

## Reconstrucción virtual de color sobre la policromía del alfarje y yeserías del patio de las Doncellas

Ana Cristina Coba Peña **01**| Ana Isabel Calero Castillo **01**| Francisco José Collado Montero **01**| Ariadna Hernández Pablos **01**| Víctor Medina Flórez **01**

El presente artículo muestra la metodología empleada y los resultados obtenidos en la elaboración de paletas de colores virtuales, basadas en medidas de color (sistema CIE L\*a\*b\*) de policromías mediante espectrofotómetro para su uso en reconstrucciones y reintegraciones virtuales de revestimientos de tradición islámica. Los colores estandarizados de los programas de gestión de imagen resultan pobres y al cambiar el tipo de salida del archivo pueden ser modificados. Ante la imposibilidad de tomar los valores cromáticos directamente de las policromías a reproducir (por su relieve, mínima extensión, deterioro o inviabilidad de decapado por procesos mecánicos), y basándonos en experiencias anteriores del equipo en el estudio del color, decidimos usar para la medición fuentes externas elaboradas a partir del estudio de los materiales originales: probetas y cartas de color. Aquí mostramos los resultados obtenidos en el caso del estudio y reconstrucción cromática de las yeserías y alfarje del patio de las Doncellas (Real Alcázar de Sevilla).

### Palabras clave

Espectrofotómetro | Pigmento | Policromía | Reconstrucción | Virtual |

## Virtual color reconstruction on the polychrome of the paneled ceiling and plasterwork of the Maidens courtyard

Ana Cristina Coba Peña **01**| Ana Isabel Calero Castillo **01**| Francisco José Collado Montero **01**| Ariadna Hernández Pablos **01**| Víctor Medina Flórez **01**

This article shows the methodology used and the results obtained in the development of virtual colour palettes, based on polychrome by spectrophotometer measurements (CIE L\* a\* b\*), for its use in virtual reconstruction and virtual retouching or reintegration of Islamic tradition coatings. The standard colours of image management programs are poor and can be modified if the file is changed by the output type. If we are unable to take colour values directly from polychrome to reproduce (due to its relief, deterioration or infeasibility to strip the paintings by mechanical procedures) and based on ours previous experience in the colour study, we decided to use external measuring sources whose process of execution is based on the study of original materials: test samples and colour charts. Here we report the results obtained in the case of the study and the chromatic reconstruction of plasterwork and the paneled ceiling of the Maidens Courtyard (Royal Alcazar of Seville).

### Key words

Spectrophotometer | Pigment | Polychromy | Reconstruction | Virtual |

URL de la contribución <<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/132>>

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo se sitúa en la línea de otros emprendidos en el seno del grupo de investigación Laboratorio de Arqueología y Arquitectura de la ciudad (HUM 104). La experiencia de nuestro equipo en el campo del estudio del color (COLLADO MONTERO; MEDINA FLÓREZ; GARCÍA BUENO, 2007) y en la realización de gráficos aplicados al estudio del patrimonio islámico (GARCÍA BUENO; HERNÁNDEZ PABLOS; MEDINA FLÓREZ, 2010: 257-267) nos ha demostrado que la gama de colores básica presente en los programas de gestión de imagen resulta muy reducida, artificial y escasa de matices a la hora de captar el efecto que producen los acabados policromos reales de los revestimientos de tradición islámica. Además, estos colores pueden resultar modificados al cambiar el tipo de salida del archivo generado (monitor, *software*, impresora...). Por ello era necesario plantearse algún modo de obtener información cromática que permitiera una plasmación gráfica más realista de dichas reconstrucciones virtuales y que fuera más objetiva.

El objetivo de ese artículo es presentar la metodología desarrollada por nuestro equipo a la hora de elaborar paletas de color para su uso en contextos virtuales. Dichas paletas están basadas en la “especificación” del color de policromías mediante el uso de un espectrofotómetro marca Minolta mod. 2600d empleando los parámetros de cromaticidad CIE L\*a\*b\*. Los resultados obtenidos nos permiten realizar reconstrucciones y reintegraciones virtuales de los revestimientos de tradición islámica que investigamos.

Se presentan en el texto las paletas virtuales de color realizadas a partir de los materiales identificados en la policromía del alfarje y yeserías del patio de las Doncellas, así como la reconstrucción cromática correspondiente al s. XIX, tomando como ejemplo una zona del arco del paño de yeserías que decora el acceso al salón del Techo de Carlos V y de uno de los escudos heráldicos situado en la zona del alfarje coincidente con el acceso a esta estancia, ambos situados en dicho patio.

El patio de las Doncellas forma parte de las obras llevadas a cabo por Pedro I en el Alcázar entre 1356-1366 y tiene gran importancia dentro del conjunto palaciego, ya que se configuró como eje principal del mismo, alrededor del cual se articulan las estancias dedicadas a la actividad pública del monarca (PAVÓN, 1988).

El palacio de Pedro I se puede considerar uno de los edificios más representativos del arte mudéjar, ya que para su decoración acudieron a la ciudad un gran número de artesanos que trabajaron en consonancia con los artistas locales, dotando al conjunto de una belleza

y originalidad que se conserva en la actualidad, a pesar de las intervenciones a las que el conjunto ha estado sometido. Junto a alarifes granadinos, fruto de la conocida relación de Pedro I con el monarca Muhammad V, trabajarían artistas conocedores del arte meriní de marruecos así como toledanos (FERNÁNDEZ-PUERTAS, 1983), convirtiéndose la obra en un compendio de las tradiciones hispanomusulmanas y las nuevas experiencias nazaríes (MORALES, 2006: 233).

El inmueble presenta también la particularidad de que ha sido vivienda permanente de la realeza española, incluso hasta la actualidad; debido a este uso son numerosas las modificaciones a las que se ha visto sometido. Esta circunstancia ha propiciado que muchos acabados originales se encuentren ocultos bajo sucesivas intervenciones y remodelaciones. Dichas intervenciones se agudizan en las policromías donde se tiene la certeza de sucesivos repolicromados, en revestimientos de madera y yeserías, algunas de ellas perfectamente datadas (LÓPEZ CRUZ; GARCÍA BUENO; MEDINA FLÓREZ, 2011: 163-178).

Las yeserías y el alfarje de las galerías bajas del patio de las Doncellas también han sido partícipes del cambio que ha sufrido el conjunto: entre las transformaciones más importantes del patio están las acometidas en el siglo XVI, cuando fue incorporado un cuerpo superior renacentista y se enlosó el patio, quedando oculto el primitivo jardín rehundido mudéjar (MARIN, 1990). También en el siglo XIX se lleva a cabo una restauración histórica, en la que se limpia y repolicroma gran parte de la superficie decorada en la que se vio afectada la decoración arquitectónica de esta zona, especialmente las yeserías y el alfarje de las galerías bajas (CHÁVEZ, 2004).

## METODOLOGÍA

El principal reto metodológico al que nos enfrentábamos era el hecho de la imposibilidad de tomar valores de los colores correspondientes a las diferentes policromías directamente de las obras a reproducir virtualmente, debido a cuatro problemas principales: el primero viene determinado por el relieve que suelen presentar los revestimientos de tradición islámica, que dificulta que el instrumental recoja los datos con garantías; el segundo se plantea por el hecho de que con la medición del color superficial sólo se podrían captar los datos de la policromía aparente, es decir del último estrato pictórico aplicado a la obra, por lo tanto, no podríamos estudiar la evolución cromática del revestimiento; el tercer problema está relacionado con los dos anteriores, se trata de la imposibilidad de ejercer un decapado mecánico directo sobre el revestimiento histórico que permita contar con la superficie necesaria como para realizar las mediciones; por último, tampoco era

## 1

En el caso puntual del verde esmeralda, ha sido necesaria la utilización de cartas de color manufacturadas dado que se trata de un material fuera del mercado debido a su elevada toxicidad.

## 2

En el caso de ciertos pigmentos se producen variaciones de color con el paso del tiempo. De los identificados en el Alcázar de Sevilla es de destacar la desviación de color que sufre el pigmento verde esmeralda, que en presencia de Cl varía hacia un color azul lavanda (LOPEZ; VELILLA, 2014).

factible recabar la información de las muestras milimétricas y extraer la información obtenida directamente de las imágenes conseguidas mediante lupa binocular o microscopía óptica, ya que las diferentes capas de policromía están deterioradas por el tiempo y en muchos casos tratadas con aceites y resinas que han oscurecido y modificado los colores originales.

