



# CARACTERIZACIÓN DE YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

Francisco Javier Blasco López, Francisco Javier Alejandro Sánchez,  
Vicente Flores Alef, Juan Jesús Martín Del Río

Dpto. de Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla

Se presenta un resumen de los resultados y conclusiones obtenidos de la caracterización de las yeserías de tradición islámica del Real Alcázar de Sevilla, realizada durante las anualidades 2008-2011.

Se han estudiado un total de 19 muestras correspondientes a 15 yeserías de tradición islámica del Real Alcázar, 7 durante la campaña 2008, 7 durante la del 2009 y 5 en la de 2010. También se ha caracterizado una muestra de yesería de cronología almohade, cedida por el Museo Arqueológico de Sevilla, perteneciente al Patio de los Limones de la Catedral de Sevilla, utilizada como referente y comparativo de la única muestra original almohade obtenida del Patio del Yeso.



## 1. INTRODUCCIÓN

Las yeserías son elementos decorativos característicos del arte musulmán aplicados en muros, arcos y bóvedas, que tienden a cubrir grandes superficies, para ocultar el adobe o ladrillo, en series ilimitadas de motivos repetitivos, pero con un significado dependiente del monumento al que se aplica, “el arte islámico ante la limitación que suponía el prescindir de los motivos figurativos que tienen un significado iconográfico propio, se volcó en la creación de formas, cuya presencia no afectase al significado del monumento”<sup>1</sup>.

El Alcázar de Sevilla responde a un modelo oriental de ciudadela palatina, formado por un conjunto de edificaciones de distintos estilos y épocas que se han ido incorporando y/o restaurando a lo largo de los siglos, realizándose en ellas yeserías decorativas de distintos períodos artísticos.

El yeso, componente esencial de las yeserías, es un material abundante en la naturaleza y fácil de transformar, por lo que se convierte en uno de los primeros materiales utilizados por el hombre en la construcción de edificios. Las yeserías son elementos decorativos de gran valor artístico característicos del arte musulmán aplicados en muros, arcos y bóvedas. Al estar elaboradas a base de yeso son elementos fácilmente alterables, principalmente por sus bajas resistencias mecánicas y su ligera solubilidad en agua. Por ello, los paramentos de yeserías habrían requerido un continuo trabajo de mantenimiento desde el mismo momento de su creación<sup>2</sup>.

La caracterización de las yeserías, apoyada en el estudio historiográfico del monumento y de su evolución a lo largo del tiempo<sup>3</sup>, es el objetivo principal de este proyecto, desarrollándose una metodología para conocer el estado de conservación de Salas y Patios, tratando de averiguar algunas formas de proceder ante la preservación de estos elementos, aplicables a otros monumentos de similares características.

Analizando la historia del Real Alcázar, y en concreto las zonas en las que se han extraído muestras del monumento, se documentan actuaciones como las efectuadas en el Patio del Yeso (GPY) por el arquitecto R. Manzano<sup>4</sup> que indica “fue descubierto y publicado por Tubino en los últimos años del siglo XIX (Fig. 1a), con-

solidado y restaurado por el marqués de la Vega-Inclán en los años 1918 al 20 (Fig. 1b), y ha sido restaurado y reexplorado por mí en los años 1969 y 1971 (Fig. 2)”.

El Patio del Sol (Fig. 3a), ocupa el frente norte del patio de la Alcobilla y debe su fisonomía actual a una profunda remodelación desarrollada en la década de los 70 del s. XX, siendo siempre un espacio doméstico muy abandonado de la propia vivienda del alcaide. De las construcciones medievales que integraron este sector del Alcázar se conserva parte de una arquería mudéjar en el acceso que al mismo se realiza desde el apeadero<sup>5</sup>.

La Sala de la Justicia (Fig. 3b), fue construida por Alfonso XI tras la batalla del Salado (1340), sobre los restos del antiguo Palacio Almohade<sup>7</sup>. Algunos autores suponen que de su fábrica se aprovecharon antiguas estructuras almohades, atribuyendo su actual configuración a Alfonso XI (1311-1350), aunque atendiendo a su ornamentación y a las inscripciones árabes de sus paredes, similares a las del rey Pedro I, hay quien atribuye su fábrica a este último monarca<sup>5</sup>.

En referencia al Palacio medieval del rey Pedro I (edificio que contiene la mayoría de Salas y Patios estudiados), si se inicia la descripción por el patio de las Doncellas, como centro de las dependencias oficiales, fue edificado entre 1364 y 1366 por Pedro I de Castilla. El conjunto se remata con un friso de inscripciones cúficas musulmanas, motivos de atauriques con los escudos de Castilla, León y la heráldica imperial (Fig. 4a), que revelan las importantes interven-



ciones ejecutadas en el patio durante el siglo XVI<sup>7</sup>.

El Salón de Embajadores y las salas adyacentes constituyen el núcleo fundamental del viejo palacio de Al-Mutamid, cuyas estructuras subsisten gracias a la reedificación mudéjar de Pedro I<sup>8</sup>. En su construcción trabajaron artífices mudéjares sevillanos y toledanos, así como musulmanes granadinos (Fig. 4b)<sup>9</sup>.

En la era moderna, el uso reiterado de la heráldica y de los emblemas reales permite fechar con cierta precisión las obras que se realizaron, detalles como la inclusión de la granada en el escudo real permiten deducir si se trata de una obra anterior o posterior a 1492.

Durante los Austrias mayores, además de las obras realizadas en el Patio de las Doncellas y

Página izquierda. Figura 1. Imágenes del Patio del Yeso: a) Fachada, descubierta por Tubino a finales del siglo XIX, según imagen de 1912 publicada por Gestoso<sup>6</sup>; b) Fachada tras la intervención del marqués de la Vega-Inclán entre 1918 y 1920 (Fototeca de la Universidad de Sevilla).

