



HAL
open science

Tratamiento de espectros FTIR con el programa PALME: una nueva herramienta para diagnosticar el estado de conservación de hierros arqueológicos

Marco Veneranda, Laura Garcia, Ludovic Bellot-Gurlet, Kepa Castro, Iñaki García-Camino, Agustín Azkarate, Juan Manuel Madariaga

► To cite this version:

Marco Veneranda, Laura Garcia, Ludovic Bellot-Gurlet, Kepa Castro, Iñaki García-Camino, et al.. Tratamiento de espectros FTIR con el programa PALME: una nueva herramienta para diagnosticar el estado de conservación de hierros arqueológicos. pp.83-89, 2015, Actas del II Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico - MetalEspaña 2015. hal-02270492

HAL Id: hal-02270492

<https://hal.science/hal-02270492>

Submitted on 27 Aug 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Tratamiento de espectros FTIR con el programa PALME: una nueva herramienta para diagnosticar el estado de conservación de hierros arqueológicos

Marco Veneranda¹, Laura Garcia², Ludovic Bellot-Gurlet³, Kepa Castro¹, Iñaki García-Camino², Agustín Azkarate⁴, Juan Manuel Madariaga¹.

¹ Departamento de Química Analítica de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), P.O Box 644, E48080 Bilbao, marco.veneranda@ehu.es.

² Arkeologi Museoa/ Museo de Arqueología de Bizkaia, C/ Calzadas de Mallona 2 48006 Bilbao, arkeologimuseoa.teknikari4@bizkaia.net.

³ Sorbonne Universités, UPMC Université Paris 6, MONARIS, UMR 8233, Université Pierre et Marie Curie Paris 6, 75252, Paris, ludovic.bellot-gurlet@upmc.fr.

⁴ Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología, del País Vasco (UPV/EHU), C/ Tomás y Valiente s/n 01006 Vitoria-Gasteiz, agustin.azkarate@ehu.es.

Resumen

El proceso que va del descubrimiento de una pieza arqueológica a su musealización pasa necesariamente por una fase de restauración. En el caso de piezas de naturaleza metálica la restauración puede comportar la eliminación mecánica de las costras de degradación más externas. Los fragmentos eliminados contienen una gran cantidad de información que, si es extrapolada, puede ayudar a los restauradores a elegir los tratamientos más adecuados de conservación. Por esta razón, con el presente trabajo se pretende desarrollar un nuevo método que permita semicuantificar de manera rápida y fiable las fases de corrosión contenidas en los residuos de limpieza de hierros arqueológicos. Para realizar el trabajo ha sido utilizado el software PALME para el tratamiento de los resultados obtenidos mediante espectroscopia infrarroja (FTIR) sobre mezclas de corrosiones puras a concentración conocida. Gracias a los resultados obtenidos se puede afirmar que el método desarrollado, una vez optimizado, representará una herramienta útil para la rápida semicuantificación de las corrosiones que normalmente afectan los hierros arqueológicos.

Palabras clave: Software Palme, hierros arqueológicos, semicuantificación molecular, FTIR, corrosión

FTIR spectra treated with PALME software: a new tool to diagnose the conservation state of iron archaeological artefacts

Abstract

The path from the discovery of an archaeological artefact to its musealization has to pass through its restoration. In the case of metallic artefacts, the restoration may involve the mechanical removal of the outer corrosion crusts. The rust fragments removed along this cleaning process contain a lot of information that, if extrapolated, can help restorers to choose the most appropriate conservation treatments. The aim of the present study is to develop a new, fast and reliable method to quantify the corrosion phases contained in cleaning residue proceeding from archaeological irons. For this reason the PALME software has been used for the treatment of molecular analysis performed by infrared spectroscopy (FTIR) on mixtures of pure corrosion patterns. Thanks to the results it can be stated that, once optimized, the developed method will represent a useful tool for the fast semi-quantification of the corrosions that normally affect archaeological irons.