Por todo lo anteriormente relatado hubo que buscar una alternativa a la recogida de datos cromáticos de la obra real.

Adaptando la metodología empleada por nuestro equipo en investigaciones anteriores (COLLADO MONTERO; MEDINA FLÓREZ; GARCÍA BUENO, 2007) y las experiencias de otros investigadores en este campo (DUMAZET; CALLET; GENTY, 2008: 208-209; CASADEVALL, 1999: 118, 136-137), la opción que nos pareció más adecuada fue realizar una recopilación o biblioteca de caracterizaciones de pigmentos similares a los encontrados en contextos reales mediante el uso de fuentes externas de información cromática. Esta recopilación proviene principalmente de probetas realizadas con técnicas de ejecución y pigmentos de tradición histórica a partir de los datos obtenidos en estudios de casos anteriores, como por ejemplo, el del alero de la fachada del palacio de Pedro I (LÓPEZ CRUZ; GARCÍA BUENO; MEDINA FLÓREZ, 2011; LÓPEZ CRUZ; GARCÍA BUENO; MEDINA FLÓREZ et ál., 2015) o el oratorio de la Madraza de Granada entre otros (GARCÍA BUENO; MEDINA FLÓREZ; GONZÁLEZ SEGURA, 2010), así como el que nos concierne en este artículo: la portada de yeserías que decora el acceso al salón del Techo de Carlos V en el patio de las Doncellas y la zona del alfarje de las galerías bajas coincidente también con el acceso a dicha estancia<sup>1</sup>.

La principal ventaja de este método, a diferencia de otros que utilizan las paletas comerciales para la reconstrucciones de sus trabajos (BORST, 2006: 43), es que ha permitido obtener datos colorimétricos bastantes cercanos a la policromía realizada en el siglo XIX. En este sentido, la realización de probetas de color con materiales muy similares a los originales permite caracterizar la policromía evitando los cambios de color que se producen en los revestimientos por el envejecimiento, oscurecimiento o degradación de los materiales originales entre otros<sup>2</sup>; lo que es fundamental para la caracterización de los bienes culturales a digitalizar (PEREIRA, 2013: 162). Además, así se contribuye a evitar la digitalización o reconstrucción del color en el patrimonio de una forma banal y sensacionalista (RASCÓN; SÁNCHEZ, 2008: 31).

De esta forma, a través del medio digital se ofrece una visión científica del aspecto que presenta el patrimonio, convirtiendo la información obtenida y aplicada en la reconstrucciones gráficas y colorimétricas,

en conocimiento al alcance tanto del espectador como a profesionales del sector que puedan utilizar las paletas de color generadas en sus propios trabajos (COLORADO, 2003: 44).

## Fase 1: revisión bibliográfica y documental

### Revisión de intervenciones realizadas en el patio

Ha consistido en una investigación exhaustiva de todas las circunstancias históricas e intervenciones documentadas que se han sucedido desde su construcción. Este trabajo fue posible gracias a la consulta de todos los documentos de investigación y publicaciones relacionadas con el conjunto palatino. En esta fase se puso especial atención a la revista *Apuntes del Alcázar de Sevilla*, que se edita desde el año 2000 por el Patronato del Real Alcázar y la Casa Consistorial de Sevilla para difundir las labores de restauración e investigación promovidas en el recinto.

### Revisión de materiales y tipologías estructurales y decorativas

La documentación técnico-material se encuentra orientada al conocimiento previo de los materiales, así como a los procesos de ejecución. Esta parte del trabajo ha sido fundamental para determinar el estado de conservación de la obra, así como para reconocer las posibles intervenciones sobre la obra original.

## Fase 2: trabajo de campo

### Documentación fotográfica

Se ha procedido a un barrido completo de la superficie decorativa mediante fotografías generales, parciales y de detalle de todos los elementos decorativos (imágenes 1 y 2). Esta documentación ha servido



**Imagen 1]**  
Fotografía general de la zona del alfarje y yeserías que tenemos como motivo de estudio

de base para la localización de muestras, estado de conservación, el análisis de la superficie decorativa y la reconstrucción gráfica. Se ha puesto especial interés tanto en las patologías más significativas como en la identificación y localización de la policromía conservada.

La recopilación de fotografías es imprescindible en la documentación y estudio de los bienes culturales pues facilita su preservación así como el conocimiento de piezas o lugares poco accesibles como ocurre en el caso de las yeserías y el alfarje (SANTOS, 2014: 104; MARTÍNEZ; MUÑOZ, 2002: 101).

### Toma de mediciones

Toda la superficie decorativa a estudiar ha sido rigurosamente medida mediante una cinta métrica convencional para distancias cortas y un distanciómetro láser con un rango de medición de 60 metros y un margen de error de  $\pm 1,5$  milímetros para distancias grandes (imagen 3).

### Elaboración de calcos

La accesibilidad a la decoración del paramento decorativo ha permitido que se realizaran una serie de calcos directos de la decoración en yeso en todas las zonas donde fue posible. Los dibujos obtenidos han sido una herramienta fundamental para elaborar la reconstrucción gráfica de esta decoración en concreto debido a su complejidad. Estos calcos se realizaron de aquellas zonas especialmente interesantes y en módulos decorativos repetitivos, siempre que la accesibilidad desde el andamio nos lo ha permitido (imágenes 4 y 7).

La zona del alfarje, debido a su horizontalidad, ha imposibilitado la realización de calcos *in situ* (a excepción del friso) por lo que únicamente se ha analizado la decoración mediante la toma de fotografías de detalle y generales que han permitido la elaboración de gráficos posteriormente.

### Toma de muestras

Realizada una minuciosa observación de toda la superficie decorativa, se ha procedido a la toma de muestras (imágenes 5 y 6). El trabajo que se había realizado previamente nos ha permitido elegir aquellas zonas significativas de las que extraer la mayor información posible. Se tomaron muestras de diferentes puntos del conjunto con el objetivo de poder corroborar los resultados obtenidos. Para el estudio de este paño de yeserías se han seleccionado 65 muestras. En el caso del alfarje, el número de muestras tomadas en esta zona ha sido de 15.

### Fase 3: trabajo de laboratorio

#### Estudio de materiales

Las muestras extraídas de la policromía de ambos paramentos deco-

#### Imagen 2|

Detalle correspondiente a uno de los paños de yeserías

#### Imagen 3|

Medición de zona del alfarje mediante cinta métrica común

#### Imagen 4|

Realización de calco sobre uno de los motivos decorativos que compone las yeserías

#### Imágenes 5 y 6|

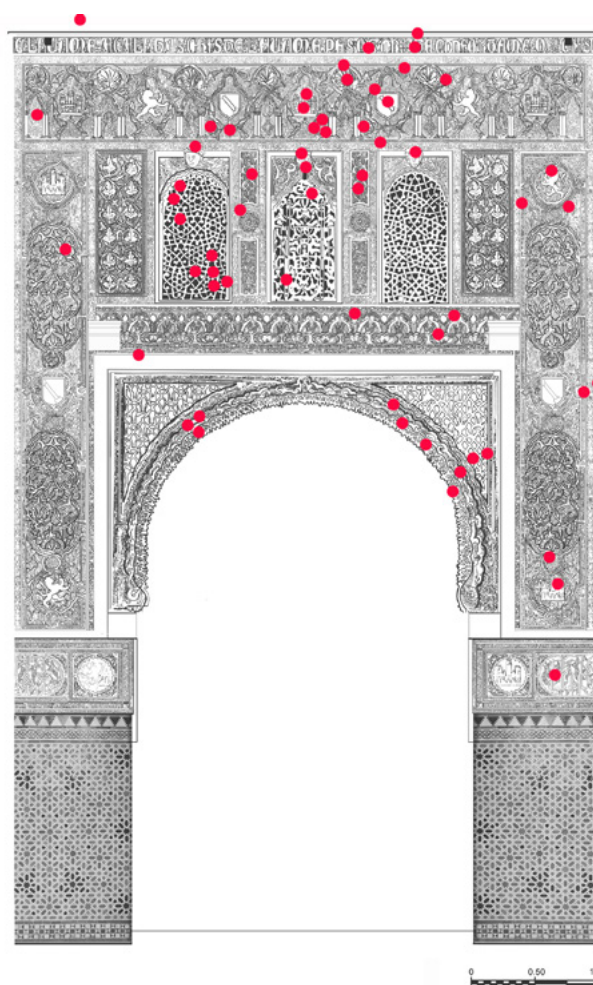
Proceso de toma de muestras en zonas del alfarje y yeserías



