los elementos originales de la reja de otros elementos añadidos recientemente.

Se ha identificado un tratamiento de estañado sobre los balaustres. Este tratamiento los ha protegido de la corrosión.

Palabras claves: Metalografía, análisis de inclusiones, rejería, Catedral de Sigüenza, hierro estañado.

Abstract: Specimens from a wrought iron railing from the Chapel of Santo Espiritu at The Sigüenza Cathedral have been examined with metallographic methods. They show a very homogeneous ferrite structure, a very pure iron, with deformed inclusions. The inclusions have been studied with scanning electron microscope and Energy Dispersive X-Ray Spectrometer.

The metallographic study has discriminated between the original rail components and more recent ones.

A tinned treatment has been identified on the grilles. This treatment protects them from corrosion.

Keywords: Metallography; inclusion analysis; iron railing; Sigüenza Cathedral, tinned iron.

Introducción

La reja de la capilla del Santo Espíritu de la Catedral de Sigüenza se considera una de las más bellas de su época. Esta obra fue realizada entre los años 1561 y 1564 por el herrero Hernando de Arenas, siguiendo el diseño de Esteban de Jamete.

Sus dimensiones son 4,72 m de altura de y 3,70 m de ancho, distribuidos en dos cuerpos, tres calles y una crestería. Se encuentra decorada en ambas caras, policromada y dorada.

La restauración de la reja dirigida por el Instituto de Patrimonio Cultural de España fue realizada entre 2008 y 2009 y ha permitido la caracterización de los materiales metálicos de la reja. Los objetivos de este estudio han sido conocer la composición de los metales tanto original como añadidos en intervenciones posteriores, la técnica de ejecución de los elementos metálicos y tratamientos superficiales, así como determinar su estado de conservación.

Metodología

La selección de las micromuestras se ha llevado a cabo junto a los restauradores, tras una observación visual completa de la reja y bajo el criterio de mínima invasión y máxima representatividad de los principales elementos constitutivos de la obra. Para ello se han extraído un total de veintidós muestras tanto del anverso como del reverso de la reja, correspondientes a figuras decorativas, balaustres, elementos de sujeción y tratamientos superficiales de los metales. La localización de las muestras tomadas se indica en la figura 1.

Figura 1. Localización de las muestras metálicas tomadas de la reja (azul=anverso, rojo=reverso). Fotografía: Bárbara Hasbach.

Para la realización de metalografías se han tomado muestras representativas de todo el espesor de la pieza de hierro que ha requerido una cantidad mínima de metal. Las muestras se han embutido en sección transversal empleando resina de metilmetacrilato de polimerización en frío y posteriormente se han pulido hasta paño final con diamante de 1 µm.

El estudio de la sección transversal una vez pulida se realiza empleando microscopía óptica de reflexión (Olimpus BX51) para identificar inclusiones, defectos, posibles tratamientos superficiales y productos de corrosión.

La estructura metalográfica se revela mediante ataque químico con nital (ácido nítrico al 5% en etanol) y permite extraer importante información microestructural relacionada con la tecnología de fabricación del objeto y secuencia de tratamientos térmicos y mecánicos aplicados.

Para profundizar en el estudio microestructural y composicional de las muestras se ha empleado la microscopía electrónica de barrido con microanálisis acoplado de espectrometría de energía dispersiva de Rayos X (JEOL 6460LV). Esta técnica permite obtener imágenes en gama de grises en un amplio rango de magnificación y con una gran profundidad de campo a la vez que proporciona análisis químico elemental de cualquier zona de interés de la superficie. Es indispensable que las muestras analizadas sean conductoras, por lo que se emplean las mismas probetas estudiadas en microscopía óptica a las que hay que recubrir con una fina capa de carbón.

Las muestras procedentes de tratamientos superficiales se tomaron como polvo procedente de rapaduras con bisturí de la superficie de las piezas metálicas. El estudio de este tipo de muestras se ha realizado empleando microscopía electrónica de barrido con microanálisis acoplado de espectrometría de energía dispersiva de Rayos X.

En total se han tomado veintidós muestras, de las que nueve corresponden a figuras decorativas, tres a elementos de sujeción, dos a secciones transversales de balaustres, seis a recubrimientos superficiales de tratamientos o productos de corrosión y dos a elementos añadidos en intervenciones a la reja.

Resultados

El estudio metalográfico de las chapas de ***figuras decorativas*** tanto del anverso como del reverso de la reja presentan una estructura similar en todos los casos. En la sección transversal pulida y sin atacar de estas muestras se observan abundantes inclusiones de escorias alargadas y deformadas según la dirección de trabajado de la chapa, paralelas a las caras. Esta orientación de las escorias en forma fibrosa se produce durante la forja por aplastamiento y deformación de las inclusiones e impurezas presentes en los metales y mejora notablemente las propiedades mecánicas en la dirección de la fibra (figura 2).