Keywords: Palme Software, Archaeological irons, molecular semiquantification, FTIR, corrosion

Introducción

Hoy en día, en el ámbito de la gestión del patrimonio cultural, la interdisciplinariedad se está convirtiendo en un concepto ineludible. En el campo de la conservación de piezas arqueológicas por ejemplo, la investigación científica se va progresivamente afirmando como una herramienta esencial ya que puede proporcionar mucha información acerca de la composición del objeto (Pingitore et al., 2014), de los procesos de degradación que lo afectan (Arafat et al., 2013) y la magnitud de los mismos. Estos datos, transmitidos a los restauradores, ayudan a elegir los tratamientos más adecuados a aplicar, asegurando la correcta conservación de las piezas.

En el caso de los hierros arqueológicos, una de las tareas más importantes de la investigación científica reside en la caracterización de las fases de corrosión presentes, ya que el tipo de degradación que afecta una pieza varía en base al contexto ambiental en la cual ella se conserva.

Por ejemplo, en el caso de piezas enterradas en sitios cerca de la línea de costa, la influencia del aerosol marino causa infiltraciones de cloruros que facilitan la formación de akaganita. A causa de su estructura porosa, este oxihidróxido de hierro se considera como el producto de degradación más dañino, ya que debilita la pieza facilitando su fragmentación (Reguer et al. 2009).

Por el otro lado los ambientes anóxicos favorecen la formación de óxidos de hierro (Talbot y Talbot, 1997). Entre ellos la magnetita (Fe_3O_4) representa un producto de corrosión útil para la conservación de una pieza arqueológica ya que, gracias a su compacidad y su estabilidad, genera una capa de corrosión sólida y inactiva que aísla y protege el núcleo más interno del objeto, preservándolo.

Considerando los diferentes efectos que los productos de corrosión aportan a la conservación de una pieza, la identificación y la cuantificación de los mismos es muy

importante si se quiere diagnosticar la magnitud y la peligrosidad de la degradación que la afecta.

En este sentido, numerosos trabajos han sido enfocados en el desarrollo de esta temática. Por ejemplo el trabajo realizado por Dillmann (Dillmann et al., 2004) introduce el cálculo del índice de habilidad protectora ($\alpha/\gamma \cdot \text{PAI}$) de las capas de corrosión de hierros arqueológicos. Este índice constituye una valiosa herramienta para los restauradores ya que, evaluando la relación entre la cantidad de fases estables (goethita y magnetita) y reactivas (akaganita y lepidocrocita), aporta datos que ayudan a comprender el grado de estabilidad general de la pieza.

Aunque numerosas técnicas analíticas moleculares se adaptan al estudio de los productos de corrosión de hierro, la técnica Raman es aquella que, gracias a su portabilidad, sensibilidad y no destructividad, más ha sido utilizada para este propósito (Aramendia et al., 2014).

En el presente trabajo se propone un método alternativo basado en el uso de la Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR-ATR) ya que teóricamente esta técnica, respecto al uso de la espectroscopia Raman, presenta dos ventajas: 1) la ausencia de fenómenos de fluorescencia facilita el tratamiento y la deconvolución de los espectros; 2) analizando muestras en polvo (aprovechando por ejemplo los residuos de corrosión eliminados durante los procesos de limpieza) permite obtener resultados más representativos de la muestra respecto a análisis puntuales.

Material y métodos

Siendo esto un trabajo enfocado en el desarrollo y la optimización de un nuevo método de semicuantificación, el trabajo experimental ha sido realizado a partir del estudio de fases de corrosión sintetizadas en laboratorio.

En concreto, el método de cuantificación ha sido aplicado al estudio de los 4 productos de corrosión que, así como demuestra la

bibliografía (Neff et al., 2005), más frecuentemente se desarrollan en hierros arqueológicos, es decir, akaganita (β - $\text{FeO}_{0.883}(\text{OH})_{1.167}\text{Cl}_{0.167}$), goethita (α - FeOOH), lepidocrocita (γ - FeOOH), y magnetita (Fe_3O_4).

