

Métodos de análisis para el estudio de caracterización y deterioro de la obra de arte realizada en terracota policromada. Aplicación práctica

Carmen Bermúdez Sánchez

Profesora Titular de Universidad. Departamento de Escultura.
Universidad de Granada (España).

Responsable del Proyecto de Investigación I+D+i: Proyecto Terránica: la escultura en terracota policromada: técnica deterioro y conservación, (HAR2012-239512), del Plan Nacional de Investigación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación
cbermude@ugr.es

Giuseppe Cultrone

Profesor Titular de Universidad. Departamento de Mineralogía y Petrología.
Universidad de Granada (España)
cultrone@ugr.es

Lucía Rueda Quero

Doctoranda. Departamento de Escultura. Universidad de Granada (España)
lurueqe@correo.ugr.es

Resumen: Este trabajo es parte de los resultados que se están obteniendo en el proyecto de investigación HAR2012-39512, Proyecto Terránica, siendo uno de sus objetivos el estudio de la viabilidad de unos métodos de análisis específicos para el soporte de terracota que permitan la caracterización del material, tecnología de creación y alteraciones sufridas. El ejemplo que aquí presentamos muestra los diferentes estudios que se están llevando a cabo aplicados a obras de arte concretas, y que han sido intervenidas; mostrando los métodos empleados en cada caso, los resultados de dichos análisis e, igualmente, su aportación a los diferentes procesos de restauración de manera individualizada y comparativa. Las técnicas analíticas empleadas han sido Radiología computarizada digital (RC), Fluorescencia de rayos-X (FRX), Difracción de rayos-X (DRX), Microscopía Óptica de Polarización (MOP), Microscopía Electrónica de Barrido de alta resolución con análisis de energía dispersiva de rayos X (MEB-EDX), Ensayos Hídricos (EH) y Porosimetría de Inyección de Mercurio (PIM). Las conclusiones obtenidas dan como resultado un mejor conocimiento del material y las causas del proceso de deterioro, además de contribuir a orientar en los tratamientos de restauración.

Palabras clave: escultura, terracota, deterioro, métodos de análisis, caracterización.

Abstract: This research is a part of the results obtained in the investigation project Terranica, HAR2012-39512, being one of its objectives to provide specific analytical techniques for the insight into the terracotta as main material for sculpture. The application of these methods may contribute decisively to insight into the composition, technology and the behavior over time of this material. This study shows different analytical studies ongoing on particular sculptures, actually under restoration treatments: we show the analytical techniques applied on the pieces, the results obtained, and their influence over the restoration treatments. The analytical techniques used are Computerized Radiology (CR), X-ray Fluorescence (XRF), X-ray Diffraction (XRD), Polarized Optical Microscopy (POM), High Resolution Scanning Electronic Microscopy with Energy Dispersive X-ray Analysis (SEM-EDX), Hydric Tests (HT) and Mercury Injection Porosimetry (MIP). The conclusions obtained give us a better knowledge about the material and its alteration causes, also contributing to guide the restoration treatments.

Keywords: sculpture, terracotta, deterioration, methods of analysis, characterization.

Introducción

Como en cualquier obra de arte, cuando nos encontramos frente a una escultura realizada en terracota y policromada es importante conocer cuestiones tan relevantes y diversas como la observación organoléptica, características artísticas e históricas de la pieza y características y propiedades de los materiales; así como aquellos factores que reflejen su estado de conservación, puntos débiles y, por tanto, la necesidad específica de un tratamiento, incluso de la elección de un material u otro para realizar una intervención.

Hemos de tener en cuenta que el proceso de producción de este tipo de piezas es especialmente complejo y peculiar, influyendo, incluso, de una manera determinante tanto los procesos anteriores a la elaboración de la propia escultura, como el posterior secado y cocción. Todos estos procesos afectarán a la calidad final de la pieza, a su resistencia física y mecánica, su homogeneidad en comportamiento y, en definitiva, se traducirán en una mayor o menor durabilidad de la obra en el tiempo determinando su estado de conservación.

Tras varios años realizando estudios e intervenciones sobre este tipo de obras, podemos afirmar que los principales factores de alteración resultan ser intrínsecos. Los problemas más determinantes en su estado de conservación vendrán condicionados por la naturaleza y características del propio soporte de terracota. Y todo esto puede comprobarse realizando los estudios y métodos de análisis oportunos y aplicados a cada caso de manera específica, ya que cada pieza tiene un comportamiento y una tecnología de creación determinados que la hacen particular.

Indudablemente, la aplicación de métodos científicos de análisis constituye el modo más apropiado y fiable de estudio de los componentes materiales de una obra de arte a un nivel macroscópico, microscópico y atómico. Contribuyen, por tanto, a una comprensión plena de todos los aspectos de la obra que afectan a su estado de conservación, además de darnos claves de su comportamiento respecto a los tratamientos de conservación/restauración a aplicar.

Estos estudios aportan, además, evidencias científicas que permitirán confirmar o rebatir los resultados obtenidos a partir de otros empíricos utilizados en materia de historia del arte. Basados principalmente en la observación, deducción, intuición, inducción, experiencia, principio de causalidad, etc., utilizan como referencia criterios estilísticos, históricos, artísticos y estéticos, pero precisan de la base sólida proporcionada por las técnicas analíticas. La aplicación exclusiva de estudios basados únicamente en la observación puede llevarnos a error y deja vacíos de información, independientemente de la importancia que se subraye en ciertos aspectos de este tipo de examen. De aquí la necesidad de aplicar otros estudios científicos más en profundidad, principalmente en este tipo de obras con tantas peculiaridades y significativamente en menor consideración con respecto a otros soportes.

En nuestro caso estamos llevando a cabo un estudio pormenorizado que ha aportado información significativa y precisa sobre más de 250 esculturas, hasta la fecha, de diferentes autores, épocas y tecnologías. De toda esta amplia colección de piezas, hemos seleccionado aquellas, no ya por su importancia artística, sino por la relevancia de la información aportada, que sirve de claro ejemplo para ilustrar la tesis defendida en este trabajo.

Con ello se aportan datos sobre conservación y también en cuestiones puramente tecnológicas, y en todos los casos de interesante repercusión en el ámbito de los procedimientos técnicos y el conocimiento del método de trabajo del artista, algo que hasta la fecha no se ha llevado a cabo en profundidad. Los ejemplos aquí presentados son el grupo escultórico de *La Virgen del Carmen entregando el Escapulario a San Simón Stock* (Diego de Mora), *Cristo Caído* (José de Mora), *Ecce-Homo* (Hermanos García), *San José con el Niño* (Duque Cornejo). Estas piezas, ubicadas en diferentes centros y bajo condiciones ambientales muy distintas, también han sido comparadas para comprobar la influencia directa de sus procesos tecnológicos de elaboración y su actual estado de conservación.

La rigurosidad de esta investigación se centra en el estudio científico-técnico del soporte desde el punto de vista material, como principal condicionante en el envejecimiento de la obra acabada y de la implicación directa en la mayoría de los procesos de deterioro de la policromía, destacando análisis químico, caracterización mineralógica, comportamiento hídrico y estructura porosa mediante las técnicas analíticas de Fluorescencia de rayos-X, Difracción de rayos-X, Microscopía Óptica de Polarización, Microscopía Electrónica de Barrido de alta resolución con análisis por energía dispersiva de rayos X, Ensayos Hídricos, Porosimetría de Inyección de Mercurio y Radiología Computerizada Digital.

Relación de piezas estudiadas

Debido al escaso margen de la publicación, nos centraremos en exponer de manera esquemática cada una de las piezas que presentamos, exponiendo a modo de ficha técnica la obra y su estado de conservación.

ECCE-HOMO			
Convento de las M.M. Carmelitas de la A.O. (Calzadas) Granada			
Autor	Hermanos García. Escuela granadina. Siglo XVI-XVII		
Iconografía	Busto de Cristo coronado de espinas, con las manos cruzadas sobre el pecho, atadas con una gruesa cuerda, y manto rojo sobre los hombros.		
Dimensiones	35 x 35 x 11 cm		
Materiales constitutivos	Terracota (soporte)	Espinas naturales (adheridas con cola de huesos)	Caña natural (exenta y desaparecida)
Elaboración del soporte	Altorrelieve	1 pieza	Modelado en hueco (huellas de dedos)
Técnica policroma	Preparación sulfato cálcico y cola animal	Carnaciones óleo con acabados de veladuras y sangre en relieve	Vestiduras: apariencia de temple al huevo u óleo al falso pulimento
Estado de conservación del soporte	La terracota se encuentra en perfecto estado. Pérdida de todas las espinas a excepción de dos. Pérdida de la caña. Presenta un orificio bajo su mano izquierda, posiblemente de origen, y subsanado posteriormente con telas encoladas		
Estado de conservación de la policromía	Pérdidas de adhesión generalizada a nivel del manto, mechones de cabello y pequeñas zonas de la carnación. Pérdidas de capa policroma generalizadas y de pequeña consideración, más acusadas en el manto. Añadidos de barniz coloreado en la zona del manto. Suciedad superficial endurecida generalizada.		

Tabla 1. Ficha de la obra *Ecce-Homo*.

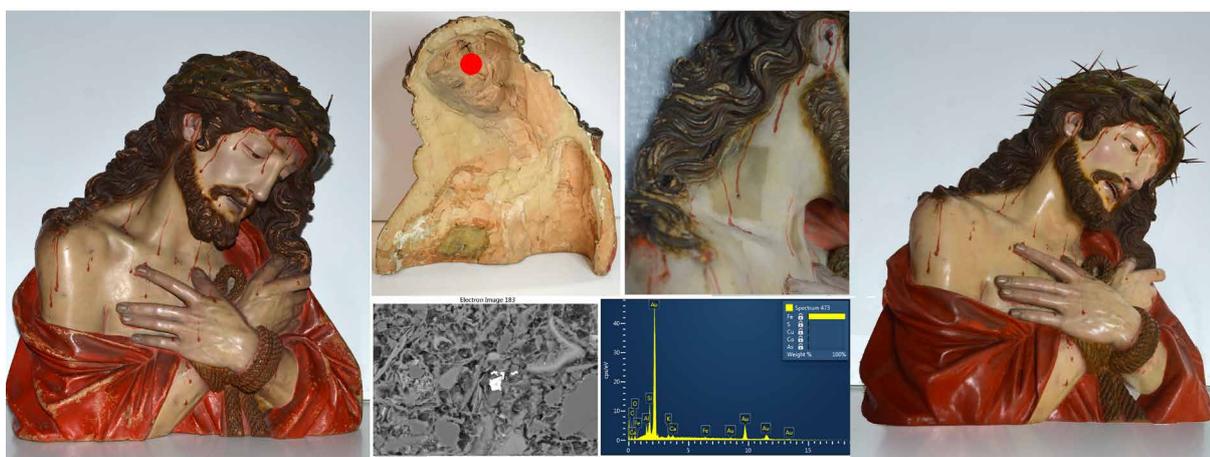


Figura 1. Escultura del Ecce-Homo antes y después de su intervención; detalle del interior de la obra con localización de extracción de muestra (en rojo); pérdidas de policromía en el cabello; proceso de limpieza de las carnaciones; imagen y gráfica de SEM-EDX con identificación de oro incluso en cuarzo