COBA PEÑA, A. C.; CALERO CASTILLO, A. I.; COLLADO MONTERO, F. J.;  
 HERNÁNDEZ PABLOS, A.; MEDINA FLÓREZ, V. (2016)  
 Reconstrucción virtual de color sobre la policromía del alfarje y yeserías del  
 patio de las Doncellas [en línea], n.º 7, diciembre de 2016, pp. 1-23  
 <<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/articler/view/132>>

### Imagen 7|

Gráfico representativo de la portada del salón del Techo de Carlos V realizado a partir de la documentación fotográfica y calcos obtenidos, donde se han señalado las distintas muestras extraídas



3

Servicio de Microscopía Electrónica del Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada.

4

El estudio de aglutinantes se llevó a cabo en tres muestras referentes a las yeserías y 6 muestras referentes al alfarje. Análisis efectuados por el Dr. Enrique Parra Crego (Laboratorio Larco Química y Arte, Madrid).

rativos, han sido estudiadas mediante las siguientes técnicas de análisis instrumentales:

- > Microscopía estereoscópica para un primer análisis visual con el objetivo de seleccionar las muestras que contengan mayor cantidad de información.
- > Preparación de muestras mediante probetas pulidas y láminas.
- > Microscopía óptica para la Identificación de estratos y aspectos relativos a la textura.
- > Microscopía electrónica de barrido (SEM) mediante imágenes de electrones secundarios, retrodispersados y de microanálisis puntuales por dispersión de energía de rayos X (EDX)<sup>3</sup>.
- > Cromatografía en fase gaseosa (GC) y Espectroscopía IR por transformada de Fourier (FTIR) para la determinación aglutinantes y barnices<sup>4</sup>.
- > Difracción de rayos X con el objetivo de identificar los materiales que componen el mortero de las yeserías.

Dichos análisis han sido imprescindibles no sólo para la caracterización de los materiales sino para poder reproducir, a partir de ellos, los acabados cromáticos de las probetas objeto de estudio. En las tablas 1 y 2 se muestra el total de los materiales identificados en las muestras estudiadas a partir de las técnicas descritas.

### Elaboración de probetas

Los resultados obtenidos durante los estudios anteriores nos permitieron proceder a la elección de aquellas técnicas y materiales identificativos de la decoración arquitectónica de tradición islámica. De esta forma, los resultados obtenidos no solo sirven para el caso concreto que nos ocupa sino que son extrapolables a otras obras de similar cronología. En este caso se seleccionaron tanto aquellos representativos de la obra original, como de los repolicromados que se realizan en épocas posteriores. A partir de ellos, se han realizado una serie de probetas que imitan la policromía de los dos elementos decorativos que tenemos como motivo de estudio. Estas probetas se han realizado siguiendo, en la medida de lo posible, la normativa UNE<sup>5</sup> referentes a probetas de ensayo.

#### > Probetas de yeso

En el caso de las probetas que reproducen la policromía presente en las yeserías, la elección de estos materiales y técnicas se trasladó a la realización de 13 probetas en las que se han aplicado 12 pigmentos diferentes (algunos mezclados entre sí), cuatro tipos de aglutinantes (cola animal, goma arábiga, aceites y resinas según los casos) y dos tipos de capas metálicas; lo que supone un total de 24 acabados cromáticos (imagen 16).

El soporte para la elaboración de las probetas ha sido ladrillo cerámico, revestido de mortero de yeso, con una superficie de 23.5 x 11.5 x 2.7cm. Según los resultados obtenidos en el estudio de materiales se acordó que el mortero de base estuviera compuesto por un 95% yeso ( $\text{CaSO}_4$ ) y un 5% calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), empleada probablemente como retardador del fraguado en los mortero originales. La presencia de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) aparece de forma tan minoritaria (en torno al 1-4) que se ha desestimado como componente fundamental del mortero.

#### > Probetas de madera

En lo referente al alfarje, se han elaborado 28 probetas a partir de los materiales identificados en su capa de policromía. La base de la probeta es de madera similar a la del alfarje que tenemos como motivo de estudio (conífera) y cuenta con unas dimensiones de 8x5,5x2,5 cm. Se ha realizado una probeta por cada tipo de pigmento, capa de preparación y aglutinante. La superficie policromada obtenida de cada una de las probetas se ha dividido en dos zonas, aplicando en una de ellas el

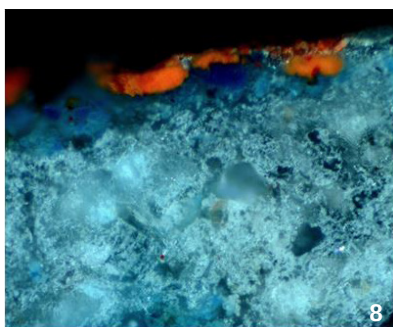
5  
UNE 67030:1985. Ladrillos de arcilla cocida: medición de las dimensiones y comprobación de la forma. UNE-EN 15886:2011. Conservación del Patrimonio Cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies.

**Tabla 1. Materiales que constituyen la policromía de las yeserías**

ESTUDIO DE PIGMENTOS	
Azules	Azurita natural, azurita artificial, azul ultramar artificial y azul esmalte
Rojos	Tierra roja, rojo de plomo y cinabrio/bermellón
Verdes	Malaquita y verde esmeralda
Blancos	Calcita, blanco de plomo y blanco de titanio
Negros	Negro de carbón vegetal y marfil
Amarillos	Amarillo de plomo, amarillo de cromo y ocre amarillo
Capa metálica	Láminas de oro puras Aleaciones con presencia de otros metales como plata, cobre y plomo
ESTUDIO DE AGLUTINANTES	
Estratos inferiores	Cola animal
Estratos superiores	Cola animal Aceites y resinas diterpénicas en el caso de los repolcromados con dorados
ESTUDIO DE MORTEROS	
CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O CaCO <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	El estudio de 10 muestras de paramento sur/este por difracción de rayos X ha evidenciado un componente mayoritario de yeso (CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O) que en el caso de tres muestras es de 100%. Además se ha identificado calcita (CaCO <sub>3</sub> ) y en proporción minoritaria calcio (SiO <sub>2</sub> )

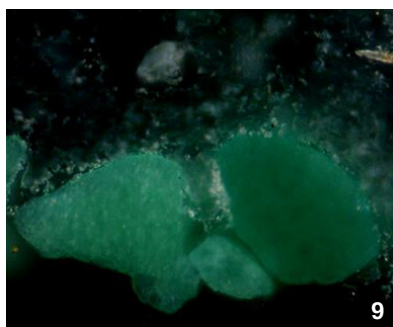
**Tabla 2. Materiales que constituyen la policromía del alfarje**

ESTUDIO DE PIGMENTOS	
Azules	Azul ultramar artificial, azurita natural, azurita artificial, azul Prusia
Rojos	Rojo plomo, cinabrio/bermellón, óxido de hierro
Verdes	Malaquita, verde esmeralda, verde cromo
Blancos	Blanco de Pb, barita natural
Negros	Negro carbón, negro hueso
Amarillos	Amarillo de Pb (litargirio), amarillo de cromo
Capa metálica	Dorado al mixtión o sisa
ESTUDIO DE AGLUTINANTES	
Estratos inferiores	Cola animal, goma agábiga y aceites
Estratos superiores	Aceites
ESTUDIO DE BARNICES	
Estratos inferiores	Almáciga
Estratos superiores	Colofonia
ESTUDIO DE CAPAS DE PREPARACIÓN	
Estratos inferiores	Sulfato cálcico+cola animal+impurezas de caolín
Estratos superficiales	Carbonato cálcico+aceite de linaza+blanco de plomo+rojo de plomo