Los patrones puros de lepidocrocita, goethita y magnetita utilizados para el estudio fueron sintetizados por el *French National Centre for Scientific Research (Paris, Francia)*. Por el otro lado, el patrón de akaganita pura fue sintetizada en los laboratorios IBeA (Bilbao, España) siguiendo el método descrito por Roguer (Reguer et al., 2009).

A partir de los compuestos puros, se realizaron mezclas de concentración conocida. Con el fin de conocer el porcentaje exacto de cada compuesto en las mezclas, el peso relativo de cada una de ellas fue revisado a través de una balanza analítica con una sensibilidad de 0.0001 g. Además, considerando que la reproducibilidad de los análisis moleculares depende de la homogeneidad de la muestra, se usó un mortero de ágata para la preparación y homogenización de las muestras.

Como explicado anteriormente, el estudio molecular de los patrones y de sus mezclas fue realizada utilizando la espectroscopia FTIR. En concreto nos servimos del espectrómetro FTIR Alpha (Bruker) acoplado al módulo ATR de diamante de una reflexión "Platinum ATR".

Los espectros fueron obtenidos realizando 64 acumulaciones en un rango espectral entre 360 y 4000 cm^{-1} . Por cada muestra fueron realizados 3 análisis con el fin de minimizar el error debido a la posible heterogeneidad en la distribución de las fases.

Finalmente se aplicó la corrección de $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ a todos los espectros a través del software Opus 7.2 (Bruker).

Una vez analizadas todas las muestras, se procedió al cálculo semicuantitativo de las fases utilizando el software PALME (*programme d'analyse vibrationnelle de spectres de mélanges à partir de spectres purs*) desarrollado por el

grupo LADIR-UMR 7075 (ahora MONARIS, Universidad Pierre y Marie Curie).

El programa permite realizar automáticamente análisis semicuantitativos de mezclas de compuestos gracias a la comparación con los espectros de compuestos puros de referencia. El proceso consta de 2 fases. En primer lugar, los espectros moleculares de los patrones de referencia (en nuestro caso akaganita, lepidocrocita, goethita y magnetita) vienen tratados a través de cálculos aritméticos al fin de proporcionar espectros experimentales que se ajusten lo máximo posible a los originales. Posteriormente, los parámetros característicos de cada uno de los espectros experimentales vienen ajustados por combinación lineal de los espectros de mezcla de compuestos. Finalizada la deconvolución del espectro, el software PALME proporciona en un documento .txt los datos cuantitativos teóricos.

Una vez calculados los porcentajes de los compuestos presentes en cada muestra, la media de las 3 replicas fue realizada con el propósito de comparar los valores medios con los porcentajes reales. Finalmente, la diferencia entre % real y % teórico permitió evaluar la validez del método aplicado.

Resultados y discusión

La primera parte del estudio fue enfocado a la caracterización molecular de los patrones sintetizados.

Utilizando el FTIR en modalidad ATR fueron analizadas las 4 fases de hierro con el fin de asegurar la pureza del producto a través de la comparación con los espectros de referencia contenidos en la base de datos. Los resultados del análisis de los compuestos analizados se muestran en la figura 1.

Los 4 espectros obtenidos, además de encajar perfectamente con los respectivos espectros de referencia, muestran diferencias significativas entre ellos en la región comprendida entre 500 y 1200 cm^{-1} , lo que facilita el proceso de deconvolución realizado por el programa PALME.