VIRGEN DEL CARMEN ENTREGANDO EL ESCAPULARIO A SAN SIMÓN STOCK Convento de las M.M. Carmelitas de la A.O. (Calzadas) Granada				
Autor	Diego de Mora. Escuela granadina. Siglo XVII-XVIII			
Iconografía	Virgen del Carmen vestida con hábito carmelita, sentada sobre una nube con tres cabezas de ángeles, ofreciendo el escapulario a San Simón Stock que, arrodillado, alza la mirada y las manos hacia ella en actitud de recibirlo.			
Dimensiones	27 x 29 x 18 cm (conjunto completo con peana)			
Materiales constitutivos (soporte)	Terracota (nube, ángeles y ambas figuras)	Telas encoladas (ropajes)	Madera y pernos de metal (uniones de piezas)	Escayola (recubrimiento interno y de adhesión con la peana)
Elaboración del soporte	Bulto redondo	piezas: nube con ángeles, 4 brazos, 4 manos, 2 cuerpos, 2 cabezas	Modelado en hueco nube (huellas de dedos), ahuecado tras el modelado (cabezas). Cuerpos macizos	Espesor del soporte: variable (desde 0,7 cm en la cabeza hasta 4,9 cm en el cuerpo, macizo)
Técnica policroma	Preparación sulfato cálcico y cola animal	Carnaciones óleo con acabados de veladuras	Vestiduras: estofado y esgrafiado de temple al huevo sobre oro fino	Acabados: no presenta barniz final original
Estado de conservación del soporte	Pérdida de la mano derecha del Santo y dedo índice derecho de la Virgen. Pérdidas por roce y rotura en la base de la nube y en el orificio de la corona del Santo. Separación de la mano izquierda de San Simón Stock. Pérdida de resistencia de la tela encolada en el manto del santo. Separación de las zonas de unión de los ropajes con la peana y con el soporte de terracota, en ambas figuras. Pérdida de la peana original, la actual ha sido añadida posteriormente por el escultor H. Peregrín (firmada), ajustándola con añadidos de escayola.			
Estado de conservación de la policromía	Desgastes puntuales de la policromía en los relieves más salientes. Pérdida de adhesión entre estratos principalmente en la zona de los ángeles. Pérdidas de policromía en las vestiduras de la Virgen y la nube. Oxidación del pan de plata en la nube. Suciedad superficial endurecida. Acumulación de cera en algunas zonas.			

Tabla 2. Ficha de la obra *Virgen del Carmen entregando el escapulario a San Simón Stock*.

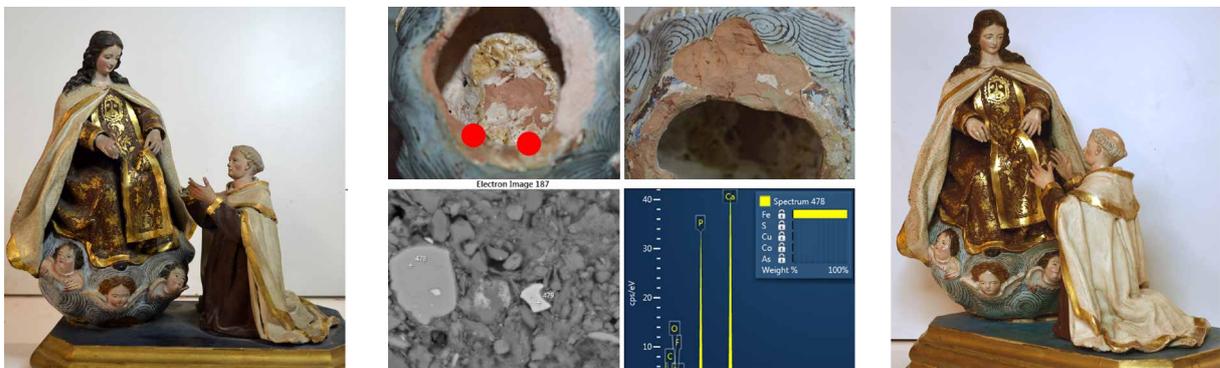


Figura 2. Escultura de la *Virgen del Carmen entregando el Escapulario a San Simón Stock* antes de su intervención, detalle del interior de la obra con punto de extracción de muestra (en rojo), detalle de las pérdidas por roce de la base de la nube, identificación de apatito por SEM-EDX, y escultura tras su intervención.

CRISTO CAÍDO (boceto) Museo San Juan de la Cruz. Úbeda (Jaén)					
Autor	José de Mora. Escuela Granadina. Siglo XVII-XVIII				
Iconografía	La figura de Jesucristo, vestida con túnica, se presenta caído de rodillas en el suelo, sosteniendo con la mano izquierda la Cruz, que reposa sobre ese hombro, mientras la mano derecha se apoya sobre una roca redondeada aludiendo al mundo.				
Dimensiones	23 x 30 x 18,5 cm				
Materiales constitutivos	Terracota (soporte)	Cuerda de pita (restos)	Cruz de madera (exenta)	Potencias de plata (exentas)	Perno metálico en el hombro (sujeción de la cruz)
Elaboración del soporte	Bulto redondo	1 pieza	Ahuecado tras el modelado (marcas de herramientas)	Grosor de las paredes 1,5-3 cm	
Técnica policroma	Preparación: sulfato cálcico y cola animal	Carnaciones : óleo	Vestiduras: temple a la cola con pan de oro fino ribeteando puños y escote	Acabados: cola de conejo	
Estado de conservación del soporte	Pérdida de la mano izquierda completa. Pérdida por desgaste y roce de los pliegues del manto en la zona inferior de la figura. Rotura con fragmentación de la mano derecha a la altura de la muñeca y de la túnica bajo el pie derecho. Pérdida de cuerda natural que ceñía el cuello (restos de cuerda de pita en los orificios de inserción del cuello). Adición de mano izquierda en madera y adición de masillas para acomodación a una nueva peana de terracota. Reencolado de fragmentos con desajuste de uniones.				
Estado de conservación de la policromía	Desgastes en los volúmenes más salientes del dorado de la túnica. Pérdidas puntuales y de poca consideración a nivel de la capa de color. Pérdida de adhesión entre estratos en los dorados. Suciedad superficial endurecida conformando bloque con el acabado de cola animal original. Adición de barnices, altamente oxidados, masillas y repintes en las zonas de unión con la nueva peana y en las roturas.				

Tabla 3. Ficha de la obra *Virgen del Carmen entregando el escapulario a San Simón Stock*.

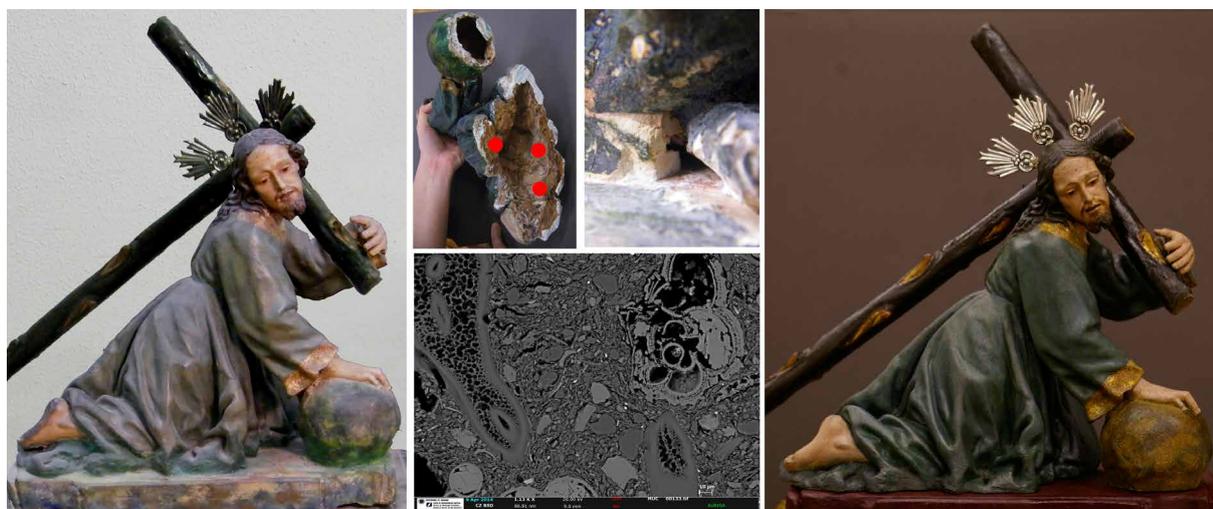


Figura 3. Escultura del *Cristo Caído* antes de su intervención, detalle del interior de la obra con punto de extracción de muestra (en rojo), detalle de los añadidos de masilla en la rotura inferior, imagen por SEM-EDX de microfósiles, y escultura tras su intervención.

SAN JOSÉ CON EL NIÑO Museo San Juan de la Cruz. Úbeda (Jaén)				
Autor	Pedro Duque Cornejo. Escuela sevillana. Siglo XVI-XVII			
Iconografía	San José, vestido de época, con la rodilla derecha en tierra, sosteniendo sobre su pierna izquierda al Niño Jesús desnudo. El Niño tiene en su mano derecha una manzana (?) que señala con el índice de la otra mano.			
Dimensiones	52 x 47 x 35 cm			
Materiales constitutivos	Terracota (soporte)	-	-	-
Elaboración del soporte	Bulto redondo	1 pieza (?)	Ahuecado tras el modelado (marcas de herramientas)	Espesor del soporte : variable (desde 1,2 cm en la cabeza hasta 3 cm pie izquierdo, macizo)
Técnica policroma	Preparación sulfato de calcio y cola animal	Carnaciones: óleo con acabado en veladuras	Vestiduras: óleos con acabados de oro fino en galón del manto, cuello de la túnica, botones y manzana	Acabado: no presenta barniz final original
Estado de conservación del soporte	Pérdida del índice de la mano derecha del Niño y pérdida con fragmentación de gran parte de la zona posterior de la cabeza de San José. Rotura con separación del pie izquierdo de San José.			
Estado de conservación de la policromía	Pérdida de adhesión de los estratos con el soporte, pérdidas generalizadas de poca consideración. Desgastes y roces en las vestiduras. Acumulación de suciedad superficial endurecida. Repolicromado en el vuelto del manto y en la túnica. Barnices altamente oxidados no originales y de gran espesor.			