Las estructuras metalográficas de estas figuras decorativas revelan granos de ferrita, hierro casi puro, de forma equiaxial, con un tamaño de granos que depende de la magnitud de trabajo al que haya sido sometida la chapa. Así se distinguen dos grupos de chapas, unas con gran tamaño de granos de ferrita (figura 3), que oscilan entre 100 y 120 µm de diámetro, y el grupo con pequeño tamaño de grano (figura 4) con diámetros comprendidos entre 10 y 25 µm (figura 3).

En ambos casos las chapas han sido trabajadas en caliente durante el martillado para darle la forma deseada. El afino (reducción del tamaño) del grano de los metales se produce cuando durante el trabajo de conformación de la pieza va disminuyendo la temperatura del metal y es

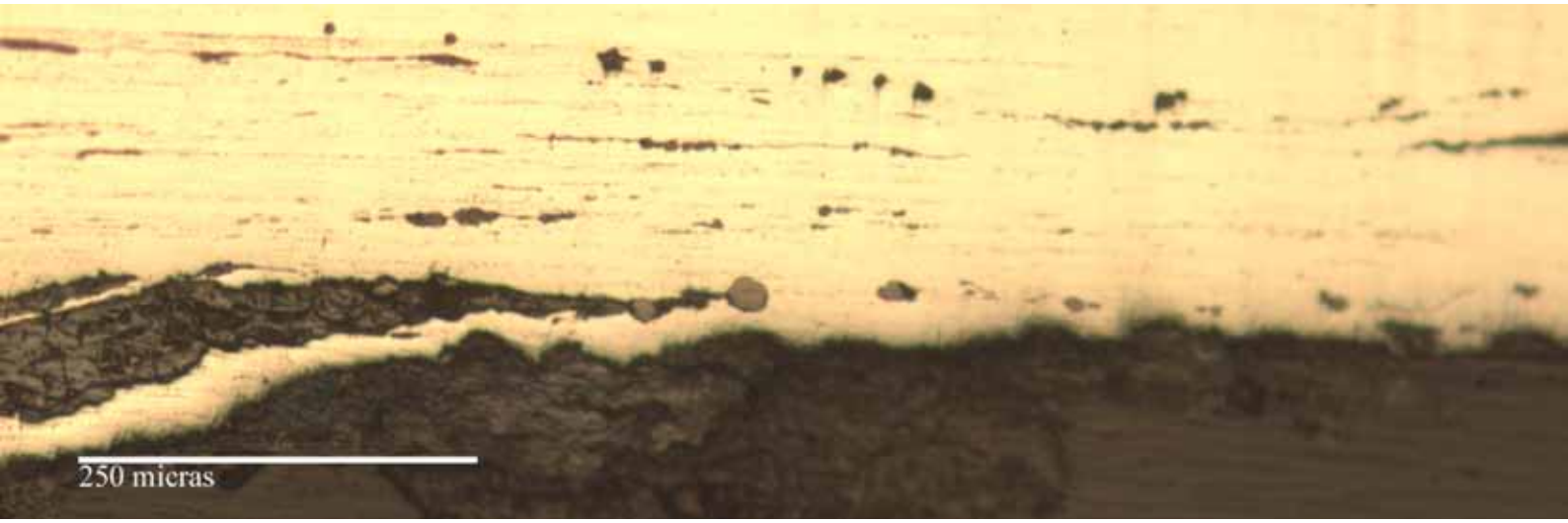

Figura 2. Fotografía de microscopía óptica de chapa de hierro de una figura decorativa pulida y sin atacar (x10). Escorias alineadas.