Página izquierda abajo. Figura 2. Imagen actual, tras la intervención de R. Manzano entre 1969 y 1971.



Página anterior arriba.

Figura 3.

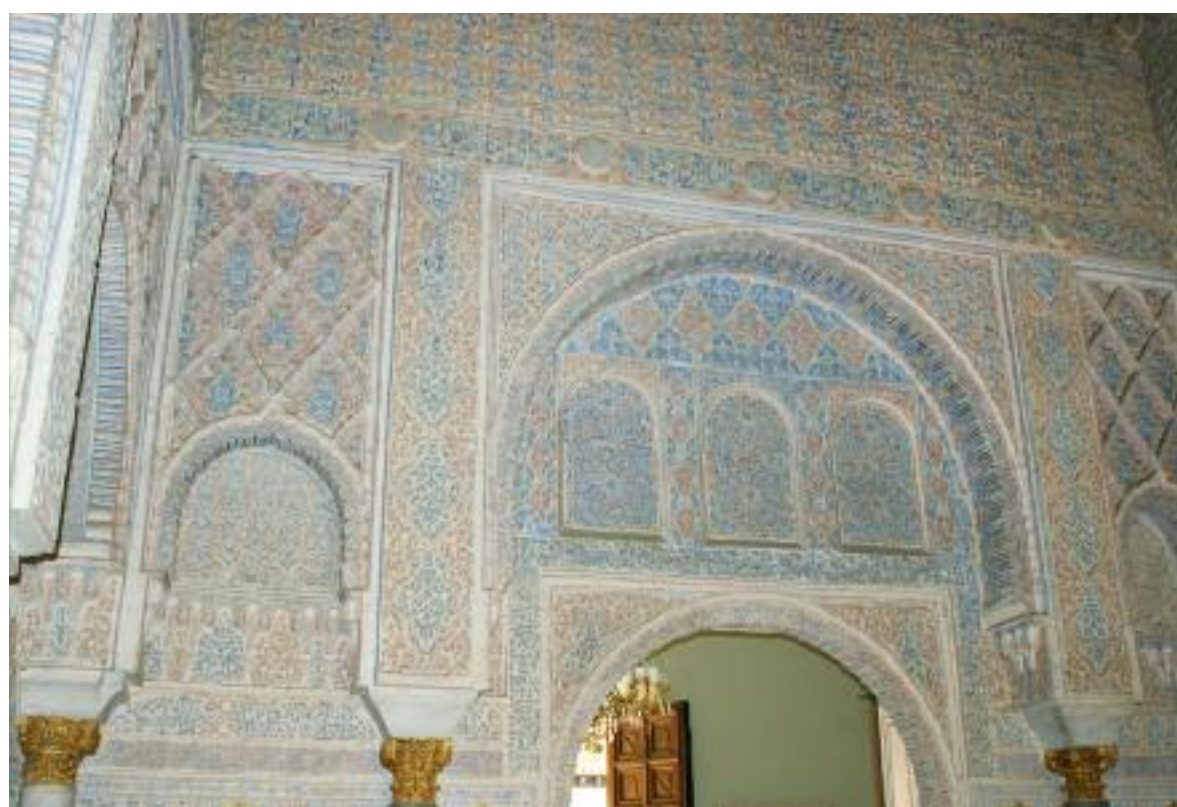
- a) Arcos mudéjares del Patio del Sol, junto a la arquería del s. XVIII (a la derecha de la imagen);
- b) Detalle del vano oriental de la Sala de la Justicia con temas de ataurique (friso de mocárabes con logotipos cúficos y palmetas lisas, floreadas y digitadas compactas de tradición almohade).



Página anterior abajo.

Figura 4.

- Pacios y Salas del Palacio de Pedro I.
- a) Arcos apuntados polilobulados sobre columnas con los escudos de Castilla, León y la heráldica Imperial del patio de las Doncellas;
- b) arco polilobulado que enmarca arcos de herradura con tres celosías caladas sobre ellos, en el Salón de Embajadores.



- Figura 5.
- Salas de la planta alta del Palacio de Pedro I.
- a) Arco angrelado y yesería de ataurique de uno de los paramentos del dormitorio del Rey D. Pedro;
- b) Esquema tripartito de la Sala de Audiencias, con sebqa y ataurique en sus paramentos.

en el piso alto, se intercalaron escudos y emblemas imperiales en las yeserías mudéjares del piso bajo, y se construye sobre una vieja qubba musulmana situada en los jardines el cenador de la huerta de la Alcoba.

Con la llegada de los Austrias menores, se realizaron en el tránsito del s. XVI al XVII diversas reparaciones en el palacio mudéjar. Tras las destrucciones del s. XVIII producidas por el terremoto de Lisboa, se llevarían a cabo en el

palacio Mudéjar las obras de Manuel Zintora, en los primeros años del s. XIX, haciendo visible desde la calle el Patio de las Doncellas, aunque esto duró poco, ya que su acceso fue devuelto pronto a su estado original según los cánones de las construcciones islámicas<sup>9</sup>.

El dormitorio del rey (Fig. 5a) y la Sala de Audiencias (Fig. 5b), que forman parte de la planta alta del palacio del rey Pedro I, datan del siglo XIV, aunque parte de sus labores de yeso fueron intervenidas a mediados del siglo XVI.

En definitiva, el Alcázar ha sufrido numerosas intervenciones, transformaciones y nuevas realizaciones a lo largo de su existencia, algunas de las cuales incluían muchas de las decoraciones islámicas, documentadas e investigadas por diversos autores, que aclaran bastantes de los acontecimientos constructivos sufridos en el pa-

lacio, pero no todos, ya que han podido producirse actuaciones que hayan quedado sin documentar, lo que permite que sigan existiendo lagunas en el proceso edificatorio y restaurador del mismo.

## 2. ESTUDIOS DE CASOS Y MÉTODOS

### 2.1. Las muestras

Las diferentes salas y patios de donde se tomaron las distintas muestras se localizan numeradas en el plano de planta Fig. 6, cedido por el Patronato del Real Alcázar y realizados por A. Almagro.