Tabla 4. Ficha de la obra San José con el Niño

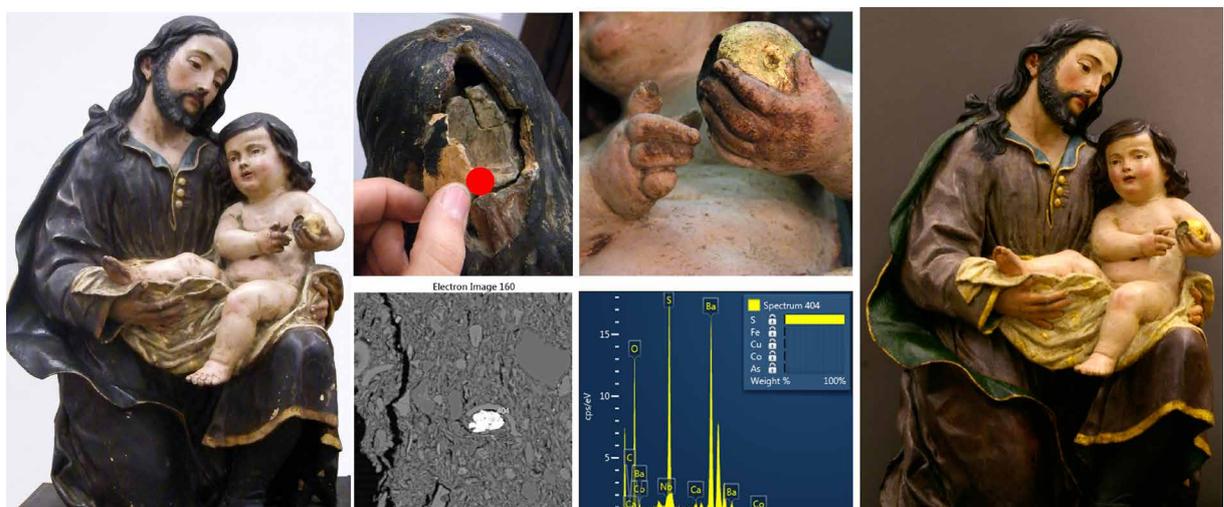


Figura 4. Escultura de San José con el Niño en brazos antes de su intervención, detalle de la rotura de la cabeza y su relleno con masillas con punto de extracción de muestra (en rojo), detalle de la pérdida del índice del Niño y proceso de limpieza, identificación por SEM-EDX de wollastonita, y escultura tras su intervención.

Peculiaridades del soporte de la escultura en terracota

La peculiaridad de la escultura en terracota policromada no solo radica en el proceso de creación de la obra por el artista. La selección y procesado de la materia prima en sí ya supone un condicionante importante que influye en su conservación posterior; así como también los procesos de secado y cocción. Indudablemente también influyen los procedimientos específicos de policromado y las condiciones ambientales pero, insistimos, en la mayoría de las piezas estudiadas son condición *sine qua non* las características del proceso de elaboración y la tecnología de creación del soporte de terracota.

La selección y procesado de la materia prima supone un trabajo previo bastante elaborado. Hasta la época de la industrialización, los artistas solían adquirir las pastas cerámicas ya preparadas a alfares y alfareros¹, quienes seleccionaban, mezclaban y procesaban las tierras arcillosas mediante mecanismos bastante perfeccionados por la categoría de su realización². De especial interés es el trabajo relativo a la selección de la materia prima, su extracción, purificación, humectado, amasado, mezcla, etc. Trabajo, éste, que no suele hacer el escultor y que, en la mayoría de los casos desconoce. Su función comienza en el propio proceso de creación, con el modelado, necesario y correcto ahuecado, viabilidad de dividir la obra en piezas, selección de posibles divisiones y unión de las mismas, tanto antes como después de la cocción, etc., hasta el control de los procesos de secado y cocción que terminarán de aportarle sus propiedades y singularidades. Este último proceso de cocción, tampoco suele ser realizado por el artista³, sino que vuelve a ser una labor más propia de alfareros. Éstos poseen hornos, mejor adaptados, algunos con capacidad para albergar grandes obras, y más conocimiento en este campo y con mayor experiencia en el control de tiempos y temperaturas.

En un estudio organoléptico detallado se puede observar con claridad el método de trabajo del escultor, y de manera más fiable si lo comparamos con estudios radiológicos cuando el ojo humano o un endoscopio no pueden acceder al completo de la obra. El escultor procedía a la conformación de la escultura siguiendo métodos diferentes según el resultado a obtener⁴. En nuestro caso tenemos dos tipologías: bulto redondo y relieve. El *Ecce-Homo* es un altorrelieve, ahuecado por su reverso y posiblemente controlando el grosor ya desde su concepción. El grupo de la *Virgen del Carmen*, bulto redondo con ahuecado de la nube desde la zona inferior, los cuerpos macizos y las cabezas cortadas a nivel de la mascarilla para ahuecarlas previamente a la cocción. *San José*, bulto redondo construido a base de piezas previamente separadas, ahuecadas, y unidas con barbotina antes de la cocción. Por último, el *Cristo Caído*, de bulto redondo, realizado en macizo y ahuecado desde la parte inferior.

La fase de ahuecado se realiza con herramientas o se construye con un grosor determinado desde el inicio, controlando el artista el más adecuado. En la conformación del *Ecce-Homo*, por ejemplo, observamos huellas de dedos, así como en la *Virgen del Carmen*, en la zona de la nube. Las otras piezas, presentan huellas de las herramientas empleadas para su vaciado. En todas, las paredes son uniformes para evitar estallidos, más gruesas en la zona inferior para conferirle resistencia y de una compactación cerrada evitando dejar huecos entre las pellas, que puedan ocasionar estallidos durante la cocción.

¹ Cirujano, 2010.

² Garzón Cardenete, 2005.

³ Laguna Paul, 2007.

⁴ Ramiro Megías, 1991.

El grado y la homogeneidad de la cocción son ligeramente diferentes según la pieza, exigiendo, en principio, más temperatura para conseguir una mayor vitrificación y, por tanto, mejor resistencia en tamaños grandes. Esto puede ser comprobable, no solo según las tonalidades de la terracota en obra sino, principalmente y como método más fiable, mediante los correspondientes estudios analíticos. En cualquier caso, el proceso de cocción no siempre es exacto. Es bastante común encontrar piezas con grados de cocción bajos, diferencias de tonalidad que aluden a la cercanía del foco de calor, etc., o presencia de corazón negro, que puede significar ambientes de cocción reductores-oxidantes.

En otros casos encontramos piezas que han sufrido daños como fisuras, separación de piezas y estallidos durante la cocción y que en lugar de ser desechadas han sido reparadas por el escultor, empleando diferentes recursos, como es el caso de la *Virgen del Carmen* y del *Cristo Caído* donde se observan fisuras en el interior y unión de fragmentos mediante colas de hueso y masillas de escayola y barbotina; o el caso de la adición de tela encolada para disimular un orificio en el relieve del *Ecce-Homo*.

Otros recursos plásticos, igualmente empleados en obras realizadas sobre otros soportes, se aplican también en las piezas de terracota; como el uso de ojos de cristal, cuerdas, elementos iconográficos en metal y madera, etc., o el caso del uso de telas encoladas o impregnadas en barbotina, como sucede en la *Virgen del Carmen*, donde se aplican telas encoladas sobre el soporte de terracota, ya cocido y previamente al policromado, con el objeto de simular las finas telas de las vestimentas, algo menos complicado de conseguir que con placas de barro en una obra de tan reducidas dimensiones.

Indiscutiblemente, en algunos casos, sobre todo en piezas de cierta complicación plástica y/o desde el punto de vista de su composición y tamaño, es fácil encontrar diferentes elementos constructivos empleados con el propósito de reforzar determinadas zonas de la pieza o uniones de piezas tras el proceso de cocción, como la aplicación de estopas, telas de refuerzo o armaduras metálicas o de madera. Es el caso, nuevamente, del grupo escultórico de la *Virgen del Carmen*, en el que se aprecia la inclusión de pernos metálicos para refuerzo de la unión de las manos a los brazos, y la inclusión de un vástago de madera para sostener interiormente la nube en la posición correcta sobre la peana.

Sería largo y extenso exponer las múltiples peculiaridades y combinaciones que se pueden dar sobre este tipo de obras, pero no vienen al caso y sería objeto de un estudio específico.

Metodología de análisis

Para este estudio se han seleccionado aquellas técnicas analíticas centradas en la composición química (FRX, EDX) y mineralógica de la terracota (DRX, MOP), textura microscópica de la masa arcillosa (MOP, MEB), su grado y condiciones de cocción (DRX, MOP, MEB), el estado y características de su sistema poroso (PIM, EH), y la estructura de construcción (RC). En definitiva, factores que nos informan sobre su composición y características, y que aportan datos particulares como presencia de componentes que incidan más directamente en su conservación, el grado de compacidad, resistencia y dureza. Además de los mecanismos y grado de difusión de líquidos en su seno, tanto por ser indicativo de una alteración, como por poder condicionar o proporcionar datos acerca del material o tratamiento más adecuado.

Salvo en el caso de la radiología computarizada digital, para la realización de todos estos análisis es necesario extraer muestras del soporte, por lo que hemos de tener en cuenta una serie de pautas de actuación imprescindibles:

- Determinación de los distintos análisis a efectuar y orden de realización para el máximo aprovechamiento de la muestra;
- Determinación de las muestras que se precisen, tamaño, cantidad y lugar de extracción;
- Control de las muestras para evitar contaminación tanto durante la extracción como de los contenedores para su almacenamiento y traslado⁵.

En nuestro caso la toma de muestras está facilitada por la tecnología de creación, minimizando el impacto de su extracción al no alterar capas o acabados superficiales. En este caso solamente hay que considerar el lugar de extracción para evitar puntos de máxima resistencia, tensión o apoyo y zonas demasiado delgadas, ya que se precisa extraer cierto volumen de material: es necesario un total de 6 g de arcilla en polvo y un fragmento íntegro de 1 g de cada pieza. Dada la cantidad de muestra necesaria, no en todas las piezas se ha podido extraer el total, debido, principalmente a su tamaño y espesor; de ahí que no se hayan podido realizar todos los análisis en todas las piezas, si bien los resultados son suficientemente concluyentes para la información que pretendemos obtener.

RELACIÓN DE LAS PIEZAS ESCULTÓRICAS Y ANÁLISIS REALIZADOS								
ESCULTURA	SIGLAS	ANALÍTICAS REALIZADAS						
		FRX	DRX	MOP	SEM-EDX	EH	PIM	CR
Ecce-Homo	CAM-EH	x	x	x	x	x	x	-
Virgen del Carmen entregando el escapulario a San Simón Stock	CAM-VS	x	x	x	x	-	x	x
Cristo Caído	MUC brazo	-	x	-	-	-	-	-
	MUC barbotina	-	x	-	-	-	-	-
	MUC interior	-	x	-	-	-	-	-
	MUC	-	-	x	x	-	x	-
San José con el Niño	MUSJ	x	x	x	x	x	x	-

Tabla 5. Relación de piezas y esquema de análisis realizados.