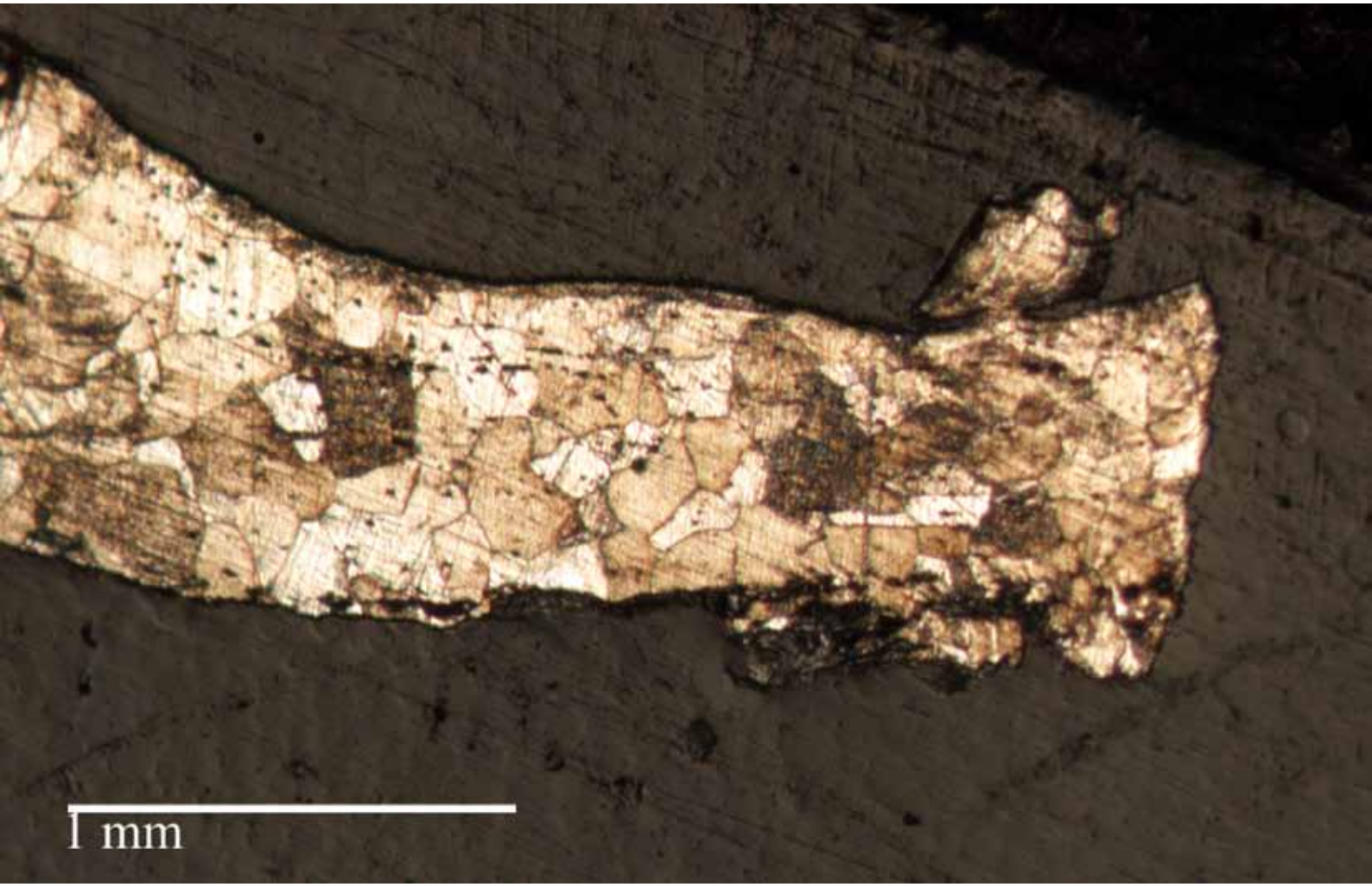

Figura 3. Fotografía de microscopía óptica de chapa de hierro de una figura decorativa pulida y atacada con nital (x5) donde se observan grandes granos equiaxiales de ferrita.

mayor cuanto más enérgicamente se trabaje. Esto se observa en muestras localizadas en zonas donde las figuras alcanzan mayores volúmenes en el repujado (figura 4).

La técnica de ejecución de las chapas ha consistido en batir varias láminas juntas en caliente o bien una lámina plegada sobre sí misma hasta conseguir el espesor final deseado. A este tipo de unión entre las piezas se denominada soldadura a la calda y requiere que las superficies a unir se mantengan libres de óxidos para facilitar las uniones atómicas. No siempre es posible la completa eliminación de los óxidos, por lo que es frecuente encontrar evidencias del proceso en algunas zonas de las uniones de las láminas por formación de óxidos superficiales (figura 5). En muchas de estas líneas de unión entre chapas también se han identificado restos de plomo, que muy probablemente procedan del yunque sobre el que se trabajaba.

La naturaleza de las escorias incluidas en la matriz férrica ha sido analizada mediante espectroscopía de energía dispersiva de Rayos X. Todas ellas están compuestas por silicio, magnesio, manganeso, calcio y hierro (figura 6).

Las escorias son productos procedentes del proceso de fabricación del metal y tienen su origen en los minerales a partir de los que se ha extraído el hierro o productos añadidos durante su obtención. En nuestro caso es muy probable que la presencia de silicio se deba a la adición de sílice como fundente, para disminuir la temperatura en el proceso de extracción del metal.

Al igual que se ha observado en los granos de ferrita, también el tamaño de las escorias depende de la intensidad de trabajo a la que haya sido sometida la pieza; cuanto mayor sea éste, menor será el tamaño de las escorias.

En ninguna de las figuras decorativas se han detectado tratamientos superficiales tipo estañado y en todas ellas se ha aplicado policromía sobre el anverso de la chapa repujada.