Todas las muestras obtenidas del monumento y objeto de la investigación, corresponden

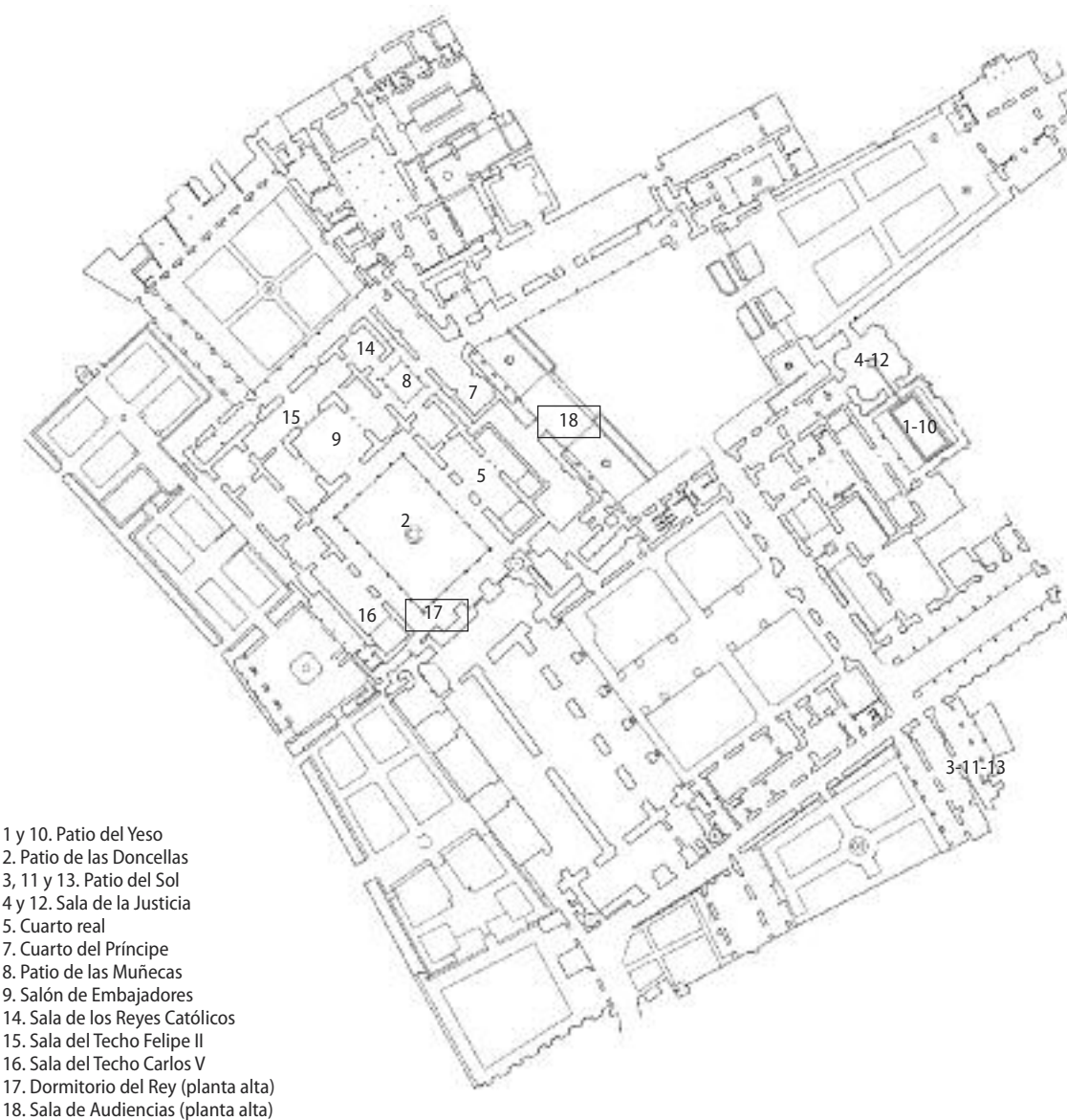


Figura 6. Plano de planta baja del conjunto palacial del Alcázar con la situación de los puntos de tomas de muestras. El 17 y 18 corresponden a la planta alta del palacio y GCA se encuentra en los jardines.

- 1 y 10. Patio del Yeso
- 2. Patio de las Doncellas
- 3, 11 y 13. Patio del Sol
- 4 y 12. Sala de la Justicia
- 5. Cuarto real
- 7. Cuarto del Príncipe
- 8. Patio de las Muñecas
- 9. Salón de Embajadores
- 14. Sala de los Reyes Católicos
- 15. Sala del Techo Felipe II
- 16. Sala del Techo Carlos V
- 17. Dormitorio del Rey (planta alta)
- 18. Sala de Audiencias (planta alta)