La muestra denominada CAM-EH se extrajo de la zona de la cabeza, desde la parte posterior que presentaba fractura, del relieve del *Ecce-Homo*. La muestra denominada CAM-VS procede del interior de la nube, zona del borde posterior, del grupo escultórico de la *Virgen del Carmen*. De la escultura que representa un *Cristo Caído* se extrajeron tres muestras: MUC brazo (extraída del brazo derecho en la zona de fractura de la muñeca), MUC barbotina (de los restos de barbotina que aún se conservan y que originalmente unían la pieza por la parte inferior con su peana original, ya desaparecida) y MUC interior (muestra extraída del interior de la pieza accediendo desde la parte inferior). De la escultura *San José con el Niño* se tomó una muestra denominada MUSJ (extraída de uno de los fragmentos de rotura de la zona posterior de la cabeza).

⁵ Más detallado en BERMÚDEZ, 1996.

Fluorescencia de Rayos X (FRX)

Para medir elementos mayoritarios y minoritarios. Se precisan 6 g de muestra molida en mortero de ágata a tamaño inferior a 50 μm para la elaboración de una pastilla. En el mortero de ágata se mezcla y homogeniza cada muestra en polvo con 0,5 g de aglutinante Cera C de Hoechst micropolvo. Se utilizan cazoletas de aluminio de 4 cm de diámetro, y las pastillas se compactan en una Prensa Hidráulica Mignon-S, NANNETI durante 30 s. Debido a las limitaciones de esta técnica, que no detecta elementos con $z < 11$, se mide también la pérdida por calcinación (LOI), que permite calcular el contenido en agua, carbono, etc. Los elementos se analizan utilizando un equipo S4 Pioneer de BRUKER por dispersión de longitud de onda, equipado con un tubo de rayos X de ánodo de Rh y condiciones trabajo de 60 kV, 150 mA. El equipo posee tres cristales analizadores OVO-55, LiF 200 and PET, un contador proporcional de flujo para la detección de los elementos ligeros y un contador de centelleo para los pesados. La cuantificación se realiza por el método de parámetros fundamentales utilizando el software vinculado al equipo Spectra-Plus. La pérdida por calcinación se obtiene calcinando las muestras durante una hora a 900° C. Los resultados se muestran en tablas, presentando los elementos mayoritarios en porcentaje, y los elementos minoritarios en partes por millón (ppm).

Difracción de Rayos X (DRX)

Para identificar las fases minerales. Se precisan 0,3 g de muestra molida con un tamaño inferior a 0,5 μm , que se estudia mediante el método de polvo cristalino desorientado utilizando un equipo Philips PW 1710 con monocromador de grafito y colimador automático. Las condiciones de trabajo son: emisión de radiación $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$), 40 kV de voltaje, 40 mA de corriente, de 3°-60° 2 θ de área explorada a una velocidad de goniómetro de 0,05 2 θs^{-1} . El calibrado de goniómetro de DRX se hace mediante estándar de silicio. Para la interpretación de los datos extraídos se utiliza el programa informático X Powder®⁶. Se emplea la base de datos PDF2 y el RIR Normalizado para identificar las fases minerales, sin añadir estándares internos minerales a las muestras.

Microscopía Óptica de Polarización (MOP)

Para observación de textura y fases minerales, mediante la elaboración de una lámina delgada, con un microscopio óptico de luz de polarización Olympus BX60.

Microscopía Electrónica de Barrido de alta resolución con análisis de Energía Dispersiva de Rayos X (MEB-EDX)

Para el estudio de la microtextura y la composición de ciertas fases minerales mediante la observación de láminas delgado-pulidas metalizadas con carbón. Se lleva a cabo utilizando un microscopio Leo Gemini 1530, acoplado a microanálisis de energía dispersiva Oxford Inca 200. Las imágenes se obtienen en modo de electrones retrodispersados.

Ensayos Hídricos (EH)

Para determinar los parámetros asociados con la absorción y transporte de fluidos en el seno del sistema poroso. Son determinados mediante ensayos de absorción libre (Ab), absorción forzada

⁶ Martín Ramos, 2004.

(Af)⁷ e índice de secado (Di)⁸. Estos ensayos se llevan a cabo controlando por sucesivas pesadas, a intervalos estipulados, el aumento o descenso en el peso de las muestras; calculando los parámetros mencionados mediante las siguientes fórmulas:

$$A_b = \frac{M_L - M_0}{M_0} \times 100, \quad A_f = \frac{M_S - M_0}{M_0} \times 100, \quad Di = \frac{\int_{t_0}^{t_f} f(M_t) dt}{M_S \times t_f}$$

Grafica 1. M_0 = masa de la muestra seca; M_L = masa de la muestra saturada en agua a presión atmosférica; M_S = masa de la muestra saturada en agua en vacío; M_t = descenso del contenido de agua en peso en función del tiempo; t_0 = tiempo de inicio de la prueba; t_f = tiempo de finalización de la prueba.

La medida del coeficiente de saturación (S), la densidad aparente (ρ_b), la densidad real o esquelética (ρ_{sk}) y la porosidad abierta (Po)⁹, se determinan como sigue:

$$S = \frac{M_{48h} - M_0}{M_S - M_0} \times 100, \quad \rho_b = \frac{M_0}{M_S - M_H}, \quad \rho_{sk} = \frac{M_0}{M_0 - M_H}, \quad P_o = \frac{M_S - M_0}{M_S - M_H} \times 100$$

Grafica 2. M_{48h} = masa de la muestra tras 48 horas de inmersión en agua a presión atmosférica; M_H = masa de la muestra saturada al vacío por pesada hidrostática.

Porosimetría de Inyección de Mercurio (PIM):

Para determinar la distribución del tamaño de poro, medir el radio de los mismos y la interconexión entre ellos; así como densidad real y aparente. El método precisa de una muestra entre 0,80-1 g, secada en estufa durante 24 h a 60° C, y se introduce en el penetrómetro del equipo (Micromeritics AUTOPORE III). El equipo mide de 0-50 psia (0-345 kPa) hasta un máximo de 60 000 psia (414 MPa) y diámetros de poro de 0,003 a 360 μm .

Radiología Computarizada Digital (RC):

Para el estudio de la disposición de piezas y sistema constructivo. Este sistema reduce la dosis de emisión de rayos X, respecto a la técnica tradicional, por lo que reduce su repercusión en la obra. Se lleva a cabo mediante la emisión de rayos X de $\lambda \approx 0,5-2,5 \text{ \AA}$, con un aparato Fujifilm FLA7000 para grabar una placa fotoestimulable de fósforo ERLM contenida en un escáner CEREQ, y la posterior exploración mediante el escáner, que traslada la imagen a formato digital, donde es manipulada para un mejor ajuste de la imagen.

⁷ EN-13755, 2008.

⁸ Normal 29/88, 1988.

⁹ Rilem, 1980.

Discusión de resultados

Fluorescencia de Rayos X (FRX)

FLUORESCENCIA DE RAYOS X											
MUESTRA	COMPONENTES MAYORITARIOS (%)										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI (%)
MUSJ	35,90	11,90	4,30	0,10	2,40	26,90	0,30	2,50	0,59	0,19	14,00
CAM-VS	39,19	17,67	6,33	0,07	3,27	14,43	0,54	3,17	0,66	0,13	13,94
CAM-EH	43,12	20,36	6,77	0,10	4,78	14,17	0,96	4,34	0,78	0,13	2,78

Tabla 6. Resultado de FRX. Componentes mayoritarios.

Si atendemos a los componentes mayoritarios presentes en las terracotas (tabla 6), los más abundantes son los relativos al silicio (SiO₂), aluminio (Al₂O₃), calcio (CaO) y hierro (Fe₂O₃), que sugieren la presencia de cuarzo, filosilicatos, carbonatos e hidróxidos de hierro respectivamente. La cantidad de sílice es más elevada en la muestra CAM-EH. Igualmente es la que contiene una proporción más elevada de aluminio y de hierro, reduciéndose sus valores de calcio; si bien, su proporción por encima del 14 %, sumado a la medida de pérdida de masa por calcinación (LOI) del 2 %, la sitúa en el grupo de las arcillas calcáreas. Destacable es también su mayor contenido en magnesio y potasio, como diferenciación compositiva. La muestra CAM-VS contiene proporciones algo inferiores de silicio, aluminio y hierro, superando en un 0,26 % la cantidad de calcio que presenta CAM-EH, lo que igualmente la convierte en una arcilla calcárea al sumarle sus valores de LOI del 14 %. En contraposición, la muestra MUSJ, destaca por su elevado contenido en calcio, que llega al 27 %, y que sumado al porcentaje de LOI del 14 % da un total del 41 %, lo que podría identificar la materia prima como una marga. Tanto el porcentaje de hierro como de aluminio de MUSJ es inferior a las otras dos muestras, un 2 % inferior en hierro y un 5 % en aluminio y sílice, diferenciándola.

Si establecemos la comparación entre las distintas muestras en un diagrama triangular, podemos apreciar la composición exacta de cada una de ellas. Para ello se representan los tres componentes más destacables como valores correspondientes a su representación espacial en un sistema de coordenadas.

Recalculando la proporción porcentual de estos tres componentes para expresar la lectura de cada muestra, podemos establecer un nivel fácilmente comprensible de clasificación, dejando constancia de su definición (figura 5). La posición exacta de cada composición determina su diferenciación, principalmente por la variable de proporción de sílice-calcio.

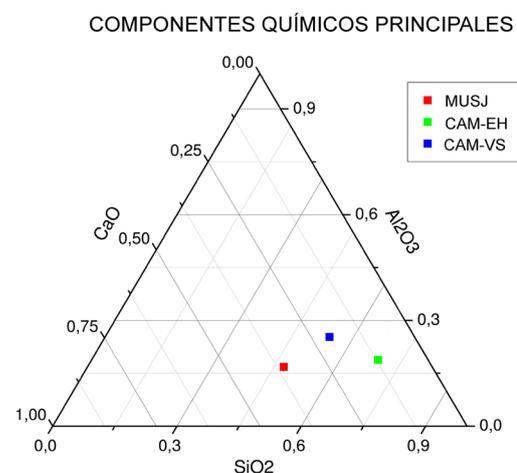


Figura 5. Diagrama triangular con la composición de las muestras según los elementos mayoritarios más abundantes.