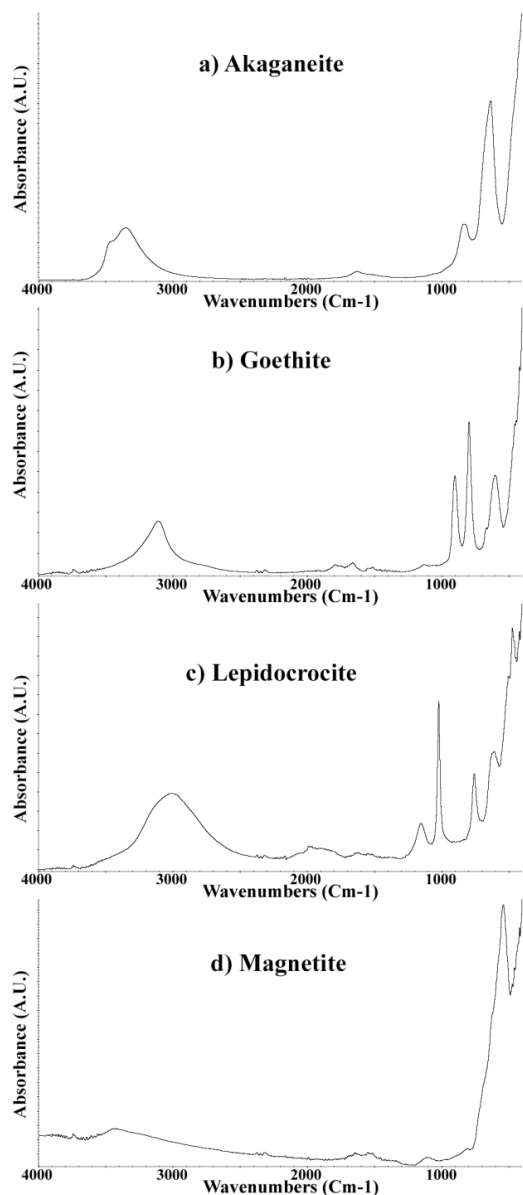


Fig. 1. Espectros FTIR-ATR (convertidos en absorbancia) de los compuestos a) akaganita b) goethita, c) lepidocrocita y d) magnetita. En concreto, el patrón de akaganita se caracteriza por la presencia de un pico intenso a 635 cm^{-1} , acompañado por un pico secundario a 836 cm^{-1} . El espectro de goethita presenta tres picos intensos a 601 , 794 y 902 cm^{-1} respectivamente. El pico principal de la lepidocrocita aparece a 1021 cm^{-1} , seguido por otros a 471 , 603 , 753 y 1149 cm^{-1} . Finalmente la magnetita se caracteriza por una única señal muy intensa a 535 cm^{-1} .

A la hora de realizar los análisis, el valor del campo eléctrico (lo cual depende tanto del espesor de la muestra analizada como de la presión ejercida por el cristal) tiene una influencia directa en los valores de absorbancia del espectro. Por esta razón, considerando que el programa PALME utiliza el valor de absorbancia de los picos principales como uno de los parámetros para el cálculo cuantitativo de las mezclas de compuestos, se intentó realizar los análisis con valores de amplitud del campo eléctrico (E) lo más constantes posibles.

Finalmente se introdujeron en el software PALME los espectros de referencia y aquellos obtenidos de las mezclas de compuestos con el propósito de realizar la deconvolución de los mismos así como se muestra en la figura 2.

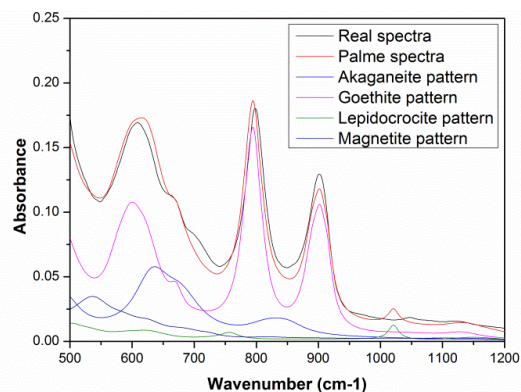


Fig. 2. Ejemplo del proceso de cuantificación de una mezcla de compuestos a partir de la deconvolución lineal de espectros puros

Con los datos de porcentaje obtenidos mediante la deconvolución de los espectros, se compararon los valores experimentales con los reales para comprobar la bondad de los ajustes y de la deconvolución y validez del proceso.