**TABLA 1. DESIGNACIÓN DE LAS MUESTRAS TOMADAS, UBICACIÓN Y POSIBLE PERÍODO DE CONSTRUCCIÓN**

Año	Número Orden	Ubicación	Designación	Elemento de toma	Posible período de construcción y estilo
2008	0	Patio de los Limones (Catedral de Sevilla)	GPL	Yesería (Fondo arqueológico)	Siglo XII-XIII (Catalogación arqueológica). Almohade
2008	1	Patio del Yeso (zona original)	GPY	Yesería en Sebqa	Siglo XII-XIII. Almohade
2008	2	Patio de las Doncellas (ajimez de galería baja interior)	GPD	Yesería en Ajimez	Siglo XIV-XVI. Mudéjar
2008	3	Patio del Sol (Zona restaurada)	GPS	Yesería en Friso	Siglo XX. Restauración
2008	4	Sala de la Justicia (arco testero noreste)	GSJ	Yesería en Arco	Siglo XIV. Mudéjar
2009	5	Cuarto Real (Portada interior salón-alcoba)	GCR	Yesería en Arco	Siglo XIV-XX. Mudéjar
2009	6	Cenador de la Alcoba (testero sur)	GCA	Yesería en Friso	Siglo XIV-XVI. Mudéjar
2009	7	Cuarto del Príncipe (arco noreste)	GCP	Yesería en Arco	Siglo XIV-XVI. Mudéjar
2009	8	Patio de las Muñecas (testero noroeste)	GPM	Yesería en Sebqa calada	Siglo XIV-XIX. Mudéjar
2009	9	Salón de Embajadores (arco separación techo Felipe II)	GSE	Yesería en Arco	Siglo XIV. Mudéjar
2008	10	Patio del Yeso (Zona restaurada)	GPY2	Yesería en Sebqa	Siglo XX. Restauración
2008	11	Patio del Sol (zona descrita por Pavón M.)	GPS2	Yesería en enjuta de Arco	Siglo XIII-XIV (¿). Mudéjar
2009	12	Sala de la Justicia (Zona de acceso desde Montería)	GSJ2	Yesería en Arco	Siglo XIV. Mudéjar
2009	13	Patio del Sol (zona distinta a las anteriores)	GPS3	Yesería en Arco	Siglo XIII-XIV (¿). Mudéjar
2010	14	Sala de los Reyes Católicos (Arco este a P. Muñecas)	GSR	Yesería en Arco	Siglo XVI-XIX. Mudéjar
2010	15	Salón del techo de Felipe II (Arco de los Pavones)	GSF	Yesería en enjuta y Arco	Siglo XVI. Mudéjar
2010	16	Salón del techo de Carlos V (Arco separación alcoba)	GSC	Yesería en Arco	Siglo XIV-XVI. Mudéjar
2010	17	Dormitorio del Rey D. Pedro (Arco testero este)	GDR	Yesería en Arco	Siglo XIV-XVI. Mudéjar
2010	18	Cámara o Sala de Audiencias (Arco central norte)	GSA	Yesería en Arco	Siglo XIV. Mudéjar

a las yeserías más representativas restauradas o no del período mudéjar de los distintos espacios del Alcázar, aunque también se ha incluido una muestra perteneciente a la época almohade.

Previamente se han tenido en cuenta los criterios históricos referentes a las obras realizadas en el monumento a lo largo de los siglos, siguiendo un método respetuoso con el mismo. Se han tomado las mínimas cantidades de muestra necesarias, a la vez que representativas, para realizar los análisis pretendidos, minimizando el impacto visual en los paños y atendiendo a las indicaciones y recomendaciones de los conservadores del Alcázar, haciendo que su extracción y adscripción corresponda lo más fielmente posible, a yeserías que posean una mayor certeza sobre su época de realización.

Se han estudiado un total de 19 muestras correspondientes a 15 yeserías, cuya designación y posible periodo de construcción se indican en la Tabla 1.

## 2.2. Metodología de caracterización

Las técnicas analíticas que se pueden aplicar en la caracterización de yeserías históricas son numerosas, siendo necesario discernir la relevancia de cada una de ellas en función del objetivo científico perseguido. La metodología de caracterización elaborada por los autores abarca una amplia gama de técnicas que se complementan entre sí, pretendiendo aportar información sobre el estado de conservación, evolución y control de su estado<sup>3</sup>.

Para la realización de todos los análisis y

**TABLA 2. VALORES ESTEQUIMÉTRICOS DEL YESO DIHIDRATO**

Fase mineral	SO <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	H <sub>2</sub> O (%)
Yeso	32,57	46,50	20,93

pruebas a efectuar, se han preparado las muestras eliminando previamente las capas exteriores de las yeserías (nueve de ellas poseían capa o capas).

La metodología seguida ha consistido en el análisis químico elemental realizado mediante un espectrómetro de fluorescencia de rayos-X Panalytical (modelo Axios) de tubo de Rh. Para la obtención del porcentaje de impurezas insolubles en agua, se ha partido de muestras desecadas de todas las yeserías sobre filtros de papel Albet DP150110 de 3-5 µm de diámetro de paso, sometiéndolas a un proceso continuo de lixiviado hasta la disolución total del yeso. La composición mineralógica de las yeserías fue determinada por difracción de rayos-X, utilizando un difractómetro Bruker-AXS D-8. Los difractogramas se obtuvieron y analizaron mediante patrones XRD en el rango 2θ de 3° a 70°.

El análisis textural y compositivo se ha realizado con un microscopio electrónico JEOL JSM 6450-LV, equipado con sonda de rayos X (EDX), ventana de berilio ATW2 y software específico (Oxford INCA) para análisis químicos puntuales y mappings. Este análisis se ha efectuado sobre la muestra GPY, aparentemente con mayor presencia de calcita, calculada mediante el calcímetro de Bernard siguiendo la norma UNE 103-200-93, basado en la descomposición de los carbonatos por la acción del ácido clorhídrico con desprendimiento de anhídrido carbónico.

Se ha realizado un análisis de datación cronológica mediante C 14 a unas fibras vegetales halladas en la masa de la muestra GPS, con un acelerador de partículas Tandetrón AMS (Accelerator Mass Spectrometry), tratándose de una técnica de detección no radiométrica, ya que detecta el átomo ionizado en lugar de la radiación emitida en su desintegración.

Las propiedades físicas determinadas según la norma EN-1936:2007 han sido la densidad aparente y la porosidad accesible al agua, suministrando información sobre la estructura del

material. Finalmente la dureza superficial se ha realizado con un durómetro Härtpprüfer, empleando la escala Shore C (0-100 Uds.) y siguiendo la norma UNE 102-039-85.