FLUORESCENCIA DE RAYOS X																	
MUESTRA	COMPONENTES MINORITARIOS (PPM)																
	S	Cl	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Zr	I	Ba	Pb
MUSJ	1627	851	0	150	0	57	76	124	15	0	103	767	17	143	0	292	256
CAM-VS	1347	461	141	0	0	64	71	124	0	0	147	356	19	157	0	506	202
CAM-EH	5269	367	174	112	23	67	88	130	0	0	191	564	20	165	0	574	752

Tabla 7. Resultado de FRX. Componentes minoritarios.

En cuanto a los componentes minoritarios (tabla 7), destacar los que superan 1000 ppm, como es el caso del azufre para MUSJ y CAM-VS, llegando a 5000 ppm en CAM-EH. Otros componentes minoritarios en MUSJ que apuntan a diferencias significativas con las demás muestras, son el estroncio, con una concentración más elevada (que puede apuntar a la presencia de celestina), la existencia de galio y la ausencia de vanadio. La muestra CAM-EH destaca por su elevada proporción de azufre y porque duplica las cantidades de plomo de las otras dos muestras.

Difracción de rayos X (DRX)

Según podemos comprobar en los difractogramas (figura 6), se observa presencia de ilita en todas las piezas, siendo especialmente abundante en la muestra CAM-VS. Encontramos en una proporción muy reducida clorita en las muestras MUC y MUSJ; apareciendo esmectitas solamente en MUSJ. En tres de las piezas, exceptuando CAM-EH, la presencia de calcita es muy alta, lo que indica que la temperatura de cocción es inferior a 800° C. Solamente presentan

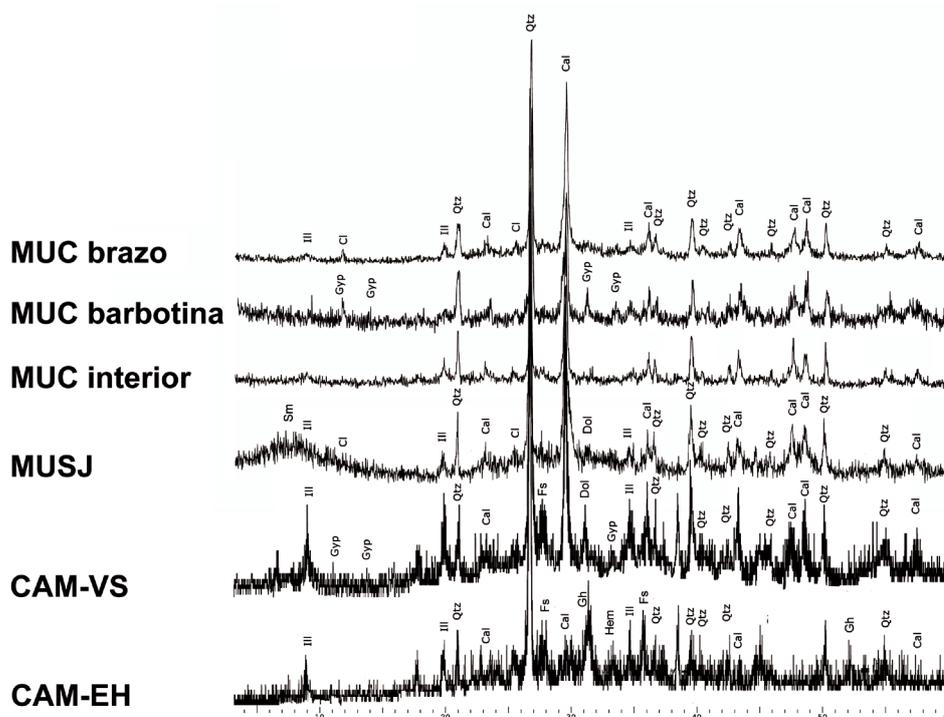


Figura 6. Difractogramas de las muestras de terracota MUC (extraídas de tres zonas), MUSJ, CAM-VS y CAM-EH. Los símbolos de los minerales adoptan la nomenclatura de Kretz (1983): Qtz=cuarzo, Fs=feldespatos; Cal=calcita; Dol=dolomita; Hem=hematites; Sm=esmectitas; III=ilita; Cl=clorita, Gh=gehlenita, Gyp=yeso.

trazas de yeso CAM-VS y la muestra de MUC barbotina, lo que se puede interpretar como una contaminación por la tecnología de conformación de las piezas: la nube del grupo de la *Virgen del Carmen* está en su interior recubierta por una fina capa de escayola y en el *Cristo Caído* se añadió posteriormente escayola en el proceso de sustitución de la peana. La única muestra en la que hemos encontrado fases neoformadas es en CAM-EH, donde observamos la presencia de gehlenita. Ello implica una temperatura de cocción superior a los 800° C¹⁰ en arcillas que contenían en origen una proporción de calcita superior al 20 %¹¹. También hallamos hematites solamente en esta muestra, indicativos de una transformación de óxidos de hierro por recristalización, después de la descomposición de los filosilicatos¹². Los difractogramas con mayor cantidad de ruido son MUC-barbotina, CAM-EH y CAM-VS, debiéndose este hecho a la abundancia de material fundido o de amorfo.

Microscopía Óptica de Polarización (MOP)

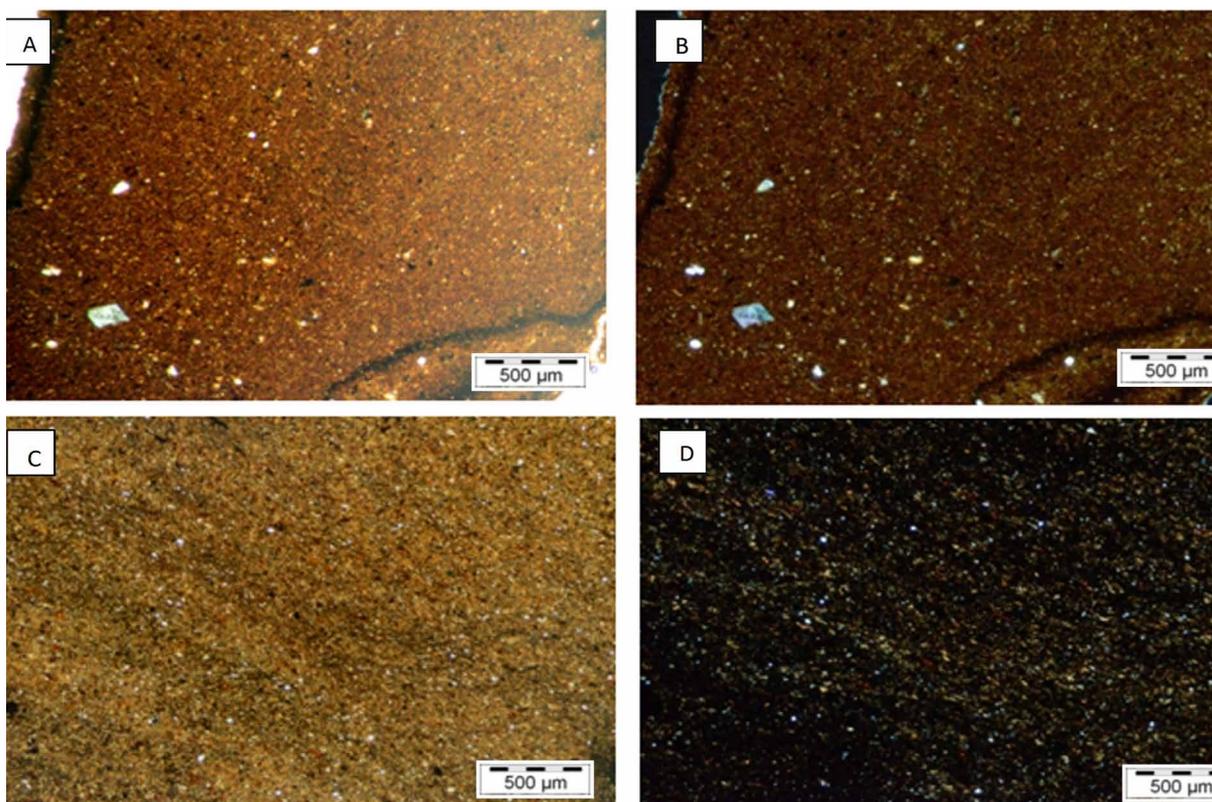


Figura 7. Imágenes de microscopía óptica de polarización de las muestras. A: CAM-VS observada por un solo polarizador. B: CAM-VS observada por nícoles cruzados. C: CAM-EH observada por un solo polarizador. D: CAM-EH observada por nícoles cruzados.

En las imágenes de microscopía óptica, las diferencias entre las muestras son evidentes. Destaca principalmente la homogeneidad en CAM-EH (figura 7C y fig. 7D), cuyo tamaño de grano es muy pequeño (apenas 2 µm), su matriz es de una coloración ocre más clara, contiene gran cantidad de desgrasante (indicativo de una buena estructura esquelética) conformado principalmente

¹⁰ Cultrone, 2001.

¹¹ BARAHONA *et alii*, 1985; GONZÁLEZ GARCÍA *et alii*, 1990; DUMINUCO *et alii*, 1996; DE LA FUENTE 1990.

¹² PARRAS *et alii*, 1996.

por cuarzo metamórfico, de forma angular y tamaño muy pequeño. Los granos presentan ordenación observándose zonas de diferentes grados de acumulación de desgrasantes, debidas al modelado. La muestra CAM-VS (figura 7A y figura 7B) presenta igualmente un tamaño de grano general muy similar ($2\ \mu\text{m}$), bastante homogéneo y con idénticas características en filosilicatos y ordenación; su matriz es de un color rojizo más intenso, presenta mayor heterogeneidad en el desgrasante (igualmente compuesto por cuarzo metamórfico más angular que subredondeado) y sus granos alcanzan los $200\ \mu\text{m}$. También observamos la acumulación de arcillas finas en las zonas cercanas al borde modelado, apareciendo como bandas de tonalidad más oscura.

La muestra MUC (figura 8A y figura 8B) tiene menor proporción de matriz respecto a la cantidad de granos. El desgrasante, conformado por cuarzo metamórfico de morfología redondeada, se suma a la elevada cantidad de carbonatos y filosilicatos de gran tamaño, oscilando entre $100\ \mu\text{m}$ y $400\ \mu\text{m}$. Observamos cierto grado de deterioro y transformación de los carbonatos, algunos claramente con forma de bivalvos. El grado de descomposición y transformación de los carbonatos es elevado. También se aprecia la formación de porosidad de gran tamaño ($400\ \mu\text{m}$) en la matriz rojiza. Todos estos componentes muestran una orientación bien definida según la dirección del modelado.