Como se puede observar en la tabla 1, la semicuantificación de los espectros sin tratar presenta errores que en algunos casos llevan a invertir compuestos secundarios y primarios. Este es el caso de la mezcla 4, donde un error del 55% invierte las concentraciones de los compuestos magnetita (desde 77.3 a 22.3%) y lepidocrocita (desde el 22.7 al 77.7%). También en el caso de la mezcla 11, la concentración deducida de magnetita se ve reducida de la mitad respecto a su valor real,

mientras que la concentración de lepidocrocita aumenta un 250%. Estos efectos, visibles en la mayoría de las mezclas analizadas son debidos a distorsiones de los espectros (por ejemplo el aumento de la altura de la línea base). Por esta razón fue necesario realizar un tratamiento de los espectros brutos con el propósito de optimizar el cálculo semicuantitativo. En concreto, los mismos espectros fueron sometidos a un proceso de corrección de línea base a través del programa LabSpec (Horiba).

Además, considerando que los picos más representativos de cada fase se encuentran en una región comprendida entre 500 y 1200 cm^{-1} se procedió al corte del espectro con el fin de minimizar la componente de error procedente de regiones no significativas para la

discriminación de los compuestos. Como se puede observar en la tabla 2, en la mayoría de los casos la diferencia entre los valores reales y teóricos de los espectros tratados disminuye sensiblemente respecto a los procedentes del estudio de espectros brutos. En el caso de la mezcla 4 descrita anteriormente, la concentración de magnetita calculada pasa de un 22.3% (espectro bruto) a un 68.9% (espectro tratado) respecto a un valor real del 77.3%. Al mismo tiempo, el valor de la lepidocrocita pasa de un 77.7% a un 31.1% respecto a un valor real de 22.7%. También en el caso de la mezcla 11, los errores se reducen sensiblemente, lo que permite restablecer el correcto orden entre compuestos principales y secundarios.

Tabla 1. Valores reales y teóricos (obtenidos a través de la deconvolución del espectro bruto) de las 12 muestras analizadas

Sample	Real Composition		Pure spectra (360-4000nm)				Diff.
	Compuestos	% Real	I Rep.	II Rep	III Rep	% Teorica	
Mezcla 1	Akaganeite	83.3	72.1	72.8	73.7	72.9	10.4
	Goethite	16.7	27.9	27.2	26.3	27.1	-10.4
Mezcla 2	Akaganeite	50	47.3	44.7	47	46.3	3.7
	Goethite	50	52.7	55.3	53	53.7	-3.7
Mezcla 3	Akaganeite	26.1	31.7	32.5	27.6	30.6	-4.5
	Goethite	73.9	68.3	67.5	72.4	69.4	4.5
Mezcla 4	Magnetite	77.3	22.5	23.6	20.8	22.3	55.0
	Lepidocrocite	22.7	77.5	76.4	79.2	77.7	-55.0
Mezcla 5	Magnetite	27.3	21.4	19	22.1	20.8	6.5
	Lepidocrocite	72.7	78.6	81	77.9	79.2	-6.5
Mezcla 6	Magnetite	47.1	26.5	26.7	19.8	24.3	22.8
	Lepidocrocite	52.9	73.5	73.3	80.2	75.7	-22.8
Mezcla 7	Goethite	17.8	17.1	16	13.1	15.4	2.4
	Lepidocrocite	46.6	70.9	72.2	76.3	73.1	-26.5
	Magnetite	35.6	12	11.8	10.6	11.5	24.1
Mezcla 8	Goethite	23.2	34.7	35.7	35.3	35.2	-12.0
	Magnetite	49.5	39.7	39.1	39.4	39.4	10.1
	Akaganeite	27.3	25.6	25.2	25.3	25.4	1.9
Mezcla 9	Magnetite	31.5	17.4	18.8	17.7	18.0	13.5
	Akaganeite	39.3	28.7	29.8	29.4	37.1	10.4
	Lepidocrocite	29.2	53.9	51.4	52.9	52.7	-23.5
Mezcla 10	Akaganeite	59.4	45.9	41.6	45.6	44.4	15.0
	Goethite	15.9	19.5	23.1	23.1	21.9	-6.0
	Lepidocrocite	24.7	34.6	35.3	35.3	35.1	-10.4
Mezcla 11	Magnetite	35.7	16.1	17.3	18.6	17.3	18.4
	Akaganeite	27.5	18	18.5	18.6	18.4	9.1
	Goethite	18.4	14.6	16.1	16.1	15.6	2.8
	Lepidocrocite	18.4	51.3	48.1	46.7	48.7	-30.3
Mezcla 12	Magnetite	16.9	17.8	21.7	21.2	20.2	-3.3
	Akaganeite	41.6	38.6	31.9	31.5	34.0	7.6
	Goethite	12.3	14.3	15.4	16.2	15.3	-3.0
	Lepidocrocite	29.2	29.3	31	31.1	30.5	-1.3