En el presente trabajo se expone un resumen de los resultados obtenidos, haciendo especial hincapié en aquellos datos que de una manera más directa aportan información sobre las yeserías del Alcázar y las intervenciones realizadas en las diversas estancias, de acuerdo con la caracterización de las mismas. El mantenimiento de estos elementos para evitar el avance de patologías, además de requerir de un profundo conocimiento de sus materiales, técnicas de ejecución y propiedades, necesita de unas técnicas sencillas de evaluación periódica y de unos criterios que prioricen las intervenciones si fueran necesarias.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados del análisis químico manifiestan una composición típica con una elevada riqueza en SO<sub>3</sub>, atribuible al contenido en Ca-SO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, y con una pérdida por calcinación próxima al 21%, que es la que correspondería a un yeso puro de referencia (tabla 2).

Si el contenido en SO<sub>3</sub> de un yeso dihidrato puro es del 46,50%, se puede observar que la mayoría de los yesos presentan una gran pureza (calculada suponiendo que todo éste proviene del yeso dihidrato a través de su %SO<sub>3</sub>), siendo la muestra extraída del Patio de las Doncellas (GPD) la que ha presentado el mayor índice de todas las muestras, siguiéndole igualmente con gran pureza, la muestra GPS (ambas > 45%). La tabla 3, recoge el grado de pureza de acuerdo con el contenido en SO<sub>3</sub> obtenido (la muestra de procedencia arqueológica GPL no se ha considerado aquí).

Teniendo en cuenta la ligera solubilidad del yeso dihidrato en agua que es de 2,05 gr/l. a

**TABLA 3. CONTENIDO DE SO3 DE LAS MUESTRAS EN % ORDENADO DE MAYOR A MENOR**

Contenido de Ca SO3	Alta Pureza > 45%	Media Pureza 45%-40%%	Baja Pureza < 40
Muestras	GPD, GPS	GSC, GSJ, GSJ2, GPS2, GPY2, GCA GCR, GCP, GPM, GSE, GSR	GPY, GPS3, GSA, GSF, GDR

**TABLA 4. PORCENTAJE DE IMPUREZAS DE LAS MUESTRAS DE YESERÍAS**

Muestra	GPY	GPS3	GDR	GCA	GPY2	GSE	GSF	GSJ	GSC
% Impureza	27.31	17.29	9.35	8.27	8.19	7.91	7.62	7.03	5.88
		> 10%				5-10%			
GPS	GPS2	GSJ2	GCP	GSA	GSR	GCR	GPM	GPD	
3.80	3.73	3.72	3.48	3.39	3.33	3.10	2.78	2.18	
			<5%						

20°C, y la de la anhidrita II insoluble de 3,0 gr/l<sup>11</sup>, se ha determinado el porcentaje de impurezas insolubles presentes en las muestras de yeserías. En su mayor parte deben de proceder de las materias primas, lo que nos puede dar una idea de su antigua preparación artesanal, aunque durante el largo período que dura este sistema artesanal de producción, los hornos se fueron mejorando para facilitar algunas operaciones.

En la tabla 4 se muestra la relación en orden decreciente de las impurezas insolubles en agua obtenidas. De las yeserías cuyos porcentajes son menores a un 5%, sabemos de sus intervenciones de restauración o renovación en diversas épocas, estando éstas documentadas, por lo que no es de extrañar una técnica de elaboración más depurada o una elección del material más selectiva según los casos. Podríamos suponer en principio que este conjunto de yeserías podrían corresponderse con una época moderna (siglos XVIII y XIX), al documentarse las actuaciones de 1833 sobre el Patio de las Muñecas (GPM) y el Cuarto del Príncipe (GCP)<sup>8</sup>.

El Cuarto Real o dormitorio de los Reyes moros fue enjalbegado en 1813, ocultando los estucos en azul y oro<sup>8</sup>; posteriormente, durante el período isabelino (1843-68), fueron eliminadas estas jalbegas para recuperar las yeserías ocultas,

donde tallistas y estuquistas se ocuparon de vaciar los adornos y formar los nuevos. Así mismo, se verifica la modernidad de la muestra tomada en el patio del Sol (GPS), corroborada por el análisis de datación realizado<sup>12</sup>.

También GPS2 corresponde a un trabajo moderno, a la vista de la técnica y la base de apoyo de cemento sobre la que se asienta la misma. Igualmente, la yesería de la Sala de los Reyes Católicos (GSR) fue realizada en el siglo XIX, y la de la Sala de Audiencias (GSA) intervenida, al menos, a lo largo del siglo XVI.

La muestra tomada en la Sala de la Justicia (GSJ2), aunque datada en principio como del s. XIV, por su ubicación en la esquina inferior del arco de acceso desde el Patio del León (intradós) ha podido ser reparada o complementada al tratarse de un punto situado a menor altura y más expuesto a golpes o deterioro. Por último, la pureza del material y el esmero empleado en la realización del yeso del patio de las Doncellas (GPD) dotan a esta yesería de unas cualidades que la hacen pertenecer a este grupo, a pesar de haberse ejecutado dos siglos antes.

Un segundo grupo lo componen aquellas con contenidos de impurezas situadas entre un 5 y un 10%, de las que no nos constan obras de restauración de sus yeserías, salvo las realizadas en

el Patio del Yeso por el arquitecto R. Manzano (GPY2) entre 1969-1971<sup>13</sup>, según el criterio de restauración de diferenciación entre lo antiguo y lo nuevo, aunque en este caso y debido a su técnica de preparación y aplicación, se ha podido realizar con algo de cuarzo añadido o con un yeso con más impurezas, lo que podría justificar que se encuentre en esta banda.

El último grupo, con porcentajes bastante superiores al 10%, puede ser indicativo de una selección de las materias primas y/o elaboración de las pastas más artesanal y peor cuidada que las anteriores, lo que nos acercaría a la originalidad y antigüedad de las mismas.

Los minerales más abundantes detectados en las impurezas no solubles se corresponden básicamente con las fases minoritarias encontradas en el análisis mineralógico de masas, aunque con trazas de otros minerales.