Por otro lado, la muestra extraída de MUSJ (figura 8C y figura 8D) presenta una coloración de la matriz que varía entre el amarillento y otras zonas más oscuras, por acumulación de la fracción fina de arcilla. La presencia de carbonatos en forma de microfósiles es muy abundante, tratándose principalmente de globigerina y algas rojas. Estos microfósiles oscilan entre $200\ \mu\text{m}$ y $300\ \mu\text{m}$, constituyendo los granos de mayor tamaño. El resto de granos, principalmente de cuarzo y filosilicatos, presentan un tamaño aproximado de $100\ \mu\text{m}$. El grado de descomposición y transformación de los carbonatos es elevado.

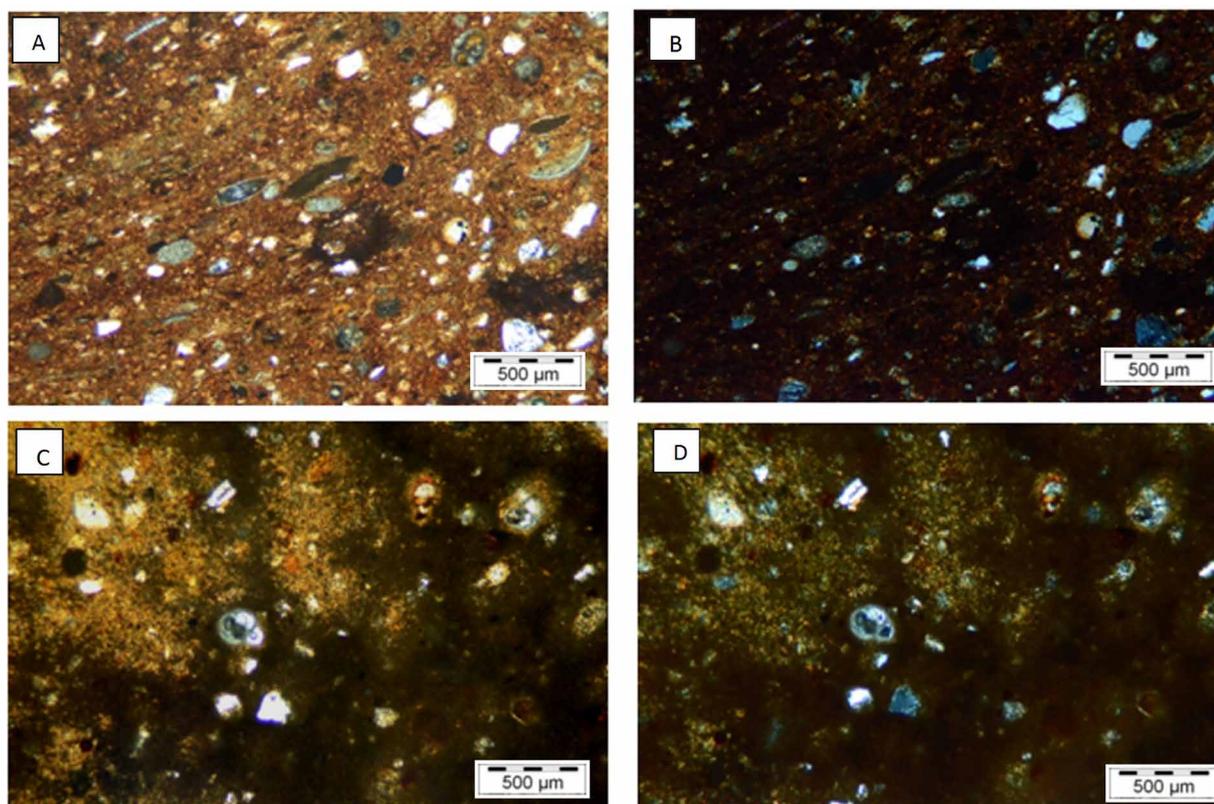


Figura 8. Imágenes de microscopía óptica de polarización de las muestras. A: MUC observada por un solo polarizador. B: MUC observada por nícoles cruzados. C: MUSJ observada por un solo polarizador. D: MUSJ observada por nícoles cruzados.

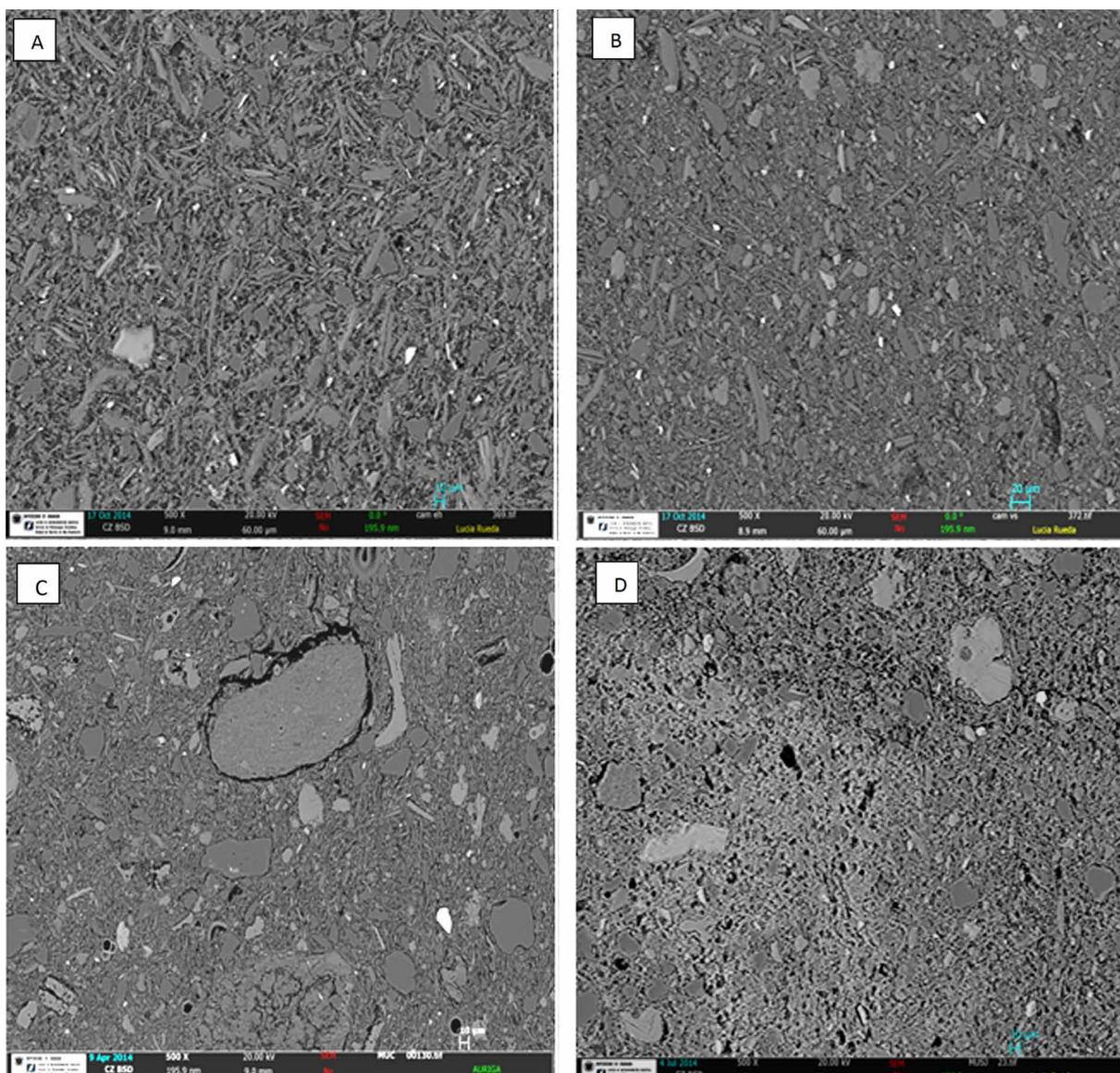


Figura 9. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de las muestras. A: CAM-EH. B: CAM-VS. C: MUC. D: MUSJ.

Microscopía Electrónica de Barrido de Alta Resolución con Análisis de Energía Dispersiva de Rayos X (MEB-EDX)

Con la técnica MEB podemos apreciar que la microtextura de las muestras es muy diferente de unas piezas a otras. La muestra CAM-EH (figura 9A) presenta un aspecto homogéneo destacando la presencia de filosilicatos y desgrasante de granulometría muy similar, con abundantes puentes de unión entre los granos debido a procesos de fusión. La temperatura de cocción ha permitido la formación de una porosidad secundaria. Mediante EDX hemos identificado celestina, apatito, barita, yeso y talco, siendo sus menas metálicas principalmente hematites y oro, con escasa presencia de rutilo.

En el caso de la muestra CAM-VS (figura 9B) encontramos una mayor cantidad de granos aislados que no han formado entre sí uniones por vitrificación de la matriz; aunque en los carbonatos observamos el inicio de formación de porosidad secundaria. Mediante EDX encontramos zircón, apatito, galena, cristales de barita, calcita y dolomita, menas metálicas de rutilo y hematites, y muy escasamente alguna traza de granos de cuarzo con inclusiones de oro.

En el caso de la muestra MUC (figura 9C) la textura y tipo de uniones intergranulares son muy similares a los de CAM-VS añadiéndose, además, fisuras perimetrales alrededor del cuarzo. Mediante EDX se han identificado zircón, barita, hematites y trazas de apatito.

En la muestra MUSJ (figura 9D) si bien la granulometría es más heterogénea, la vitrificación parece algo mayor que en el resto de las muestras, la matriz parece más densa por las zonas de acumulación de fracción fina de arcilla, y hay formación de porosidad secundaria. Mediante EDX se identifica barita, apatito y menas metálicas principalmente formadas por rutilo y hematites.

Ensayos Hídricos (EH)

En los diagramas de absorción y desorción (figura 10) podemos apreciar claramente las diferencias en el nivel y velocidad de absorción libre, el aumento más o menos acusado de absorción forzada y la velocidad y grado de desorción en las dos piezas, junto con el nivel de agua retenida. El comportamiento general es similar; si bien, apreciamos una diferencia significativa: la mayor absorción libre en la muestra MUSJ, que supera en 0,05 a CAM-EH. El comportamiento de ambas muestras en absorción forzada es prácticamente igual; aunque es más rápido y efectivo el secado en la muestra CAM-EH, donde no se observa una disminución de la velocidad, como sí sucede en MUSJ.