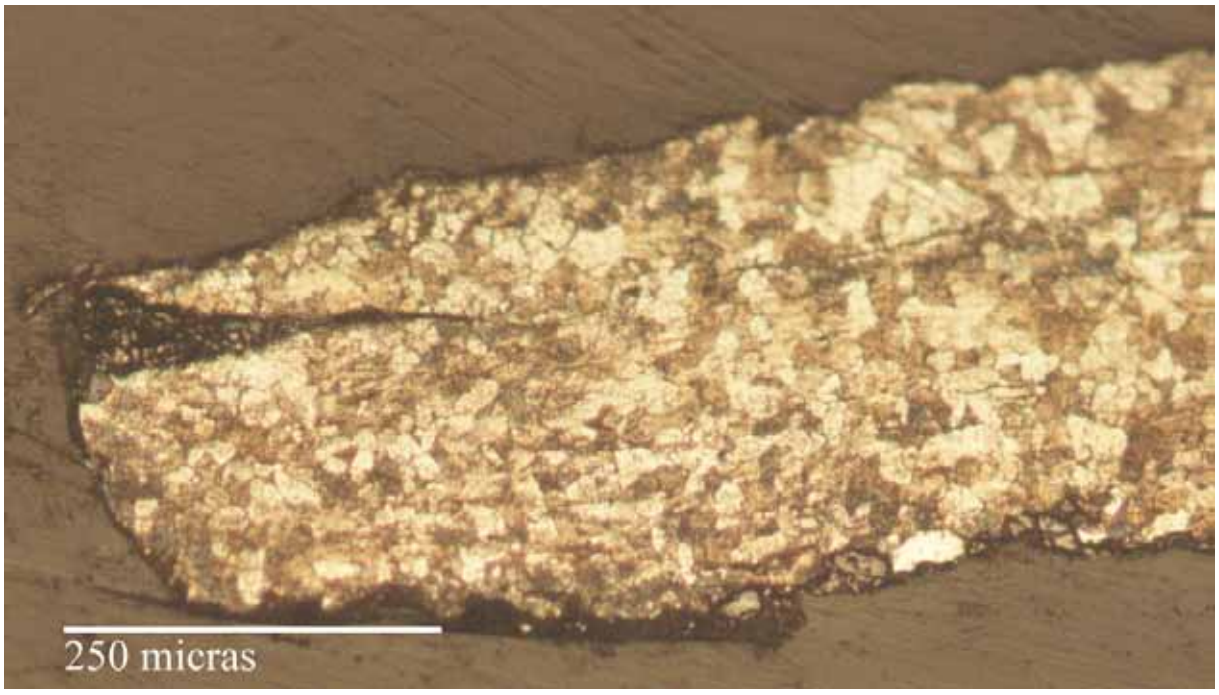

Figura 4. Fotografía de microscopía óptica de chapa de hierro de una figura decorativa pulida y atacada con nital (x10) donde se observa el afino del grano.

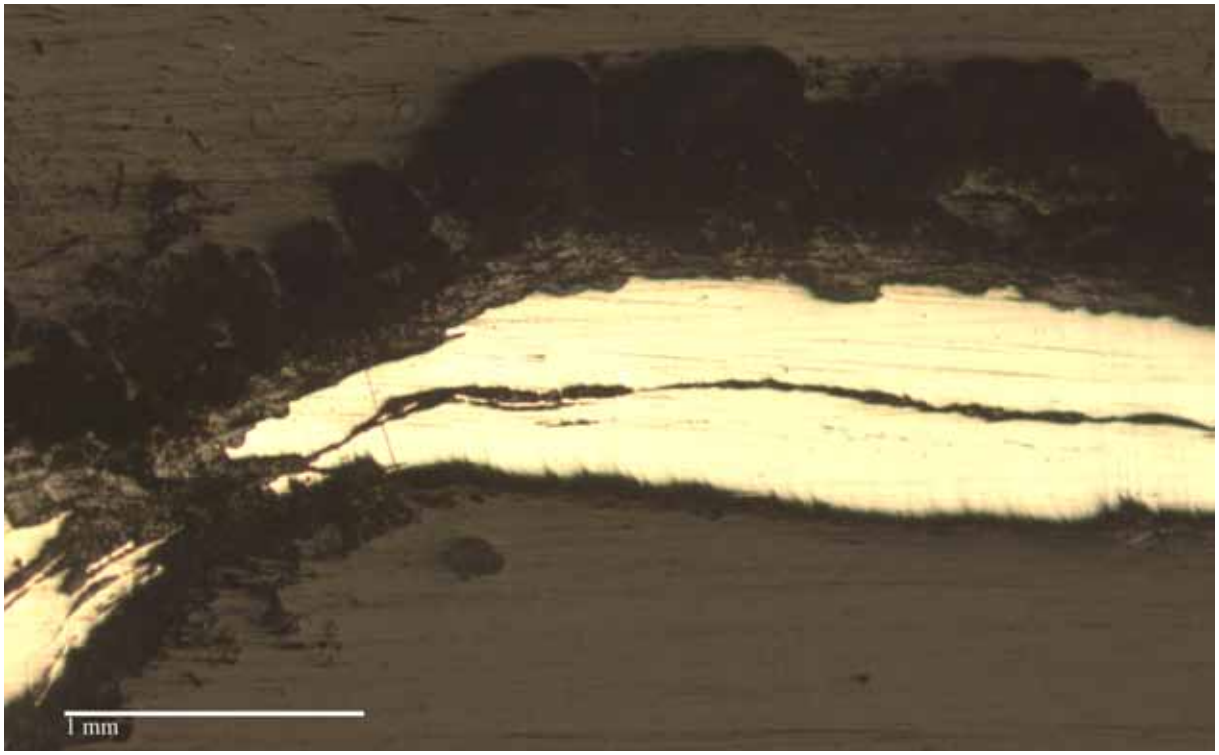

Figura 5. Fotografía de microscopía óptica de chapa de hierro de una figura decorativa pulida y sin atacar (x5). Unión de varias láminas para aumentar el espesor de la chapa.