Conclusiones

El trabajo descrito tiene el objetivo de desarrollar un nuevo método para semicuantificar las fases minerales presentes en corrosiones que afectan hierros arqueológicos a través de la deconvolución de espectros FTIR-ATR con el software PALME.

Los resultados parciales demuestran que el uso de la técnica FTIR presenta numerosas ventajas. Entre ellas, la sensibilidad del equipo permite caracterizar los compuestos presentes en las muestras analizadas con una cantidad mínima de material (>1 mg). Esto hace de la espectroscopia FTIR-ATR una técnica particularmente útil para el estudio de hierros arqueológicos ya que permite

identificar las degradaciones de una pieza aprovechando los microfragmentos que se desprenden durante su transporte, limpieza o almacenamiento.

Además, tratándose de análisis de polvo, se garantiza una mayor representatividad de los análisis respecto a los análisis puntuales que generalmente se suelen realizar con otras técnicas moleculares (Raman).

El tratamiento de datos que realiza el programa PALME proporciona ulteriores ventajas.

Por ejemplo, el software permite el reconocimiento inmediato y automático de las corrosiones presentes en la muestra.

Tabla 2. Valores reales y teóricos (obtenidos a través de la deconvolución del espectro tratado) de las 12 muestras analizadas

Sample	Real Composition		Treated spectra (500-1200nm)				Diff.
	Compuestos	% Real	I Rep.	II Rep	III Rep	% Teórica	
Mezcla 1	Akaganeite	83.3	83.0	83.3	82.9	83.1	0.2
	Goethite	16.7	17.0	16.7	17.1	16.9	-0.2
Mezcla 2	Akaganeite	50	50.7	52.5	51.7	51.6	-1.6
	Goethite	50	49.3	47.5	48.3	48.4	1.6
Mezcla 3	Akaganeite	26.1	38.5	39.7	38.8	39.0	-12.9
	Goethite	73.9	61.5	60.3	61.2	61.0	12.9
Mezcla 4	Magnetite	77.3	70.1	68.6	68.0	68.9	8.4
	Lepidocrocite	22.7	29.9	31.4	32.0	31.1	-8.4
Mezcla 5	Magnetite	27.3	15.2	11.0	12.9	13.0	14.3
	Lepidocrocite	72.7	84.8	89.0	87.1	87.0	-14.3
Mezcla 6	Magnetite	47.1	48.3	50.6	45.6	48.2	-1.1
	Lepidocrocite	52.9	51.7	48.4	54.4	51.5	1.4
	Goethite	17.8	12.4	12.5	12.5	12.5	5.3
Mezcla 7	Lepidocrocite	46.6	57.9	59.2	58.4	58.5	-11.9
	Magnetite	35.6	29.7	28.3	29.1	29.0	6.6
	Goethite	23.2	20.7	20.9	20.0	20.5	2.7
Mezcla 8	Magnetite	49.5	42.5	42.7	42.4	42.5	7.0
	Akaganeite	27.3	36.8	36.5	37.6	37.0	-9.7
	Magnetite	31.5	19.8	17.8	19.0	18.9	12.6