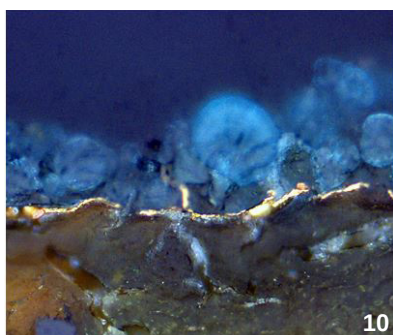
**Imagen 8]**

Microscopía óptica. Identificación de azurita natural y rojo de plomo



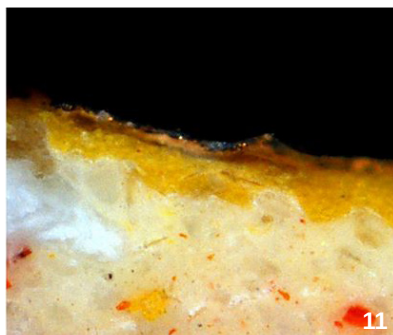
**Imagen 9]**

Microscopía óptica. Detalle de los granos identificados de pigmento de malaquita natural



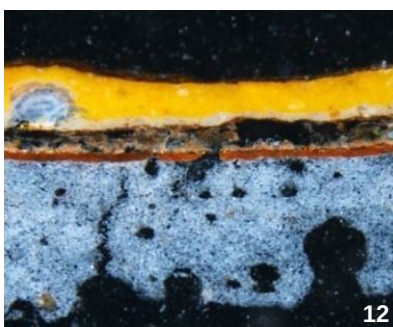
**Imagen 10]**

Microscopía óptica. Identificación de sucesivas capas. Estrato inferior compuesto por amarillo de cromo y plomo, estrato dorado y verde esmeralda en la zona superior, característico por la presencia de formas esferulíticas



**Imagen 11]**

Detalle de uno de los dorados identificados. En el estrato inferior, capa de base para la aplicación de policromías conformada por blanco de plomo y óxidos de hierro rojos y amarillos. En la zona superior, estrato de base de amarillo de cromo y plomo y lámina metálica



**Imagen 12]**

Microscopía óptica. Azurita natural con Blanco de plomo y trazas de óxido de hierro



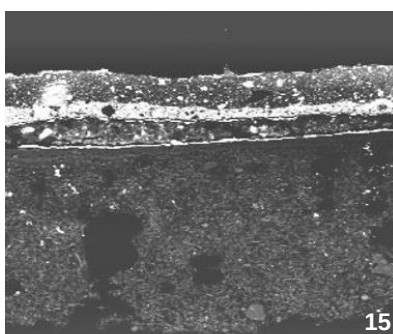
**Imagen 13]**

Microscopía óptica. Diferentes estratos correspondientes a diferentes intervenciones de dorado a lo largo de la historia con técnicas diferentes: dorado con bol en estrato más inferior y dorado a la sisa con amarillo de cromo en el estrato más superior



**Imagen 14]**

Microscopía óptica. Empleo de diferentes pigmentos rojos en capas sucesivas: cinabrio y rojo de plomo



**Imagen 15]**

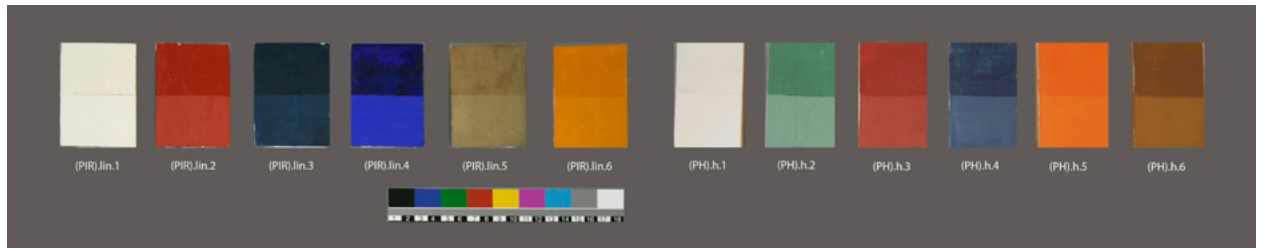
SEM donde se aprecian las láminas de dorado de oro de la muestra anterior

**Imagen 16]**

Ejemplo de probetas que reproducen la policromía de las yeserías

**Imagen 17]**

Ejemplo de probetas de madera que reproducen la policromía del alfarje



**Tabla 3**  
 Selección de pigmentos utilizados para reproducir la policromía identificativa de las yeserías y del alfarje

Ref. pigmento casa comercial Kremer	Acabado cromático	Composición
10620	Cinabrio-bermellón minera	HgS; sulfuro de mercurio natural
10200	Azurita natural (standard 120 micras)	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ; carbonato de cobre natural
40301	Ocre óxido de hierro	Tierra natural amarilla: $a\text{Fe}_3\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + b\text{F}_2\text{O}_3 + d\text{Al}_2\text{O}_3 + e\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_4$
10300	Malaquita standard	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ; carbonato de hidróxido de cobre
42500	Minio de plomo (rojo de plomo)	$\text{Pb}_3\text{O}_4$ ; óxido de plomo
46000	Blanco de plomo (blanco Kremer)	$2\text{PbCO}_3 \cdot 2\text{Pb}(\text{OH})_2$ ; carbonato básico de plomo
43010	Amarillo de plomo-massicote; litargirio	$\text{PbO}$ ; óxido de plomo
45010	Azul ultramar artificial oscuro (pigmento artificial)	$\text{Na}_3\text{Ca}(\text{Al}_3\text{Si}_3)\text{O}_{12}\text{S}$ ; sulfuro silicato de sodio-aluminio
10850	Amarillo de cromo-crocoita	$\text{PbCrO}_4$ ; mineral, cromato de plomo natural
45200-45202	Azul de prusia-azul Milori LUX	$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$
46200	Blanco de titanio-rutilo	$\text{TiO}_2$ ; dióxido de titanio
42000	Bermellón	HgS; sulfuro de mercurio sintético
	Oro falso	Aleación cobre zinc
	Oro fino	Alto porcentaje de Au

\* Sisa (mezcla de blanco de plomo y amarillo de plomo) =  $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2 + \text{PbO}$

barniz identificado (imagen 17). De este modo, se obtienen dos valores de color en cada una de las probetas: uno del pigmento con barniz y otro del pigmento sin barniz, que pueden ser útiles a la hora de realizar las reintegraciones virtuales en función de las características policromas de la zona de estudio. También se han elaborado dos probetas en base a las técnicas de dorado identificadas: dorado al agua y dorado al mixtión o sisa, empleando para ello lámina de oro fino.

### Medición del color

El análisis colorimétrico de las muestras se ha efectuado mediante un espectrofotómetro Minolta CM 2600d (rango de longitudes de onda: 360 nm-740 nm, paso de longitud de onda: 10 nm) (imagen 18), gestionándose los datos mediante el *software* Spectramagic, v. 3. 61, de acuerdo con las siguientes condiciones de medición: geometría de medición: d/8 (iluminación difusa/detección a 8°), reflexión especular excluida (SCE), 0% UV, área de medida/iluminación: 8 mm, modo de medida: 3 medidas independientes en cada muestra (cálculo del promedio), observador patrón 10° (CIE 1964), iluminante patrón D65<sup>6</sup> (CIE 1967), espacio de color/datos colorimétricos: CIE 1976 L\*a\*b\*<sup>7</sup> (imagen 18).

El procedimiento que se ha seguido se basa en la toma de tres medidas individuales, y cálculo del promedio, en cada una de los acabados cromáticos, para determinar los valores CIELAB correspondientes (CIE 1976 L\*, a\*, b\*, C\*<sub>ab</sub>, h<sub>ab</sub>), e índice de color Munsell (valor más próximo al valor CIELAB calculado), siguiendo las indicaciones de las normas de la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE, Publication 15:2004) (ISO 11664-4:2008).

Como paso previo a las mediciones de las probetas se han registrado los siguientes datos: fecha, hora de medición y datos termohigrométricos (humedad relativa, temperatura del aire y temperatura superficial).