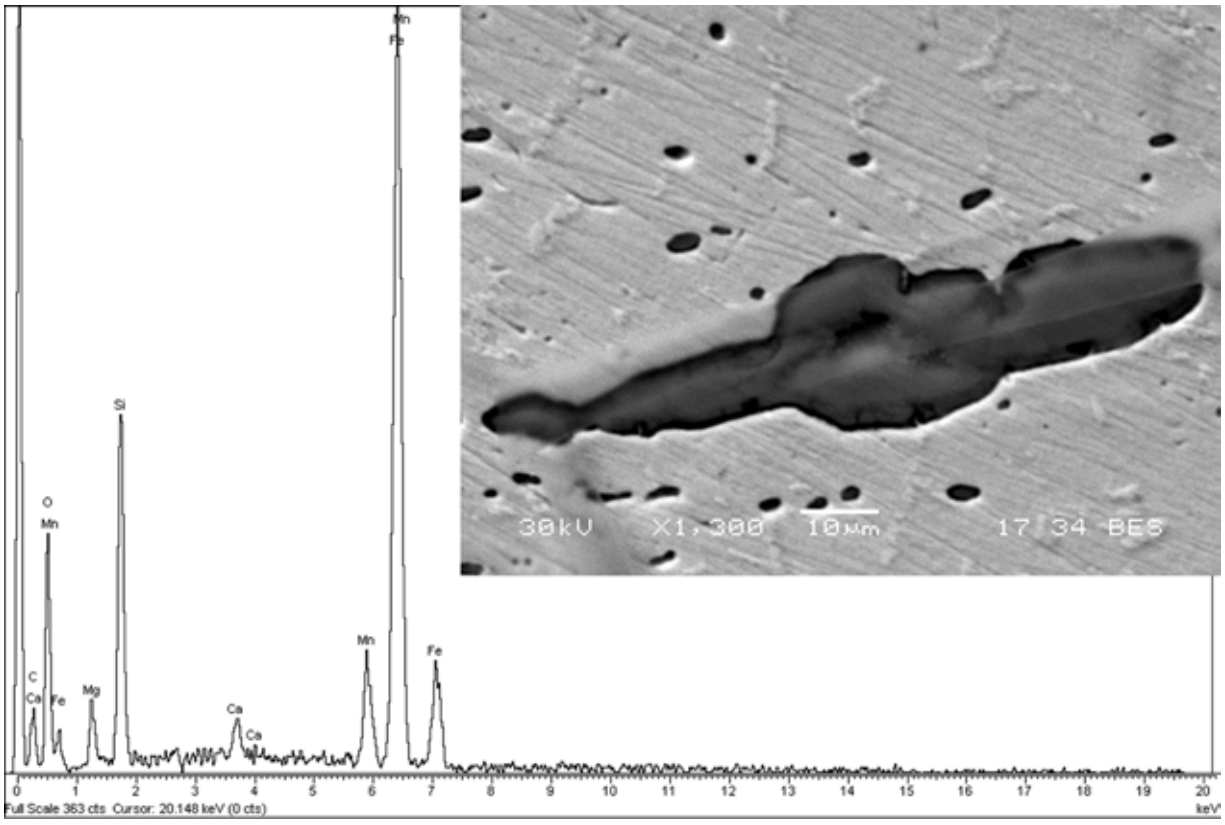

Figura 6. Microanálisis EDX de una de las inclusiones de la matriz férrica junto a la fotografía de microscopía electrónica en modo de electrones retrodispersados de la escoria analizada.

También se han analizado las láminas metálicas empleadas como cierre superior de los frisos y cuñas. En ellas se revela la misma estructura metalográfica en la matriz férrica y composición química de las escorias que en las chapas empleadas en las figuras decorativas. La gran diferencia detectada ha sido la elevada cantidad de escorias en la matriz metálica del cierre del friso y en las cuñas, lo que indica que, aunque el material empleado tiene la misma procedencia, la calidad es inferior por haber sido sometido a un menor tiempo de batido (figura 7).

Los ***balaustres*** constituyen uno de los elementos fundamentales de la reja y determinan la calidad material y de ejecución de la misma. En nuestro caso los balaustres que se han observado en sección transversal para el estudio de su estructura y composición interna, así como de posibles tratamientos superficiales.