Mezcla 9	Akaganeite	39.3	46.2	47.1	46.5	46.6	-7.3
	Lepidocrocite	29.2	34.0	35.1	34.5	34.5	-5.3
	Akaganeite	59.4	59.3	53.1	59.0	57.1	2.3
Mezcla 10	Goethite	15.9	12.4	17.9	14.7	15.0	0.9
	Lepidocrocite	24.7	28.3	29.0	26.3	27.9	-3.2
	Magnetite	35.7	31.0	30.5	31.2	30.9	4.8
Mezcla 11	Akaganeite	27.5	34.1	33.5	33.5	33.7	-6.2
	Goethite	18.4	16.5	16.5	15.8	16.3	2.1
	Lepidocrocite	18.4	18.4	19.5	19.5	19.1	-0.7
	Magnetite	16.9	12.3	10.4	8.6	10.4	6.5
Mezcla 12	Akaganeite	41.6	43.8	44.4	45.6	44.6	-3.0
	Goethite	12.3	11.2	11.7	12.1	11.7	0.6
	Lepidocrocite	29.2	32.7	33.5	33.7	33.3	-4.1

Además, aunque el método se encuentre todavía en fase de desarrollo y optimización, los resultados parciales del cálculo semicuantitativo de los espectros tratados permiten obtener concentraciones que se acercan sensiblemente a los valores reales.

El cálculo semicuantitativo de fases de hierro puede encontrar numerosas aplicaciones, entre ellas, el cálculo del índice PAI modificado para hierros arqueológicos descrito anteriormente:

$$\alpha/\gamma \text{ PAI} = \frac{\text{mass fraction } (\alpha\text{FeOOH}) + (\text{Fe}_3\text{O}_4)}{\text{mass fraction } (\gamma\text{FeOOH}) + (\beta\text{FeOOH})}$$

Gracias a la combinación del método propuesto con el cálculo del valor PAI, es posible indicar a los restauradores (de manera rápida y económica) la habilidad protectora de las capas de corrosión de los hierros arqueológicos.

Aunque los resultados hasta aquí obtenidos son prometedores, es necesario llevar a cabo

más estudios con el fin de optimizar la deconvolución espectral del programa PALME, actualmente en fase de estudio.

Tras la identificación de los parámetros de corrección más adecuados, la segunda fase de este trabajo se centrará en la aplicación del método optimizado al estudio de muestras reales. En este caso, el valor teórico obtenido a partir del programa de deconvolución se comparará con los valores cuantitativos obtenidos por difracción de rayos X (XRD).

Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por el proyecto UFI "Global Change and Heritage" (Ref. UFI 11-26, UPV-EHU) y el proyecto DISILICA-1930 (ref. BIA2014-59124). Marco Veneranda agradece al Ministerio de Innovación y Competitividad (MINECO) por su beca pre-doctoral y por la financiación de la estancia en los laboratorios MONARIS (Paris).