### 3.1. Propiedades Físicas

La densidad real del yeso puro es 2,31 g/cm<sup>3</sup> y la densidad aparente es lógicamente menor debido a la elevada porosidad de las muestras.

Los resultados de densidad aparente y porosidad abierta obtenidos para las muestras de yeso se muestran en la tabla 5.

Un parámetro directamente relacionado con la porosidad es la relación a/y empleada en la fabricación de las pastas, aún más considerando que está en función de la técnica de ejecución empleada en las yeserías: tallado, modelado o moldeado.

Dentro de los factores principales que influyen en la relación agua/yeso empleada en el amasado de la pasta de yeso están: la finura, el sistema de ejecución y el tiempo de trabajabilidad. Éste último depende a su vez de: la cantidad de fases presentes en el yeso, que está relacionada con el grado de cocción de la materia prima, la temperatura del agua amasada, el tiempo de amasado, la adición de aceleradores o retardadores y sobre todo de la relación agua/yeso utilizada en el amasado.

El agua que por estequiometría química necesita el yeso para la rehidratación es muy inferior a la necesaria para el amasado, de aquí que el exceso se evapora por secado durante el fraguado y endurecimiento, dejando una microestructura porosa en el rehidrato, aunque esto es necesario para conferirle una mayor trabajabilidad a la pas-

**TABLA 5. PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS YESERÍAS**

Muestra	Densidad Aparente (gr/cm3)	Porosidad Abierta (%)
GPY	1.38	41.9
GPD	1.31	43.9
GPS	1.12	47.0
GSJ	0.98	58.5
GCR	1.15	48.2
GCA	1.05	56.0
GCP	1.07	47.6
GPM	0,97	59,0
GSE	1.08	55.7
GPY2	1.06	50.0
GPS2	1.02	55.5
GSJ2	1.15	49.7
GPS3	1.21	49.1
GSR	1.12	50.9
GSF	1.22	47.8
GSC	1.20	48.1
GDR	1.03	55.1
GSA	1.02	58.1

ta en estado fresco. Por tanto, los yesos con los que se ejecutan las yeserías suelen presentar unos valores de porosidad abierta elevados, superiores al 45%, motivo por el que se los puede clasificar como materiales muy porosos. Así, un hemihidrato amasado con una relación agua/yeso de 0,8, combina 80 gr. de agua con 100 gr. de hemihidrato, aunque sólo se utilizan 18,6 gr. de agua en la reacción de hidratación.

La relación agua/yeso de amasado incide por tanto directamente en la densidad aparente del rehidrato endurecido, lo que se muestra en la tabla 6<sup>11</sup>. Estos datos se representan en la Fig. 7, donde la recta de regresión obtenida se ajusta a la siguiente ecuación:

$$y = 1.48 - 0.60x$$

siendo,

y = densidad aparente

x = relación a/y

]

El coeficiente de regresión R<sup>2</sup> ha sido 0,994. La ecuación nos indica por una parte que la relación existente entre las dos variables es inversa (a menor relación a/y mayor densidad y viceversa), y por otra, que la intensidad en la relación existente entre las dos variables es casi per-

**TABLA 6.**  
**RELACIÓN ENTRE EL AGUA DE AMASADO Y LA DENSIDAD APARENTE**

Agua/ Yeso de amasado	Agua de amasado (%)	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )
0,60	60	1,1
0,70	70	1,08
0,80	80	1,0
0,90	90	0,95
1,00	100	0,88
1,20	120	0,75

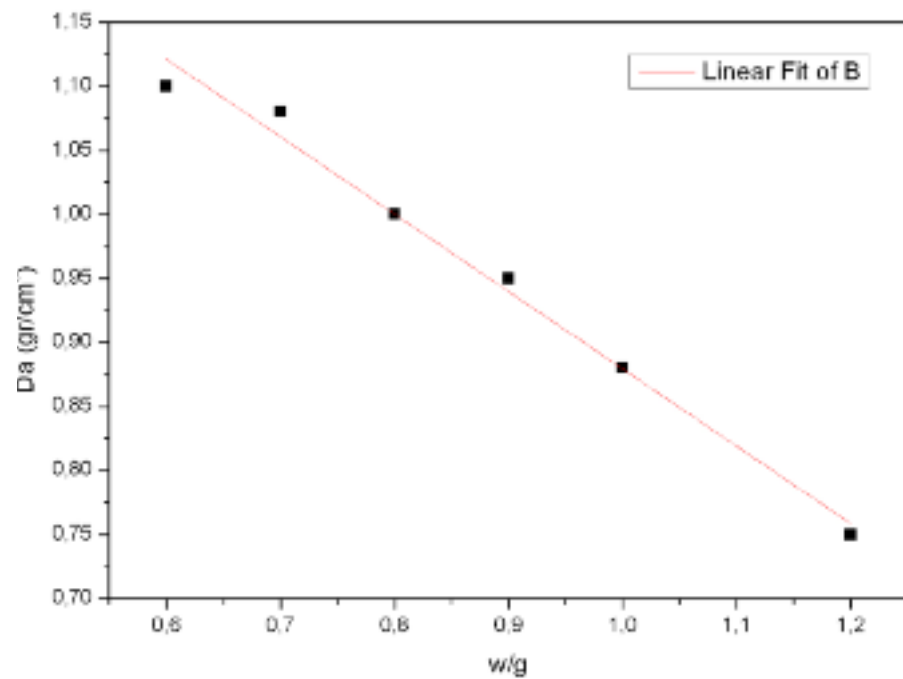


Figura 7.  
Representación gráfica de  
Da vs a/y, incluyendo recta  
de regresión.

fecta considerando la tipología y evolución variable de las muestras.

De todo lo anterior se puede afirmar que, mientras mayor es la porosidad de una muestra de yeso, mayor es la cantidad de agua que se empleó en la elaboración de la pasta, lo que, como se indicó anteriormente, puede estar relacionado con la técnica de ejecución seguida, menor es su compacidad, la densidad aparente y la resistencia mecánica del producto fraguado.