### Fase 4: procesado de la información

#### Elaboración de gráficos mediante programas de gestión de imagen

Los programas de gestión de imagen son una herramienta fundamental para la elaboración de gráficos y reconstrucciones de la decoración arquitectónica, ya que facilitan la representación de la superficie de forma clara, rigurosa y sistematizada, solventando gráficamente los problemas de conservación que puedan presentar (BORST, 2006: 42).

Teniendo como base la planimetría del patio publicada por Almagro Gorbea, recopiladas todas las mediciones en detalle de la decoración

6

Es el iluminante de día más representativo, su temperatura de color se ubica en torno a los 6500 °K y representa la luz del medio día. D65 es el estándar de la luz de día en fotografía (PEREIRA, 2013: 49).

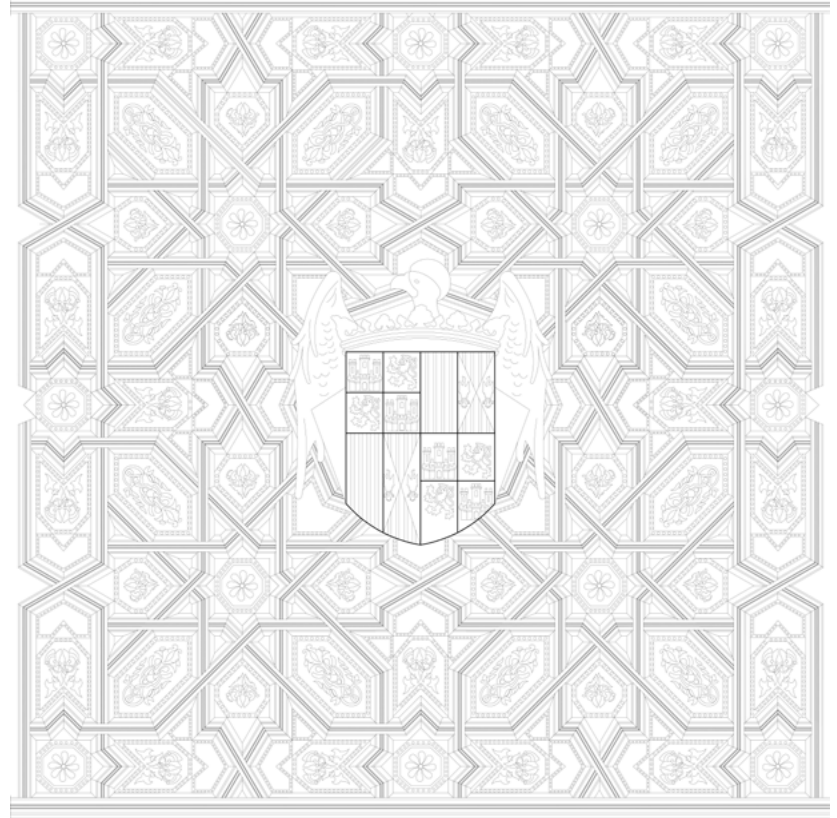
7

ISO 11664-1:2007. Colorimetry. Part 1: CIE: standard colorimetric observers. ISO 11664-2:2007. Colorimetry. Part 2: CIE: standards illuminants. ISO 11664-3:2012. Colorimetry. Part 3: CIE tristimulus. ISO 11664-4:2008. Colorimetry. Part 4: CIE 1976. L\*a\*b\* CIE 1976.



Imagen 18|

Medición de color sobre probeta de yeso con espectrofotómetro



**Imagen 19|**

Gráfico de la zona del alfarje coincidente con la puerta de acceso al salón del Techo de Carlos V, generado con AutoCad a partir de fotografía.

8

Adobe Creative Suite 4 Design Premium  
 WIN Licencia: 1326-1006-5254-2704-  
 7555-5944; AutoCAD Architecture 2010  
 x32 [\*] Número de Serie: 352-71314896;  
 Corel Draw Graphics Suite X4 Licencia:  
 DR14C22-YWE8W22-TY5LAM9-  
 ZKUQP3N.

arquitectónica del patio, y toda la documentación gráfica y fotográfica generada (dibujos, fotografías generales, parciales y de detalle), teníamos las herramientas suficientes para elegir el sistema de representación de la decoración arquitectónica de esta zona. En este sentido, debemos destacar el valor del dibujo en el mundo de la arquitectura, y particularmente en el mundo de la restauración pues constituye a la misma vez un vehículo de análisis y de expresión del conocimiento (ALMAGRO GORBEA, 2003: 156-157).

Principalmente empleamos tres programas para la creación y gestión de nuestra documentación gráfica: Autodesk AutoCAD, Adobe Photoshop y CorelDRAW Graphics Suite<sup>8</sup>.

AutoCAD es un programa de diseño vectorial de gran versatilidad (tanto en 2D como en 3D); por ello se emplea de forma generalizada por los profesionales de la arquitectura y delineación. Nuestro equipo trabaja, por un lado, con los archivos propios de este programa (.dwg) procedentes de colaboraciones con los arquitectos de la Escuela de Estudios Árabes (CSIC). Por otro lado, se cuenta con la colaboración de la delineante Vanesa Reca González para la realización de los gráficos referentes al alfarje de las galerías bajas (imagen 19).

El programa Adobe Photoshop trabaja a base de imágenes de mapa de bits y es el *software* más famoso del mundo para la edición de imágenes; esto se debe a su capacidad de retoque y modificación. A la hora de elaborar documentos gráficos nuestro equipo lo emplea fundamentalmente para la corrección de fotografías y calcos, creación de fotomontajes en mosaico, ensamblado de calcos digitalizados, así como para la reconstrucción virtual tanto de la decoración formal como polícroma. Este programa presenta la ventaja de poder modificar la resolución de nuestros gráficos y fotografías para poder adaptarlos a las necesidades que tengamos, así como de poder almacenar por capas y a una alta resolución los trabajos en archivos en formato .psd. Además, el espacio RGB que presenta este programa supone un buen compromiso en reproducción cromática y compatibilidad entre dispositivos (PEREIZA, 2013: 90).

El *software* CorelDRAW Graphics Suite es una aplicación informática de diseño gráfico vectorial que está diseñada para suplir múltiples necesidades, como el dibujo, la maquetación de páginas para impresión y/o la publicación web. Para nuestro trabajo presenta varias ventajas, la primera es que al trabajar con vectores es compatible con los archivos de AutoCAD, permitiendo la copia total o fragmentada de los mismos y su cómoda transformación a formatos de imagen, para su tratamiento y modificación. Por otra parte se pueden generar rápidamente dibujos de espacios proporcionados que nos permiten acotar los posibles errores derivados del uso de calcos directos y fotográficos, de tal modo que el gráfico final no acumule excesos en su proporción o tamaño. Por último nos permite realizar una maquetación eficiente de los archivos generados así como pasar el resultado a archivos .pdf.

### **Elaboración de paletas y aplicación para la reconstrucción cromática**

Una vez tomadas las mediciones de cada muestra se obtienen los datos referentes a éstas mediante el *software* SpectraMagic™ NX. Se trata de un programa que realiza el almacenamiento de los resultados obtenidos en mediciones de color y permite un análisis detallado de las mismas a través de fáciles reportes de evaluación de color y apariencia de las muestras o gráficos con alto nivel de detalle. De todos los datos que nos aporta el programa, se seleccionan los correspondientes al espacio CIE L\*a\*b\*, que nos permiten transmitir a los programas de gestión de imagen los valores de claridad (L\*) y croma y ángulo de tono (a\*b\*) de las muestras registradas. La elección de este espacio de color para las reconstrucciones se debe a dos factores: el primero, que las formulas basadas en él son las de mayor uso o interés en la actualidad desde el punto de vista industrial (MELGOSA; PÉREZ; YEBRA et ál. 2001: 6); el segundo, que es el formato de color que utiliza internamente Adobe Photoshop, programa con el que elaboramos las paletas

de color y reconstrucciones, lo que facilita la transferencia de datos de las mismas a los gráficos a partir de archivos .psd.