Mediante los ensayos hídricos podemos observar que, entre las dos muestras, la que presenta mayores niveles de absorción (Ab y Af) es MUSJ, superando en un 4 % a la muestra CAM-EH (tabla 8). Esta diferenciación está muy influenciada por el tamaño de poro (que veremos más

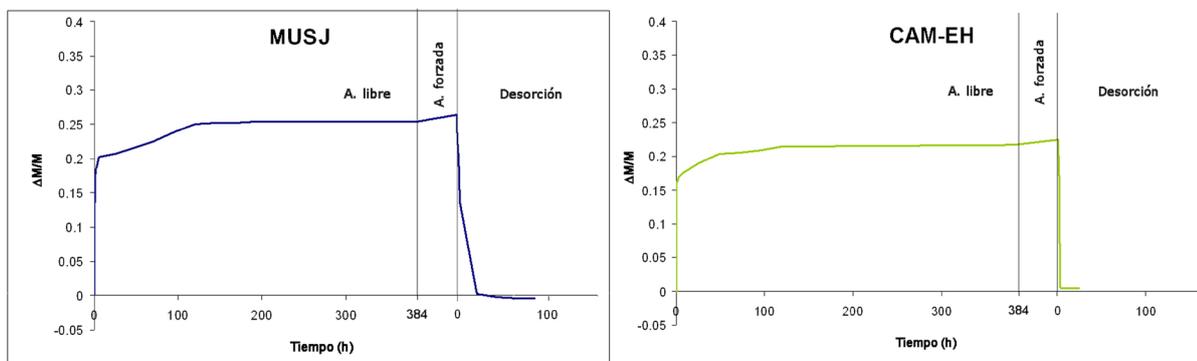


Figura 10. Diagramas de los ensayos hídricos en las muestras MUSJ y CAM-EH.

ENSAYOS HÍDRICOS								
MUESTRA	Ab (%)	Af (%)	Ax (%)	ρb (g/cm³)	ρsk (g/cm³)	S (%)	Di (%)	Po (%)
MUSJ	25,45	26,38	3,66	0,79	1,00	81,79	1,03	20,88
CAM-EH	21,68	22,55	3,99	1,71	2,78	90,59	1,04	38,52
Ab: absorción libre Af: absorción forzada Ax: interconexión de poros ρb: densidad aparente ρsk: densidad real S: Saturación Di: Índice de desorción Po: porosidad abierta								

Tabla 8. Resultado de los ensayos hídricos en las muestras de terracota.

adelante en los resultados de PIM) y el grado de porosidad abierta (P_o), directamente relacionados. El grado de interconexión de poros (A_x) es bastante similar en ambas piezas, aunque algo mayor en CAM-EH. La saturación (S), sin embargo, es bastante superior en CAM-EH. Respecto a los procesos de desorción, se aprecian dos fases de secado (figura 10), más diferenciadas en MUSJ. En una primera fase, conocida con el nombre de secado constante¹³, la estructura porosa no tiene demasiada influencia; sin embargo, al llegar al contenido crítico de humedad¹⁴, experimenta una segunda fase de secado donde la pérdida de agua depende del movimiento interno del vapor, que se desplaza desde los poros internos hacia la superficie¹⁵. Esta segunda fase sí depende del tipo de poros y su grado de interconexión, pudiéndose obtener información importante derivada del índice de desorción (D_i).

Porosimetría de Inyección de Mercurio (PIM)

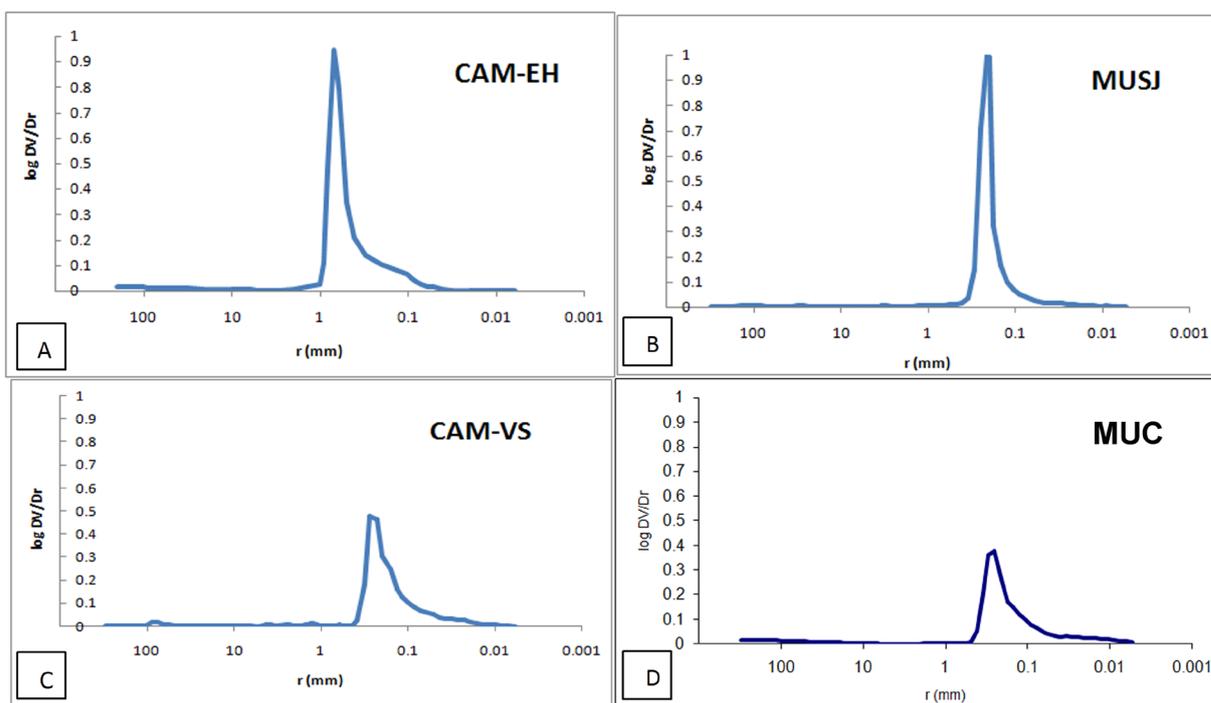


Figura 11. Curvas porométricas de las muestras A- CAM-EH, B- MUSJ, C- CAM-VS y D- MUC.

En los diagramas de porosimetría todas las muestras presentan curvas de distribución unimodal, y en todos los casos se aprecia una segunda familia de poros hacia tamaños más pequeños (figura 11). Sin embargo, hay ciertas diferencias entre ellas. Mientras que la porosidad predominante en las muestras CAM-VS, MUC y MUSJ es de un diámetro alrededor de $0,2 \mu\text{m}$, en la muestra CAM-EH es de $0,7 \mu\text{m}$. Con respecto al volumen total de porosidad, las muestras más porosas son CAM-EH y MUSJ, y las que presentan un volumen de porosidad parecido son CAM-VS y MUC.

Atendiendo a los datos numéricos que se presentan en la tabla 9, el volumen de área total de poro menor lo presenta CAM-EH, con $3 \text{ m}^2/\text{g}$, cuando el resto de muestras oscilan entre

¹³ Scherer, 1990.

¹⁴ Kirk-Othmer, 2004.

¹⁵ Scherer, 1990.

POROSIMETRÍA DE INYECCIÓN DE MERCURIO				
MUESTRA	Área total de poro (m ² /g)	ρ_{sk} (g/cm ³)	ρ_b (g/cm ³)	Po (%)
CAM-EH	3,10	2,55	1,47	42,31
CAM-VS	6,88	2,52	1,67	33,84
MUC	9,02	2,61	1,75	32,96
MUSJ	7,94	1,63	2,53	35,81
ρ_{sk} : densidad real ρ_b : densidad aparente Po: porosidad abierta				

Tabla 9. Resultado extraído de las medidas de porosimetría de inyección de mercurio.

7 y 9 m²/g. La relación entre la densidad real (ρ_{sk}) y aparente (ρ_b) es similar a la obtenida en los ensayos hídricos. Las variaciones que se observan se deben a las diferencias entre estas dos técnicas de análisis. Los datos de densidad real son compatibles con la mineralogía de las muestras determinada por DRX; variando principalmente el valor de la muestra MUSJ por un contenido en cuarzo más alto. Respecto a la porosidad abierta (Po), todas las muestras tienen porcentajes parecidos, siendo algo superior en CAM-EH, lo que implica mayor interconexión de poros. Estos datos corroboran los obtenidos mediante ensayos hídricos (tabla 8). Tanto el grado de porosidad abierta como el tamaño de poro influyen en la circulación de agua dentro de cada muestra, favoreciendo la absorción, la saturación y la eliminación del agua en la segunda fase de secado, con lo que podemos establecer la relación entre las muestras MUSJ y CAM-EH que presentan mayores niveles de absorción de agua y un tamaño de poro mayor y más abundante.

Radiología Computarizada Digital (RC)

Mediante la observación de la radiografía podemos estudiar aspectos y detalles constructivos de gran significación. Por un lado, podríamos resolver cuestiones de especial complejidad cuando estas no se pueden comprobar a simple vista o con endoscopio, como sería el caso del grupo escultórico de la *Virgen del Carmen* (figura 12). Por otro, podrían descubrirse posibles defectos o deterioros no detectables mediante examen organoléptico. Con este estudio hemos resuelto el sistema de elaboración de la pieza, sin duda de especial interés en ambos aspectos. Desde el punto de vista constructivo, la tecnología de creación consiste en la elaboración de distintas piezas realizadas de manera independiente para luego ser unidas, no podemos afirmar categóricamente si antes o después de la cocción en todas ellas. La nube, junto con las cabezas de ángeles, se ha modelado en una misma pieza, ahuecada manualmente (se aprecian huellas de dedos). Cabeza, brazos, cuerpos y manos, en ambas figuras, han sido modelados por separado, con la única seguridad de que las manos han sido cocidas previamente a su unión mediante pernos metálicos. Las cabezas de ambas figuras han sido seccionadas a nivel de la mascarilla para su ahuecado previo a la cocción. Los cuerpos, brazos, piernas y manos son macizas. Una vez ensambladas las diferentes piezas para conformar cada escultura, se han aplicado las telas encoladas que se corresponden con las vestiduras. En el caso de la Virgen, no se aprecia ningún sistema de unión y/o sujeción de esta con la nube; posiblemente su único punto de unión sean los adhesivos de las telas encoladas, de ahí que esto pueda suponer un problema de estabilidad a medio o largo plazo y afectar a su estado de conservación.



Figura 12. radiografía digital computarizada de la figura de la Virgen del Carmen, del grupo Virgen del Carmen entregando el escapulario a San Simón Stock.

Conclusiones

Como ya hemos comentado en varias ocasiones a lo largo de este trabajo, hemos estudiado las obras atendiendo exclusivamente al soporte de la escultura en terracota policromada, ya que su composición y tecnología de creación influyen de manera más directa, si cabe, que en otros soportes, en el estado general de conservación de la obra de arte acabada. Indudablemente también influyen los procedimientos específicos de policromado y las condiciones ambientales, pero es de reconocer que el soporte ejerce una influencia decisiva y determinante en todo el proceso evolutivo de los materiales que la constituyen.