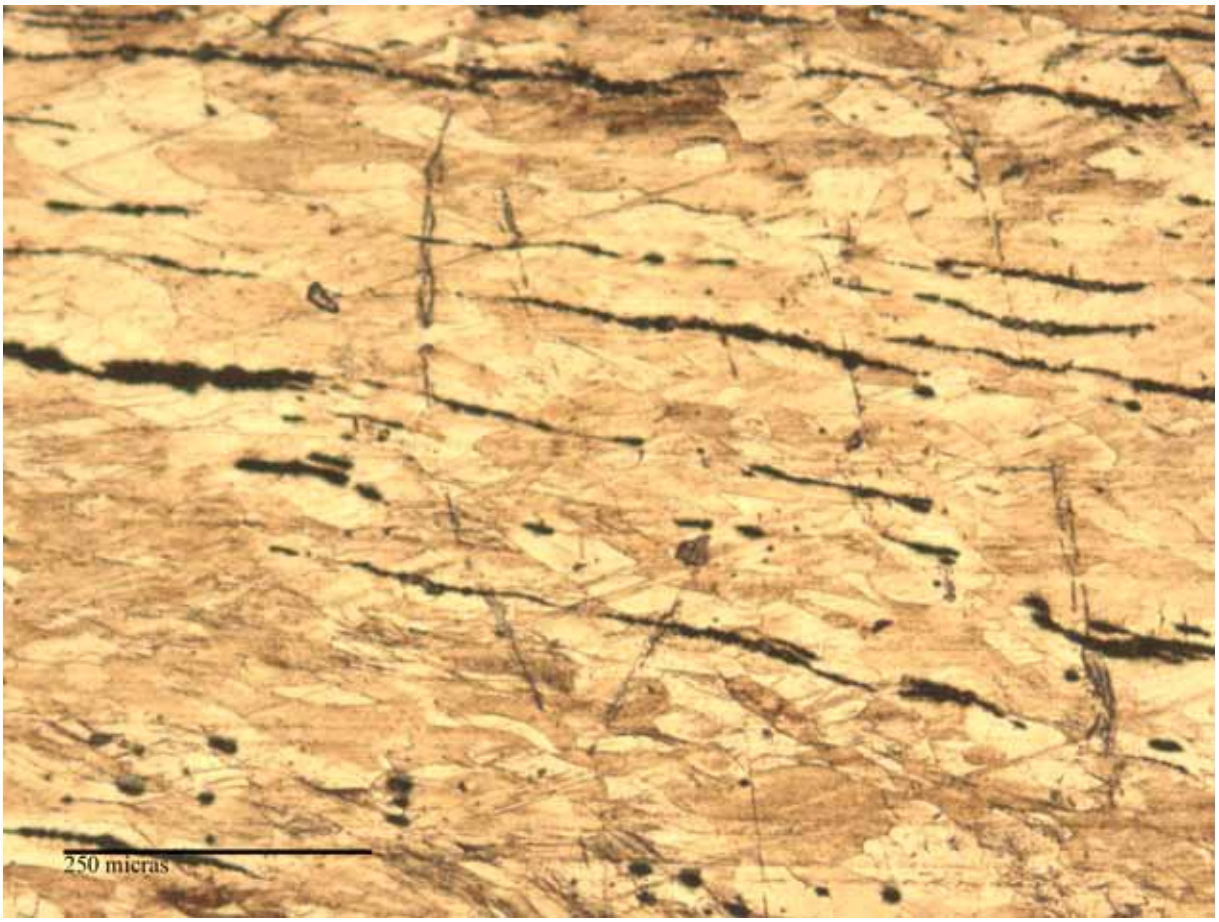

Figura 7. Fotografía de microscopía óptica de una muestra de cuña atacada con nital (x10).

La estructura metalográfica de las secciones transversales de los balaustres han revelado una matriz de granos grandes y redondeados de ferrita con algunas escorias redondeadas características del hierro obtenido por pudelado. La forma de los granos indica que la última fase de trabajado del balaustre ha sido en caliente. A diferencia de las estructuras metalográficas encontradas en otras rejas con barrotes helicoidales, estos balaustres no presentan ninguna deformación en los granos de ferrita.

Las escorias analizadas en los balaustres tienen idéntica composición química a la de las chapas de las figuras decorativas y elementos con función de anclaje o estructural.

En la superficie de los balaustres se ha detectado un tratamiento superficial de estaño que en parte se encuentra en forma de óxido de estaño debido a procesos de oxidación. La finalidad de este recubrimiento es la de proteger al hierro ante la corrosión.

En las secciones transversales de los balaustres se puede identificar la zona límite entre la matriz férrica y el estaño. Se observan unos cristales en forma tabular en la zona más cercana al balaustre, un compuesto intermetálico de hierro y estaño, $FeSn_2$. La capa más alejada del núcleo férrico es de estaño puro, aunque en muchas zonas está en forma de óxido de estaño. Esta morfología indica que el tratamiento de estañado se ha aplica en caliente, por lo que se produce una difusión de los átomos de estaño en la estructura de hierro (figura 8).

Por último, se han analizado dos elementos de la reja que por su aspecto parecían corresponder a piezas no originales: uno corresponde a la cerradura de la hoja derecha de la puerta y otro a un tornillo que sujetaba una de las figuras decorativas.