En cuanto a los parámetros de medición, se han tomado los valores SCE (reflexión especular excluida) para las capas tanto de color sólido convencional: pigmentos y mezclas de pigmentos de acabado mate como para las capas metálicas con el fin de evitar que la reflexión especular de los materiales influya en los valores cromáticos, sobre todo en el caso de brillo que aporta el metal.

Finalizada la recopilación de datos colorimétricos, el procedimiento para realizar la reconstrucción colorimétrica consiste en trasladar los valores  $L^*a^*b^*$  obtenidos de cada muestra a los espacios correspondientes del gráfico con el que se trabaje. Para ello solo hay que llevar a cabo un relleno uniforme y opaco mediante la herramienta "Selector de color (color frontal)" que nos ofrece el programa Adobe Photoshop. Este procedimiento no solo es válido en este programa sino que puede ser aplicable a otros que utilicen el espacio de color RGB de calidad/gama considerable.

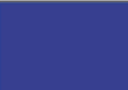

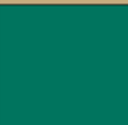
## RESULTADOS

### Paletas virtuales de color elaboradas en referencia a la policromía de yeserías

Dado el amplio espacio de trabajo disponible en la superficie de las probetas que reproducen la policromía de las yeserías (23.5 x 11.5), ha sido posible la aplicación de dos acabados cromáticos diferentes por probeta en casi todos los casos, lo que ha supuesto un total de 26 caracterizaciones cromáticas de las 12 probetas de ensayo realizadas para este estudio (imagen 20, gráfico 1).

#### Imagen 20|

Valores de cromaticidad del acabado policromo actual datado en el siglo XIX, correspondiente a la zona del arco de la puerta de acceso al salón del Techo de Carlos V

Ref.	ACABADOS POLÍCROMOS	COMPOSICIÓN	MEDICIÓN	VALORES DE CROMATICIDAD			COLOR
				Iluminante D65 Observador 10º			
				L*	a*	b*	
45010	Azul ultramar oscuro sintético + Cola animal	$\text{Na}_3\text{Ca}(\text{Al}_3\text{Si}_3)\text{O}_{12}\text{S}$	SCE/100	31,21	14,46	-47,28	
Sin ref. 10850	Oro fino sobre amarillo de cromo + Aceite de linaza	$\text{Au}+\text{PbCrO}_4$	SCE/100	72,20	5,40	26,08	
44250	Verde esmeralda sintético + Cola animal	$\text{Cr}_2\text{O}_3$ (Formulación comercial) $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$ (Formulación original)	SCE/100	44,33	-39,15	3,04	

## Paletas virtuales de color elaboradas en referencia a la policromía del alfarje

En el caso de las probetas del alfarje, se han obtenido dos caracterizaciones cromáticas por probeta, obteniendo una caracterización cromática de un mismo pigmento con el mismo aglutinante y capa de preparación, a diferencia solo de la aplicación de barniz en un caso y en otro no. En total se han obtenido 53 caracterizaciones a partir de las 28 probetas de ensayo realizadas (imagen 21, gráfico 2).

Imagen 21]

Valores de cromaticidad del acabado policromo actual datado en el siglo XIX, correspondiente al escudo heráldico del alfarje

Ref.	ACABADOS POLÍCROMOS	COMPOSICIÓN	MEDICIÓN	VALORES DE CROMATICIDAD			COLOR
				Iluminante D65 Observador 10º			
				L*	a*	b*	
42500 40542 40503	Rojo de Plomo + Óxidos de Hierro + Aluminosilicatos + Aceite de linaza	$Pb_2O_4 + Fe_2O_3 + Al_2O_3 + SiO_2$	SCE/100	49,6	32,3	39,1	
45010 10180	Azul Ultramar sintético + Azurita sintética + Carbonato cálcico + Aceite de linaza	$Na_3Ca(Al_3Si_3)O_{12}S + Cu_3(CO_3)_2(OH)_2 + CaCO_3$	SCE/100	32,5	7,9	-42,9	
46000	Blanco de Plomo + Aceite de linaza	$PbCO_3$	SCE/100	91,4	-1,1	14,4	
12000 58490 46000	Negro de hueso + Carbonato cálcico + Blanco de Plomo + Aceite de linaza	$Ca(PO_4)_2 + CaCO_3 + PbCO_3$	SCE/100	37,7	0,7	3,4	
98440 98405	Oro fino sobre base de Amarillo de Cromo + Aceite de linaza	$Au + PbCrO_4$	SCE/100	78,1	1,7	39,2	

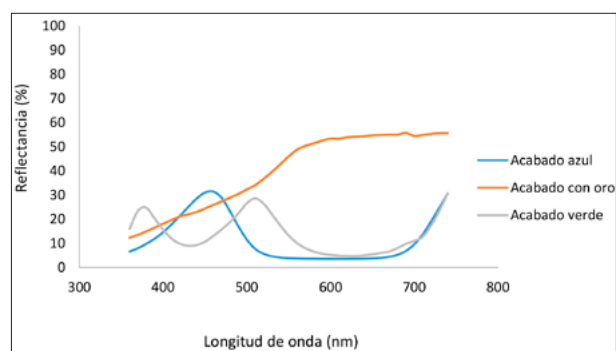


Gráfico 1]

Espectro de reflectividad correspondiente a las mediciones de la policromía en probetas de yeso

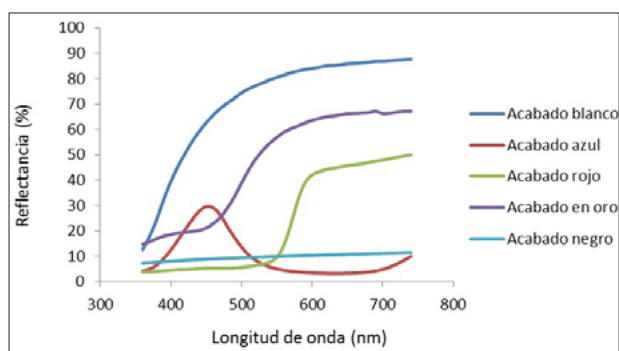


Gráfico 2]

Espectro de reflectividad correspondiente a las mediciones de la policromía en probetas de madera



**Imagen 22]**

Hipótesis de la reconstrucción de la policromía correspondiente a la última intervención del siglo XIX en la zona del arco de la Puerta de acceso al salón del Techo de Carlos V



**Imagen 23]**

Reconstrucción de la policromía actual del escudo heráldico del alfarje cuya policromía corresponde a la última intervención realizada en el siglo XIX según el análisis estratigráfico de muestras



En total, se ha conseguido obtener 40 caracterizaciones cromáticas de materiales y técnicas de ejecución empleados en la decoración de tradición islámica. Además, contamos con una biblioteca que recopila más de 3.000 caracterizaciones provenientes de otras probetas realizadas por nuestro equipo emulando tanto técnicas empleadas históricamente sobre pintura mural como en soportes lígneos, completadas con la información recabada de cartas de color manufacturada en los casos en los que no se ha podido obtener acceso a ciertos pigmentos como el verde esmeralda, retirados del mercado por su toxicidad.

> Aplicación de paletas virtuales de color para reconstrucción cromática

Como resultado de la aplicación de las paletas virtuales de color para reconstrucción cromática, se presenta el caso en concreto del acabado polícromo realizado durante el siglo XIX, de una zona del arco de los paños de yeserías de la portada del salón del Techo del Carlos V y la policromía del escudo situado en el alfarje, coincidente con la puerta de acceso a esta estancia (imágenes 22 y 23).

Basándonos siempre en el estudio de materiales y en la periodicidad probable del uso de los pigmentos encontrados en las muestras analizadas, han sido seleccionados los acabados cromáticos correspon-

dientes para cada elemento decorativo, que conformarían con mayor probabilidad la paleta de color empleada en su decoración. Las coordenadas  $L^*a^*b^*$  de los colores de dichos acabados han sido volcadas espacio decorativo a espacio decorativo en la restitución gráfica de la superficie (tal y como se describía en el apartado de metodología para la elaboración del color en las paletas), consiguiendo reconstruir virtualmente la imagen que debieron de presentar los paños de la portada en el siglo XIX, así como la policromía actual del escudo.