El valor de la porosidad abierta de las yeserías del Alcázar ha oscilado dentro del intervalo del 41,9% a los 59%, resultados que pueden considerarse normales para las pastas de yeso. En el caso de las muestras GSA, GSJ e GPM, las porosidades han sido del 58,1%, 58,5% y

59%, valores que indican que se empleó en ellas una mayor relación a/y que en las demás, probablemente para conseguir una pasta con más tiempo de trabajabilidad, debido a la dificultad de conformación de su decoración floral (Fig. 8a y 8b), o que se haya añadido agua durante la realización de los trabajos. No se descarta que al haberse tomado la muestra de una terminación en voluta y por su dificultad de ejecución mediante tallado en fresco, se le pudiera haber añadido más agua para poder conformar y/o repasar la compleja geometría buscada.

El mismo argumento se puede aplicar a las muestras GSE o GDR con un 55,7% y un 55,1% de porosidad. La muestra GCA posee un 56% de porosidad, lo que puede ser atribuible a su localización exterior, lo que la hace más vulnerable a las humedades y disoluciones parciales, a pesar de su protección con varias capas de enjalbegado de cal y yeso. Presumiblemente se trate de placas de yeserías sujetas al paramento mediante clavos forjados (Fig. 9), según el sistema descrito por Rubio<sup>14</sup>, según el cual las placas eran colocadas en el paramento de forma ordenada y sistemática. La dificultad práctica de su colocación estribaba en situar las piezas en un mismo plano con respecto al paramento en que se apoyaba, por lo que se colocaban las placas de yeso sobre el paramento mediante la aplicación de “tantos de barro” situados sobre el reverso de la placa, quedando fijados al mismo mediante presión con golpes, a la vez que se nivelaba con las placas contiguas. Tras este proceso, la placa quedaba nivelada pero sin sujeción permanente y hueca por su reverso, por lo que se vertía entonces una colada de yeso negro, de granulometría más gruesa y con más impurezas, de color gris, desde su parte superior para que la pieza permaneciera totalmente adherida al paramento. Durante la preparación de la placa, aún fresco el yeso, se colocaban clavos de hierro forjado de unos 12 cm. de longitud, introduciendo la cabeza del clavo en el interior de la masa de la misma, para que una vez endurecida quedara embutido en la placa y asomando por su reverso, constituyendo otro elemento más que contribuye a la fijación<sup>14</sup>, aunque debido a la superficialidad de la muestra obtenida, no se ha podido confirmar la existencia de una capa o colada interior.



Figura 8.  
Yeserías de GSJ e GPM.  
a) Detalle de yesería correspondiente al arranque de uno de los arcos de la Sala de la Justicia;  
b) Detalle de sebka calada del Patio de las Muñecas. En la página siguiente.

Las yeserías GPD e GPY han sido por el contrario las que han presentado unos valores de porosidad más bajos, aunque probablemente por distintos motivos. En el caso de GPD al tratarse de una yesería que tiene más de 4 cm de espesor y para evitar el descuelgue de la misma durante su ejecución, no se descarta que se aplicara en varias capas compactadas y que la pasta utilizada se amasara con una baja relación a/y para obtener una consistencia seca. Para GPY, debido a su textura gruesa con granos de cuarzo y a su probable ejecución, aplicado directamente sobre una base de ladrillo, debieron emplearse bajas relaciones a/y, lo que conduce a un yeso de fraguado rápido y de baja porosidad.

Por tanto, para trabajos de tallado o labrado en seco se puede preparar un yeso de fraguado más rápido y para trabajos de modelado es preciso que fuera más lento. Para labores de moldeado, se pueden emplear moldes con una gran riqueza de formas y detalles que precisen de una dosificación más líquida de la pasta que rellene

bien todos los espacios del molde, o bien se puede tratar de moldes más sencillos en sus formas que permitan el empleo de una pasta más plástica.

### 3.2. Dureza superficial hardness

La dureza superficial del yeso está influenciada por una gran cantidad de variables como son: la relación agua/yeso, el tipo de yeso, el espesor de aplicación, el tipo de soporte, la humedad, la técnica ejecución utilizada, etc., siendo la primera la más determinante, ya que como hemos comentado en el apartado anterior, a mayor relación agua/yeso, mayor porosidad abierta y menor dureza superficial tiene. La influencia del agua de amasado fue investigada por Barriac<sup>15</sup> obteniendo un descenso casi lineal de la dureza con el aumento de la relación agua/yeso, desde una dureza de más de 90 unidades de dureza Shore C para una relación a/y de algo menos del 0,5, hasta otra de menos de 50 unidades

Figura 8.  
Yeserías de GSJ e GPM.  
b) Detalle de sebka calada del Pa-  
tio de las Muñecas.



de dureza Shore C para una relación a/y de 1,2.

Las medidas de dureza se han realizado sobre las muestras una vez eliminadas sus capas de recubrimiento para evitar su influencia. Además, aunque han sido escasas las cantidades obtenidas para no dañar en exceso las yeserías y por tanto las superficies de ensayo, los

resultados obtenidos, con una media de diez ensayos por muestra, se pueden considerar satisfactorios. Con carácter comparativo se muestran en la tabla 7 algunos valores de dureza superficial, considerados como típicos para algunas clases de yesos de revestimiento actuales una vez secos<sup>11</sup>. Se puede observar que



Figura 9.  
Detalle de los clavos de hierro  
que sostienen las placas  
de yeserías de GCA.

todas las yeserías han presentado unos resultados de dureza que podrían considerarse como buenos o incluso elevados, según las muestras de que se trate, sólo la muestra YSJ, YCA, YSE, YPM, e YSA han sido las que han tenido una dureza inferior.