Referencias

- Arafat, A., Na'és, M., Kantarelou, V., Haddad, N., Giakoumaki, A., Argyropoulos, V., Anglos D. y Karydas, A.D. (2013). Combined in situ micro-XRF, LIBS and SEM-EDS analysis of base metal and corrosion products for Islamic copper alloyed artefacts from Umm Qais museum, Jordan. *Journal of Cultural Heritage*, 14, 261-269
- Aramendia, J. Gomez-Nubla, L. Bellot-Gurlet, L. Castro, K. Paris, C. Colomban, P. y Madariaga, J.M. (2014). Protective ability index measurement through Raman quantification imaging to diagnose the conservation state of weathering steel structures. *Journal of Raman Spectroscopy*, 45, 1076-1084
- Dillmann, P. Mazaudier, F. y Hoerlé S. (2004) Advances in understanding atmospheric corrosion of iron. Rust characterisation of ancient ferrous artefacts exposed to indoor atmospheric corrosion. *Corrosion Science*, 46, 1401-1429
- Neff, D. Dillmann, P. Bellot-Gurlet, L. y Beranger G. (2005). Corrosion of iron archaeological artefacts in soil: characterisation of the corrosion system. *Corrosion Science*, 47, 515-535
- Pingitore, G., Cerchiara, T., Chidichimo, G., Castriota, M., Gattuso, C. y Marino, D. (2014). Structural characterization of corrosion product layers on archaeological iron artifacts from Vigna Nuova, Crotone (Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 16, 372-376
- Reguer, S., Mirambet, F., Dooryhee, E., Hodeau, J.L., Dillmann, P. y Lagarde, P. (2009). Structural evidence for the desalination of akaganeite in the preservation of iron archaeological objects, using synchrotron X-ray powder diffraction and absorption spectroscopy. *Corrosion Science*, 51, 2795-2802
- Talbot, T. y Talbot, J. (1997) *Corrosion science and technology*. BocaRaton: CRC press

MetalEspaña 2015



Actas del
**II Congreso de Conservación y Restauración
del Patrimonio Metálico**
Segovia, Real Casa de Moneda, 1-3 de octubre de 2015

Editores científicos: Emilio Cano y Joaquín Barrio

Instituciones Organizadoras:



Patrocinadores:



Con el apoyo de:



MetalEspaña 2015

**II Congreso de Conservación y
Restauración del Patrimonio Metálico**

Segovia, Real Casa de Moneda.

1-3 de octubre de 2015

COMITÉS DEL CONGRESO

Dirección y Coordinación

Joaquín Barrio Martín. *Dpto. Prehistoria y Arqueología. Universidad Autónoma de Madrid. SECYR-UAM.*

Emilio Cano Díaz. *Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas-Consejo Superior de Investigaciones Científicas CENIM-CSIC.*

Comité organizador

David M. Bastidas (CSIC)

Inmaculada Donate (UAM)

M^a Cruz Medina (UAM)

Teresa Palomar (CSIC)

Ana I. Pardo (UAM)

Blanca Ramírez Barat (CSIC)

María Turégano (UAM)

Edición de las actas

Teresa Palomar

Comité Científico

Margarita Arroyo. Museo Arqueológico Nacional.

Joaquín Barrio Martín. Universidad Autónoma de Madrid.

Milagros Burón. Junta de Castilla y León.

Emilio Cano Díaz. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas-CSIC.

Alberto Canto García. Universidad Autónoma de Madrid.

Soledad Díaz. Instituto del Patrimonio Cultural de España.

Antonio Doménech Carbó. Universidad de Valencia.

Rafael Feria, Real Casa de la Moneda-FNMT.

Marco Ferretti, ITABAC-CNR Roma.

Ángel Fuentes. Universidad Autónoma de Madrid.

Emma García. Instituto del Patrimonio Cultural de España.

Carolina Gutiérrez Neira, Instituto de Historia, CCHS-CSIC.

Rocco Mazzeo. Universidad de Bolonia.

M^a Antonia Moreno. Museo Arqueológico Nacional.

Luc Robbiola. CNRS. Universidad de Toulouse.

Clodoaldo Roldán, Universidad de Valencia.

Alessandro Zucchiatti. CEMAM/ UAM.

La responsabilidad del contenido de cada trabajo corresponde al autor o autores del mismo.

Contacto:

secretaria@metalespana2015.es

joaquin.barrio@uam.es

ecano@cenim.csic.es