La mayor parte de dicha policromía, a pesar de las alteraciones que presenta debido a los factores de deterioro ante los que se encuentra expuesto el alfarje, se ha conservado relativamente, pudiéndose apreciar el color de sus motivos decorativos a día de hoy.

## CONCLUSIONES

Empleando los recursos infográficos mencionados con anterioridad conseguimos no sólo restituciones gráficas que nos permiten el volcado de la información de los análisis realizados a los revestimientos estudiados, sino que, en muchos casos, los mismos gráficos se convierten en parte integrante de la misma investigación y posibilitan la reconstrucción y reintegración virtual de las obras, que de otra manera sería imposible llevar a cabo.

La creación de paletas de colores virtuales basadas en mediciones en el espacio CIE  $L^*a^*b^*$ , mediante el uso de un espectrofotómetro, de policromías realizadas en probetas de ensayo y cartas de color manufacturadas según técnicas ejecución y materiales históricos, nos ha permitido obtener un sistema para representar la policromía de un periodo concreto de manera más natural, realista y objetiva que la gama de color proporcionada por una carta de color convencional o de los programas de gestión de imagen. Gracias a ello, además, se podrá representar la evolución cromática en un mismo conjunto y en diferentes tipos de revestimientos de similar tipología a los descritos en este artículo.

El uso de fuentes externas de información cromática (probetas y cartas de color) elaboradas mediante técnicas históricas de ejecución permite obtener “especificaciones” cromáticas cercanas a los acabados de las policromías reales en su estado original (previo al deterioro por el paso del tiempo y las intervenciones sufridas) de los revestimientos objeto de nuestro estudio sin arriesgar su integridad.

A pesar de los buenos resultados obtenidos somos conscientes de que son sólo una aproximación, ya que, aun empleando las referencias de los análisis de materiales reales, los resultados virtuales generados no permiten simular con absoluta precisión un color apli-

cado hace varios siglos. Sin embargo, estamos seguros de que esta metodología nos puede proporcionar unos resultados más naturales y semejantes a los acabados originales que unos colores generados de manera estandarizada por la carta de color de un programa de gestión de imagen.

Consideramos que esta investigación supone un inicio muy interesante para la representación de las policromías de tradición hispanomusulmana, perdidas hoy en día, en su mayor parte, u ocultas tras sucesivos repolicromados, y para su puesta en valor, así como para la difusión del conocimiento de la decoración arquitectónica.

Las reconstrucciones virtuales presentadas forman parte de una primera fase de la investigación. Aunque son varias las muestras estudiadas hasta el momento, es necesario ampliar el estudio de forma más pormenorizada para poder ampliar la identificación de pigmentos que permitan realizar una reintegración virtual completa en este emplazamiento. Nuestro objetivo en un futuro es seguir trabajando en esta línea para poder realizar las reconstrucciones virtuales de acabados policromos de periodos anteriores de esta obra tan significativa.

## Agradecimientos

Agradecer a las instituciones y organismos públicos que han financiado los proyectos de I+D bajo los cuales se ha podido desarrollar nuestra investigación, así como a los investigadores responsables de los mismos y a los compañeros investigadores que los integran:

- Junta de Andalucía. Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo, Proyecto de Excelencia Tratamientos cromáticos en la arquitectura de tradición musulmana. Técnica y conservación (HUM 1941) (30/12/2012-30/12/2017). Investigador principal: V. J. Medina Flórez.

- Ministerio de Ciencia e Innovación, Proyecto Decoración arquitectónica de tradición islámica. Materiales y técnicas de ejecución (HAR 2011-27598) (01/01/2012- 31/12/2015). Investigador principal: V. J. Medina Flórez.

- Campus de Excelencia Internacional CEI BioTic Granada, Universidad de Granada, III Convocatoria de Proyectos de I+D+i (2014), Proyecto Análisis científico y ensayos para la reintegración material y cromática de los zócalos de alicatado del Patio de las Doncellas, Palacio de Pedro I, Real Alcázar de Sevilla (P\_CP\_6) (28/05/2014-31/12/2014). Investigador principal: F. J. Collado Montero.

- Junta de Andalucía. Consejería de Cultura. Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía titulado Estudio y Conservación de la Decoración Arquitectónica de Tradición islámica (HUM -02829) (31/01/2008 al 31/12/2012). Investigador principal: V. J. Medina Flórez.

- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Programa de Formación del Profesorado Universitario (FPU) del que es beneficiaria Ana Isabel Calero Castillo por Contratos puente del plan propio de investigación del Vicerrectorado de Investigación y Transferencia de la Universidad de Granada del cual es beneficiaria Ana Isabel Calero Castillo, autora de este artículo.

Asimismo agradecer también a la dirección del Real Alcázar de Sevilla por las facilidades concedidas para el desarrollo de nuestra investigación.

Damos las gracias a las doctoras Ana García Bueno y Olimpia López Cruz, por la dirección del trabajo de campo, análisis de muestras y elaboración de probetas.

Junto a ellas, también agradecer la colaboración de la delineante Vanesa Reca González en la elaboración de los gráficos referentes al alfarje.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALMAGRO GORBEA, A.** (2007)

El real Alcázar de Sevilla. En IBÁÑEZ FERNÁNDEZ, J. (coord.) *El arte Andalusí*, Zaragoza: Dpto. de Historia del Arte de la Universidad de Zaragoza; Instituto de Estudios islámicos y del Oriente Próximo, 2007, pp. 155-189

**ALMAGRO GORBEA, A.** (2005)

La recuperación del jardín medieval del Patio de las doncellas. *Apuntes del Alcázar de Sevilla*, n.º 5, pp. 44-67 <<http://www.alcazarsevilla.org/wp-content/pdfs/APUNTES/apuntes6/restauracion2/restauracion2b.html>> [Consulta: 05/05/2016]

**ALMAGRO GORBEA, A.** (2003)

Planimetría del Alcázar de Sevilla. *Loggia, Arquitectura & Restauración*, n.º 14-15, 2003, pp. 156-161

**BORST, K.** (2006)

Reconstrucciones digitales. *Akobe: restauración y conservación de bienes culturales*, n.º 7, 2006, pp. 40-42

**CALLET, P.** (2013)

*Spectral Simulation for Cultural Heritage. A Scientific Methodology and Some Examples*. Rotherham, UK: Lindsay MacDonald and John Mellerio, 2013

**CALLET, P.** (2006)

Metals, alloys and lighting: optical properties and spectral simulation in computer graphics. *Proceedings of the CIE Expert Symposium on Visual Appearance*. Paris: CIE, 2006

**CASADEVALL SERRA, J.** (2008)

Planes del color de centros históricos: el ejemplo de Málaga. *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, agosto 2008, n.º 67, pp. 30-69 <<http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/articulo/viewFile/2576/2576>> [Consulta: 05/05/2016]

**CHÁVEZ GONZÁLEZ, M. R.** (2004)

*El Alcázar de Sevilla en el siglo XIX*. Sevilla: Patronato del Real Alcázar de Sevilla, 2004, 302 p.

**CIE Publication 15** (2004)

*Colorimetry* (3rd. edition). Vienna: CIE Central Bureau, 2004

**COLLADO MONTERO, F. J.; MEDINA FLÓREZ, V. J.; GARCÍA BUENO, A.** (2007)

Metodología de estudio cromático de acabados arquitectónicos. Aplicación en la ciudad de Granada. Granada: Editorial Universidad de Granada, 2007. 402 p. (Monográfica. Biblioteca de arquitectura y restauración; 16)

**CÓMEZ, R.** (2006)

*El Alcázar del Rey Don Pedro*. Sevilla: Diputación de Sevilla Área de Cultura y Deportes, 2006, 162 p.