A partir de los estudios analíticos para caracterizar el material, podemos conocer la tecnología de creación y detectar posibles causas de deterioro. Con la caracterización vamos a conocer la elección, selección y tratamiento previo de las tierras arcillosas, indiscutiblemente elementos imprescindibles para determinar el resultado final de la obra y su durabilidad. Y, además, podemos determinar tanto la tecnología de creación como los deterioros derivados de ella. Por ejemplo, la especial manera de trabajar de cada artista, de cómo ha conformado la estructura, modelado y compactado el material, su proceso de ahuecado, condiciones de cocción, etc.

Ecce-Homo

Arcilla compactada a partir de pellas pequeñas pero bien prensadas entre ellas. En origen, la selección de la propia arcilla y su procesado es de la mejor calidad, de masa muy homogénea, grano muy pequeño, poca porosidad bien repartida y con mucha fusión intergranular que le aporta gran resistencia por vitrificación. La arcilla ha sido cocida por encima de 800° C, indicado por la presencia de gehlenita. La proporción elevada de filosilicatos indica una buena plasticidad, que compensa con el volumen de cuarzo que le aporta consistencia a la masa, traduciéndose en una arcilla muy plástica y que no contrae. En su sistema poroso detectamos un tamaño de poro relativamente grande y regular, buena densidad de la masa y una adecuada interconexión de poros; lo que procura un secado rápido en el caso de presencia de agua en su interior, que se traduce en una mínima influencia de la humedad relativa ambiental, afectándole no solo en menor grado sino que se reduce su penetración por capilaridad. De todo esto puede deducirse que el estado de conservación es altamente estable, ya que sus características físicas y químicas

propician una buena durabilidad, minimizando deterioros causados por aparición de grietas de contracción, roces y desgastes, y otros efectos causados por la presencia de humedad o ambientes contaminantes. Su sistema poroso, al ser más cerrado, puede condicionar posibles tratamientos de restauración, indicando que sería necesario el uso de consolidantes de menor tensión superficial, menor tamaño molecular, menor viscosidad o concentración baja. Esto podría suponer un tratamiento más lento y la necesidad de aplicar grandes cantidades de disolvente, pero no sería obstáculo ya que el propio soporte favorecería su rápida eliminación. Incluso podría ser susceptible de aplicarse lavados, de ser necesarios. En caso de rotura, su porosidad no influiría en la elección del adhesivo, además tiene suficiente dureza por vitrificación lo que minimizaría el riesgo de fractura y disgregación por las zonas perimetrales a la adhesión.

Virgen del Carmen entregando el escapulario a San Simón Stock

Arcilla bien compactada, con un prensado de pellas bastante alto que, incluso, impide su visualización. Su estructura y tecnología de creación ya ha sido extensamente explicada en el apartado de resultados de la RC, por lo que solo indicaremos su elaboración por piezas separadas, con una cocción menor a los 800° C determinada por la alta presencia de calcita y dolomita. Tamaños de grano muy pequeño y heterogéneo, poca unión intergranular, que confiere a la masa escasa resistencia. Tiene una buena proporción entre filosilicatos y cuarzo, pero escasa con respecto al resto de la masa por lo que no consigue aportar una buena resistencia y plasticidad; también está condicionada por la escasa vitrificación de la matriz. Su grado de porosidad es muy bajo pero el tamaño de poro es muy pequeño, lo que provocaría una mayor retención del agua absorbida. Esto supondría problemas en presencia de humedad relativa excesivamente alta, por su dificultad en la eliminación del agua contenida en su interior, y podría provocar problemas por eflorescencias salinas. Al ser poco resistente, es más susceptible de roturas, pérdidas, desgastes y roces. Si se necesitara una consolidación, el grano y tamaño de poro no facilitarían el adecuado tratamiento en profundidad. En el caso de roturas, habría que consolidar previamente el soporte de manera local antes de aplicar el adhesivo correspondiente. En ningún caso admitiría lavado.

Cristo Caído

A pesar de estar ahuecado con herramientas, la compactación de las pellas es tan poco consistente que se puede apreciar a simple vista su unión, lo que ha provocado fisuras por contracción en el proceso de secado y cocción, y que fueron reparadas en origen. Tamaño de grano muy heterogéneo con poca interconexión granular y alta cantidad de microfósiles, lo que eleva la cantidad de carbonatos, dando como resultado una arcilla de poca calidad, presumiblemente poco plástica desde su origen. Todo esto, sumado a un grado de cocción inferior a 800° C, reafirma que la pieza no fue concebida como obra final sino como boceto (como ya se suponía en su estudio histórico-artístico no reseñado en este trabajo), a diferencia de las demás. Fácilmente desgranable, favorece roturas con fragmentación, desgastes y roces. Su grado de porosidad es muy bajo con un tamaño de poro muy pequeño, por lo que le afectaría una humedad relativa excesivamente alta por su dificultad en la eliminación del agua de su interior. Tiene iguales comportamientos y condicionantes, en cuanto a tratamientos de consolidación y adhesión de posibles roturas o fragmentos, que el grupo escultórico de la *Virgen del Carmen*. En ningún caso admitiría lavado.

San José con el Niño

Ahuecado con herramientas, pellas bien compactadas imperceptibles a simple vista. Composicional y granulométricamente muy heterogéneo. Presencia de microfósiles que eleva la cantidad

de carbonatos; lo que, unido a la baja cantidad de desgrasantes, redonda en una baja resistencia. Esto se suma a una baja temperatura de cocción, inferior a 800° C, por la identificación de calcita y dolomita. Porosidad muy pequeña y abundante debida a la cantidad de grano fino de arcilla, lo que no mejora la interconexión entre granos sino que favorece una mayor absorción de agua y una peor eliminación de la misma, con cierto grado de retención. Contiene esmectitas (arcillas hinchables) posiblemente causa directa de la acusada separación entre el soporte y los estratos policromos superpuestos, y que ha dificultado el proceso de fijación. Al ser poco resistente ha sido más susceptible de roturas, pérdidas, desgastes y roces. Sus características físicas y químicas han influido en su tratamiento. Han marcado como condicionante el hecho de requerir una consolidación local previa del soporte antes de aplicar el adhesivo correspondiente tanto para la unión de fragmentos como para la reintegración de pérdidas. Por esto mismo, tampoco ha admitido el uso de fijativos de base acuosa para el tratamiento de consolidación de los estratos de policromía. Aunque en este caso no se ha realizado una consolidación general del soporte, en el caso de necesitarla, el grano y tamaño de poro no facilitaría el adecuado tratamiento en profundidad ya que, aunque absorbería bien, retendría mayor tiempo el disolvente. En ningún caso admitiría lavado.

Con este trabajo demostramos que es incuestionable la capacidad resolutive que adquieren los estudios analíticos, y cómo disipan dudas y aspectos específicos tanto desde el punto de vista de la tecnología de creación como de detección de fuentes o causas de deterioro intrínsecos al material constitutivo del soporte. Los deterioros sufridos por las piezas se relacionan directamente con la composición y su tecnología de elaboración, y condicionan de manera decisiva tanto los tratamientos de restauración, como la selección de procesos y materiales.

Bibliografía

- BARAHONA, E.; HUERTAS, F.; POZZUOLI, A., y LINARES, J. (1985): «Firing properties of ceramic clays from Granada province, Spain», in *Mineralogica Petrographica Acta*, vol. 29.^a, pp. 577-590.
- BERMÚDEZ SÁNCHEZ, C. (1996): «Métodos de análisis y técnicas de ensayo aplicadas al conocimiento del patrimonio histórico», en *Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los Bienes Muebles*. Granada: Universidad de Granada e IAPH.
- CIRUJANO GUTIÉRREZ, C., y LAGUNA PAÚL, T. (2010): «Aproximación técnica a las esculturas renacentistas en barro cocido de Miguel Perrin», en *Laboratorio de arte*, vol. 22, pp. 33-50.
- CULTRONE, G. (2001): *Estudio mineralógico-petrográfico y físico-mecánico de ladrillos macizos para su aplicación en intervenciones del Patrimonio Histórico*. Granada: tesis doctoral Universidad de Granada.
- DE LA FUENTE, C.; QUERAIT, I. y SANTFELIU, T. (1990): «Transformaciones mineralógicas en los procesos cerámicos y su aplicación en el control de calidad», en *Qualicer World Congress con ceramic tile quality*. Generalitat Valenciana.
- DUMINUCO, P.; MESSIGA, B.; RICCARDI, y M. P. & SETTI, M. (1996): «Modificazioni tessiturali e mineralogiche come indicatori della dinamica del processo di cottura di manufatti ceramici», in *Ceramurgia*, vol. 26, n.º 5, pp. 281-288.
- EN-13755 (2008): *Metodi di prova per pietre naturali. Determinazione dell'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica*. Roma: CNR-ICR.

- GARZÓN CARDENETE, JOSÉ LUIS (2005): *Cerámica de Fajalauza*, Granada: Ed. Garzón Cardenete.
- GONZÁLEZ GARCÍA, F.; ROMERO ACOSTA, V.; GARCÍA RAMOS, G., y GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, M. (1990): «Firing transformation of mixture of clays containing illite, kaolinite and calcium carbonate used by ornamental tile industries», in *Applied Clay Science*, vol. 5, pp. 361-375.
- KRETZ, R. (1983): «Symbols for rock-forming minerals», in *American Mineralogist*, vol. 68, pp. 277-279.
- KIRK-OTHMER, J. (2004): *Encyclopaedia of Chemical Technology*. Ed. Wiley.
- LAGUNA PAÚL, T. (2007): «Miguel Perrín, imaginero de barro al servicio de la Catedral de Sevilla», en *Nuevas perspectivas críticas sobre la historia de la escultura sevillana*, coord. CANO RIVERO, I., y GÓMEZ PIÑOL, E. Sevilla, pp. 83-105.
- MARTÍN RAMOS, J. D. (2004): «Using X Powder, a software package for powder X-ray diffraction analysis», in *DL GR*, vol. 1001, n.º 4, p. 105.
- MEGÍAS LÓPEZ, R. (1991): *Tradición y técnica de la terracota en Andalucía*. Granada: tesis doctoral Universidad de Granada. Departamento de Dibujo, Pintura y Escultura, s/e.
- Normal 29/88 (1988): *Misura dell'indice di asciugamento (drying index)*. Roma: CNR-ICR.
- PARRAS, J.; SÁNCHEZ JIMÉNEZ, C.; RODAS, M., y LUQUE, F. J. (1996): «Ceramic Application of middle Ordovician shales from central Spain», in *Applied Clay Science*, vol. 11, n.º 25, pp. 25-41.
- RILEM (1980): «Recommended test to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods» in *Materials and Structures*, vol. 13, pp. 175-253.
- SCHERER, G. W. (1990): «Theory of drying», in *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 73, pp. 3-14.