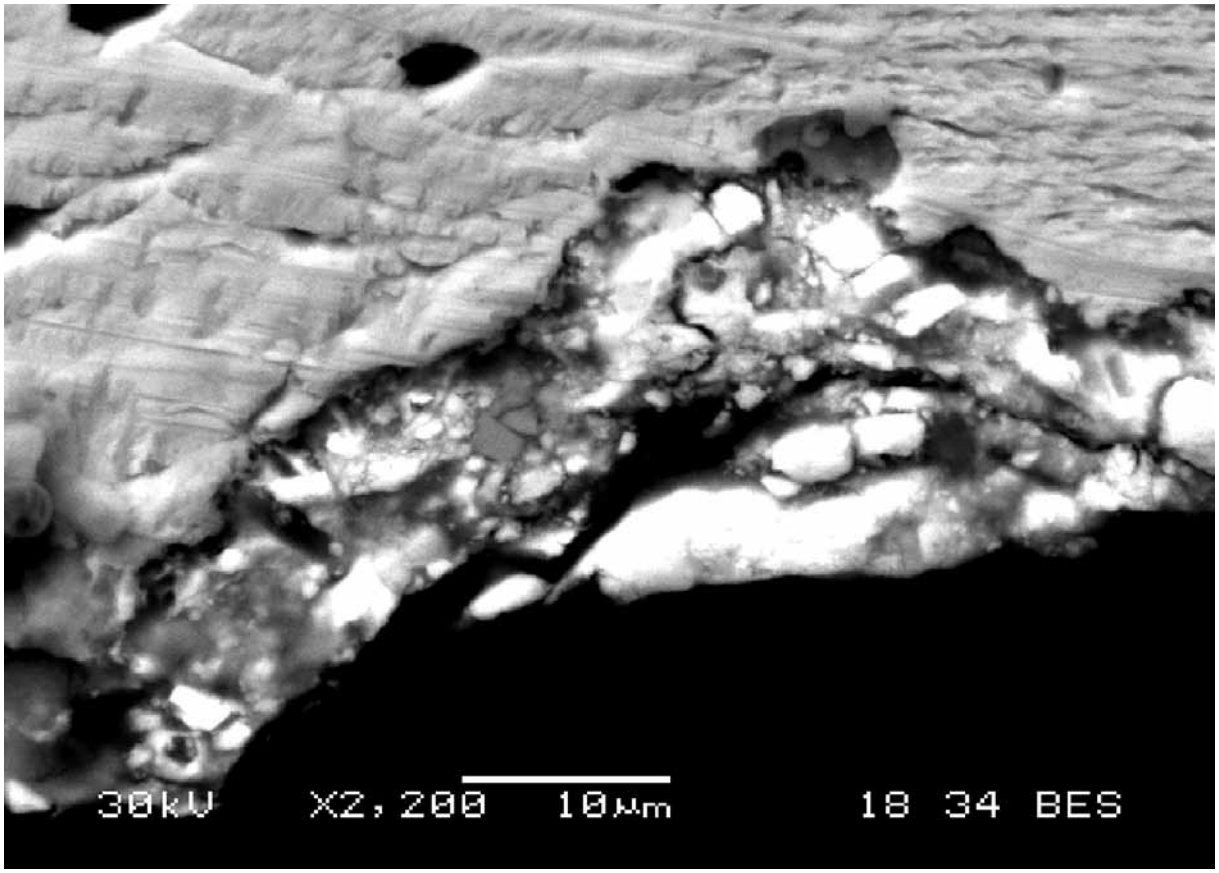

Figura 8. Fotografía de microscopía electrónica en modod de electrones retrodispersados del tratamiento de estañado sobre uno de los barrotes.

En ambas piezas la estructura metalográfica revela un sistema bifásico, con fase α, solución sólida de carbono en hierro α, y perlita, fase formada por dos elementos, cementita (Fe_3C) y ferrita. La forma de los granos es acicular y desarrollan una estructura denominada Widmanstätten. El contenido en carbono es ligeramente superior al de las muestras anteriormente analizadas.

Esta estructura indica que se tratan de piezas no originales, con distinta composición que las anteriores matrices férricas y que probablemente corresponden a una intervención posterior

realizada en la reja. Además las escorias incluidas en la matriz metálica presentan una composición química distinta a las del resto de elementos originales de la reja. Los análisis revelan que las escorias contienen silicio, manganeso, calcio, aluminio, sodio y fósforo, siendo estos tres últimos elementos los que difieren del resto de las muestras e indican que esta pieza es de reposición (figura 9).