**COLORADO, A.** (2003)

Nuevos lenguajes para la difusión del patrimonio cultural. *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, diciembre 2003, n.º 46, pp. 42-49 <<http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/articulo/view/1628#.WfKb3kdBHdg>> [Consulta: 20/12/2016]

**DUMAZET, S.; CALLET, P.; GENTY, A.** (2008)

Spectral Modeling and Virtual Restoration on a Polychrome Medieval Sculpture. *16th International Conference in Central Europe on Computer Graphics*. Plzen, Czech Republic: University of West Bohemia, 2008, pp. 207-214

**FERNÁNDEZ-PUERTAS, A.** (1983)

La decoración de la yesería mudéjar. En *Arte mudéjar*. Granada: Comisión Nacional V centenario del Descubrimiento de América; Ayto. de Granada, 1983

**GARCÍA BUENO, A.; HERNÁNDEZ PABLOS, A.; MEDINA FLÓREZ, V. J.** (2010)

Las yeserías del oratorio de la Madraza de Yusuf I, Granada. Aportaciones de la documentación gráfica en la determinación de zonas originales y añadidos. *Al-qantara, revista de estudios árabes*, vol. XXXI, n.º 1, enero-junio 2010, pp. 257-267

**GARCÍA BUENO, A.; MEDINA FLÓREZ, V. J.; GONZÁLEZ SEGURA, A.** (2010)

La policromía de las yeserías del oratorio de lamadraza de Yusuf I, Granada. Primeras aportaciones del estudio de materiales para la localización de zonas originales y añadidos. *Al-qantara, revista de estudios árabes*, vol. XXXI, n.º 1, enero-junio 2010, pp. 245-256

**GARCÍA NAVARRO, A.** (2012)

*Evaluación visual de la distancia de detección del sparkle*. Alicante: Universidad de Alicante, Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía. Trabajo Fin de Máster, 2012 <[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/24419/1/TFM\\_ANTONIO\\_GARCIA.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/24419/1/TFM_ANTONIO_GARCIA.pdf)> [Consulta: 09/09/2013]

**LÓPEZ CRUZ, O.; GARCÍA BUENO, A.; MEDINA FLÓREZ, V. J.** (2011)

Evolución del color en el alero de la fachada del rey D. Pedro I, Real Alcázar de Sevilla. Aportaciones del estudio de materiales a la identificación de las intervenciones de restauración a lo largo de su historia. *Arqueología de la arquitectura*, vol. 08, pp. 163-178

**LÓPEZ CRUZ, O.; GARCÍA BUENO, A.; MEDINA FLÓREZ, V. J.; SÁNCHEZ NAVAS, A.; VELILLA, N.** (2015)

Pictorial materials used in the polychrome decorations of the façade of the palace of king Pedro I (The Royal Alcazar of Seville, Spain). *Materiales de construcción*, abril-junio,

vol. 65. <[http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/36630/1/LopezCruz\\_AlcazarSevilla.pdf](http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/36630/1/LopezCruz_AlcazarSevilla.pdf)> [Consulta: 22/12/2016]

**LÓPEZ CRUZ, O.; VELILLA, N.** (2014)

Alteración de pigmentos arsenicales en policromías de edificios históricos (Real Alcázar de Sevilla). Influencia del cloro. *Macla. Revista de la sociedad española De mineralogía* (19), 2014

**MARÍN FIDALGO, A. M.** (1990)

*El Alcázar de Sevilla bajo los Austrias*. Sevilla: Ediciones Guadalquivir Sevilla, 2 v., 1990, 891 p.

**MARTÍNEZ, C., MUÑOZ, J.** (2002)

Digitalización del patrimonio fotográfico e investigación: La metodología empleada para la reproducción digital de la colección de placas de vidrio de colodión húmedo, custodiada en el Museo Nacional de Ciencias Naturales -Consejo Superior de Investigaciones Científicas. En *Jornadas Imagen, Cultura y Tecnología (1.ª 2002, Madrid)*. sl: Universidad Carlos III de Madrid, 2002, pp. 99-120

**MELGOSA, M.; PÉREZ, M. M.; YEBRA, A. et ál.** (2001)

Algunas reflexiones y recientes recomendaciones internacionales sobre Evaluación de diferencias de color. *Óptica pura y aplicada*, vol. 34, n.º 1, 2001, pp. 1-10

**MÉRIDA ÁLVAREZ, M. D.** (2000)

Construcción y Restauración del Real Alcázar de Sevilla en el periodo isabelino (1843-1868). En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción: Sevilla, 26 a28 de octubre de 2000*. madrid: Instituto Juan de Herrera, 2000, pp. 683-688

**MESTRE, S.; MORENO, A.; AGUT, P. et ál.** (2010)

Aplicación de la goniospectrofotometría a la caracterización de efectos decorativos especiales. *Boletín de la Sociedad Española De Cerámica y Vidrio*, vol. 49, n.º 4, pp. 311-318 <<http://boletines.secv.es/upload/20100901173418.201049311.pdf>> [Consulta: 22/12/2016]

**MORALES, A. J.** (2006)

El alcázar del rey Don Pedro y los Palacios mudéjares sevillanos. En *Arte mudéjar en Aragón, León, Castilla, Extremadura y Andalucía*. Zaragoza: Institución Fernando el Católico y Diputación de Zaragoza, 2006, pp. 233- 260

**PAVÓN, B.** (1988)

*Arte toledano: islámico y mudéjar*. Madrid: Instituto Hispanoárabe de Cultura, 1988, 358 p.

**PEREIZA, J. M.** (2013) *Gestión del color en proyectos de digitalización*. Barcelona: Marcombo. 2013, 206 p.

**PÉREZ, J. C.; FERNÁNDEZ, S.** (2005)

La restauración de los portales y ventanas del patio de las doncellas. Palacio de Pedro I en el Real Alcázar de Sevilla. *Apuntes del Alcázar de Sevilla*, n.º 5 <[http://www.alcazarsevilla.org/wp-content/pdfs/APUNTES/apuntes5/restauracion1\\_04/contenidos\\_res1.html](http://www.alcazarsevilla.org/wp-content/pdfs/APUNTES/apuntes5/restauracion1_04/contenidos_res1.html)> [Consulta: 06/09/2013]

**RASCÓN, S.; SÁNCHEZ, A. L.** (2012)

Las nuevas tecnologías aplicadas a la didáctica del patrimonio. En *Actas de IX Congreso de Tecnologías de la Informática y Comunicaciones (TURITEC'2012) Málaga, 25 y 26 de octubre del 2012*. Málaga: Facultad de Turismo, universidad de Málaga, 2012, pp. 1-15 <[turitec.com/wp-content/uploads/2016/04/TURITEC\\_2012.pdf](http://turitec.com/wp-content/uploads/2016/04/TURITEC_2012.pdf)> [Consulta: 30/12/2016]

**RÍOS, R. A. DE LOS** (1875)

*Inscripciones árabes de Sevilla (Prólogo de Rafael Valencia Colección. Alcázar)*. Sevilla: Ayuntamiento de Sevilla área de cultura; Patronato del Real Alcázar, 1875, 270 p.

**SANTOS, J. M.** (2014)

El color en la reproducción fotográfica en proyectos de conservación. *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, octubre 2014, n.º 86, pp. 102-123 <<http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/3511>> [Consulta: 21/12/2016]

**TABALES, M. A.** (2005)

El patio de las doncellas del Palacio Pedro I de Castilla. Génesis y transformación. *Apuntes del alcázar de Sevilla*, n.º 6 <[http://www.alcazarsevilla.org/wp-content/pdfs/APUNTES/apuntes6/restauracion1\\_04/contenidos\\_res1.html](http://www.alcazarsevilla.org/wp-content/pdfs/APUNTES/apuntes6/restauracion1_04/contenidos_res1.html)> [Consulta: 10/05/2016]

**UNE 67-030-85** (1985)

*Ladrillos de arcilla cocida: medición de las dimensiones y comprobación de la forma*, AENOR, Madrid

**UNE EN ISO 1513** (ISO 1513:2010)

*Pinturas y barnices. Examen y preparación de las muestras para ensayo*. ICS 87.040

**UNE-EN ISO 11664-2:2011** (ISO 11664-2:2007)

Colorimetría. Parte 2: Iluminantes patrón CIE. CTN: AEN/CTN 48 - PINTURAS Y BARNICES

**UNE-EN ISO 11664-4:2011** (ISO 11664-4:2008)

Colorimetría. Parte 4: Espacio cromático L\*a\*b\* CIE 1976. CTN: AEN/CTN 48 - PINTURAS Y BARNICES

**UNE-EN ISO 1514** (ISO 1514:2006)

*Pinturas y barnices. Probetas normalizadas para ensayo*. AENOR, Madrid