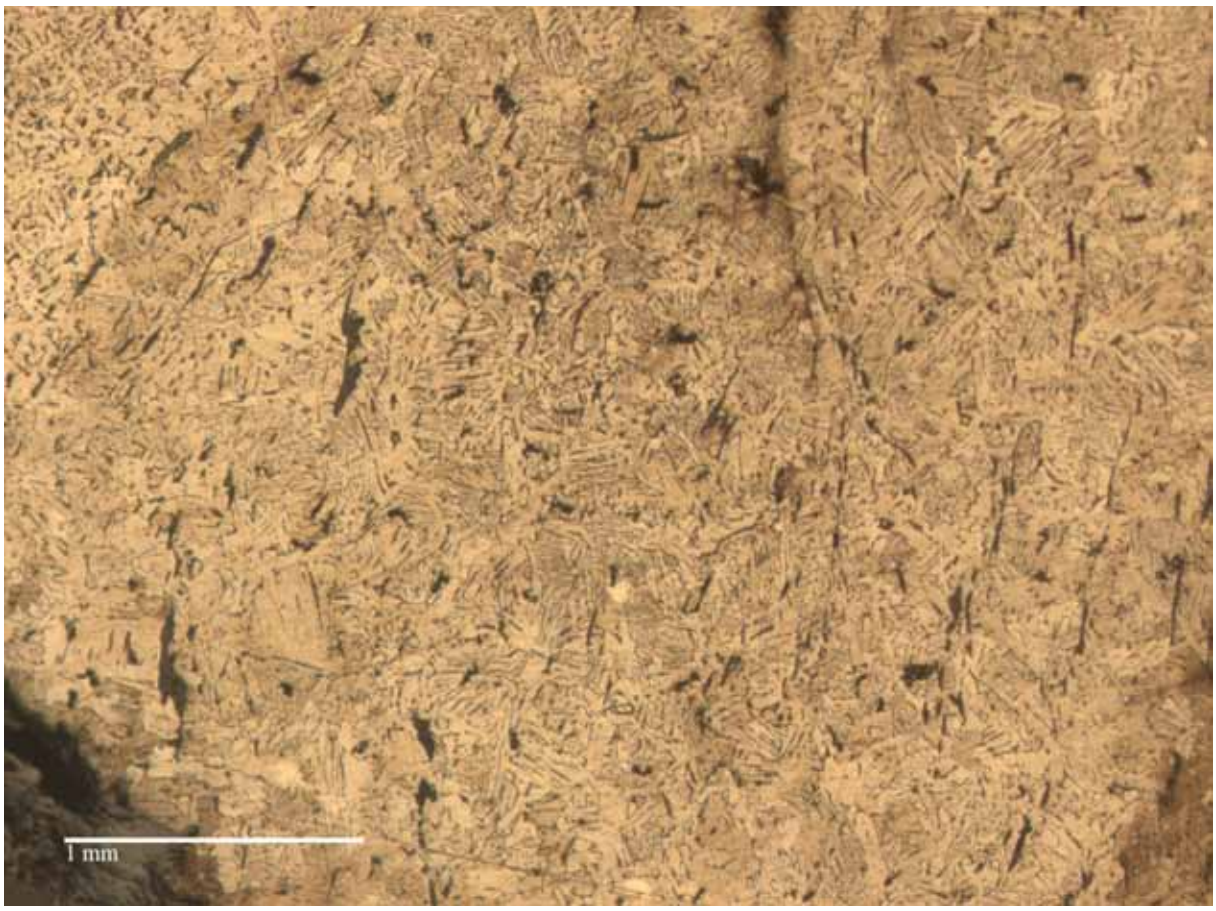

Figura 9. Metalografía de una muestra correspondiente a una intervención.

Conclusiones del análisis del metal

De los resultados expuestos se pueden sacar las siguientes conclusiones respecto a la composición, técnica de ejecución y estado de conservación de los elementos metálicos de la reja:

En general el estado de conservación del soporte metálico es excelente, en parte gracias a tratamientos superficiales que han protegido contra la corrosión como el estañado de los balaustres o la policromía en las figuras decorativas.

Los balaustres han sido trabajados en caliente; mediante forjado se ha obtenido su forma cilíndrica. El hierro es casi puro de una magnífica calidad, se trata de un hierro monofásico de fase α.

La técnica de ejecución de las chapas decorativas ha sido la de unir varias láminas en caliente (soldadura a la calda) para conformar la chapa más gruesa final y posteriormente se han

recortado y repujado. En algunas muestras se detecta plomo en las uniones, posiblemente porque se empleaba este metal para facilitar la unión o bien se trata de restos del cuño de trabajo.

Se han empleado calidades distintas de hierro en las figuras decorativas y balaustres, con menor cantidad de escorias, y los elementos con funciones de sujeción o localizados en zonas no visibles.

Se han analizado dos piezas metálicas correspondientes a intervenciones recientes (siglo XIX en adelante).

Bibliografía

Camps Cazorla, E. (1941): *Hierros Antiguos Españoles*. Publicaciones de la Escuela de Artes y Oficios Artísticos de Madrid, Madrid.

Leoni, M. (1984): *Elementi di metallurgia applicata al restauro delle opere d'arte : corrosione e conservazione dei manufatti metallici*. OpusLibri, cop. Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro, Firenze.

Scott, D. A. (1991): *Metallography and microstructure of ancient and historic metals*. The Getty Conservation Institute: The J. Paul Getty Museum in association with Archetype Books, cop., Marina del Rey, California.

Tylecote, R. F. (1992): *The History of Metallurgy*, The Institute of Materials, London.

VV. AA. (1985): Metals handbook, 9th Ed., vol. 9, *Metallography and microestructures*, American Society for Metals, Metal Park, OH.

GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE EDUCACIÓN, CULTURA
Y DEPORTE