Estas medidas de la dureza pueden proporcionar información de utilidad en el control de calidad de los productos a base de yeso una vez

ejecutados en obra. Profundizando en este extremo, se ha estudiado la relación existente entre la porosidad y la dureza (Tabla 8) de las muestras de yesería, tanto gráficamente como matemáticamente, mediante regresión lineal (cálculo de la recta de regresión y su ecuación), obteniéndose los resultados que se muestran en la Fig. 10. La recta de regresión obtenida tiene la siguiente ecuación:

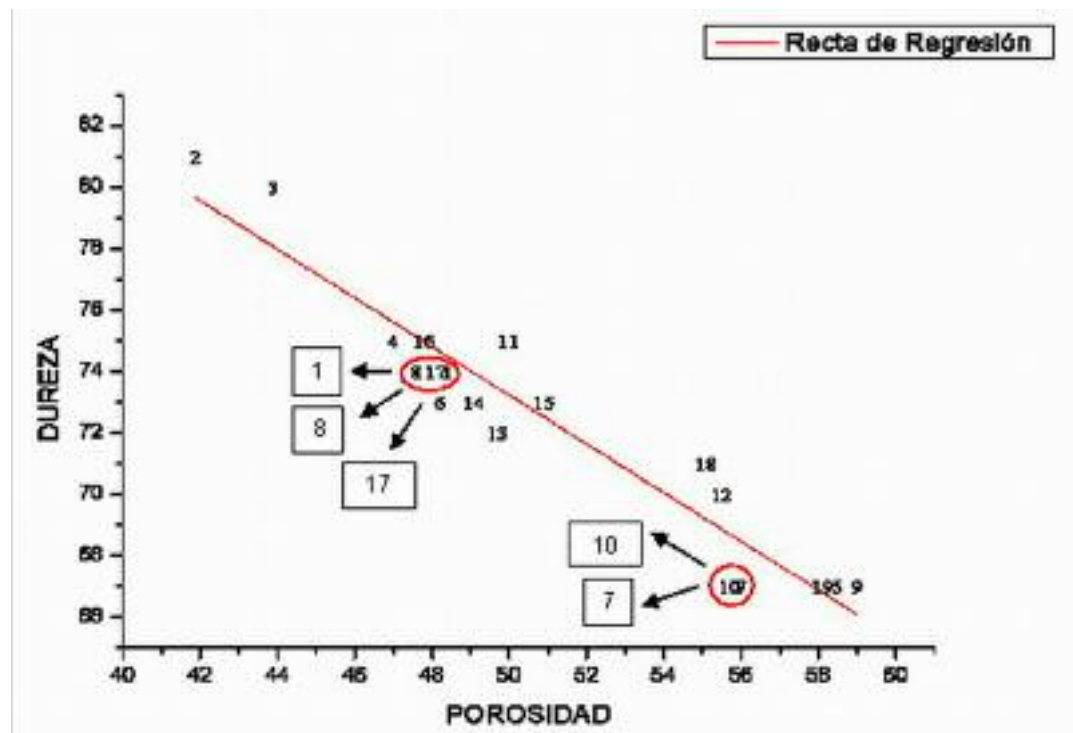
**TABLA 7.**  
**VALORES DE DUREZA SUPERFICIAL HABITUALES PARA DISTINTAS CLASES DE YESOS DE REVESTIMIENTOS ACTUALES**

Tipo de yeso	Guarnecido y enlucido tradicional	Panel de escayola	Revestimientos proyectados	Alta dureza
DUREZA SHORE C	45	55	65	80

**TABLA 8. VALORES DE POROSIDAD Y DUREZA SUPERFICIAL DE LAS YESERÍAS**

Muestra	%Porosidad	Dureza
GPY	41.9	81
GPD	43.9	80
GPS	47.0	75
GSJ	58.5	67
GCR	48.2	73
GCA	56.0	67
GCP	47.6	74
GPM	59.0	67
GSE	55.7	67
GPY2	50.0	75
GPS2	55.5	70
GSJ2	49.7	72
GPS3	49.1	73
GSR	50.9	73
GSF	47.8	75
GSC	48.1	74
GDR	55.1	71
GSA	58.1	67

Figura 10.  
Representación gráfica de dureza vs porosidad, incluyendo la recta de regresión.



$$D = 113,32 - 0,80 P$$

Siendo,

P = % porosidad abierta

D = dureza superficial Shore C

El coeficiente de regresión  $R^2$  ha sido 0,96, indicando por una parte que la relación existente entre las dos variables es inversa (a mayor dureza menor porosidad y viceversa), y por otra, que la intensidad en la relación existente entre las dos variables, de acuerdo con el tipo de muestra objeto de estudio, ha sido alta aunque no perfecta. Este último hecho se debe tanto al pequeño número de muestras utilizado para su cálculo, como a las condiciones en las que se ha debido efectuar la medida de la dureza sobre las yeserías, ya que al contar éstas con relieves decorativos y no tratarse de superficies completamente planas, las medidas generadas con el durómetro pueden arrojar errores debido a su dificultad de aplicación.

La ecuación determinada que relaciona la porosidad con la dureza tiene como aplicación práctica poder determinar mediante la medida de la dureza superficial con el durómetro Shore C (ensayo no destructivo) la porosidad de una yesería, propiedad indicativa de la calidad y estado de conservación de la misma.

#### 4. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se pueden extraer de los resultados obtenidos son:

- Desde el punto de vista de la composición química, las yeserías estudiadas se pueden agrupar con respecto a su contenido en  $SO_3$ , expresado como sulfato de calcio dihidrato  $Ca SO_4 \cdot 2H_2O$ , en tres clases: alta, media y baja pureza.

- Las proporciones de residuos insolubles obtenidos nos revelan tres grupos diferenciados de yeserías: Un primer grupo, con más de un 10%, que corresponde a muestras del período almohade o inicios del mudéjar. Un segundo grupo, entre un 5 y un 10%, que se relaciona con aquellas en las que no nos constan actuaciones de restauración alguna, salvo las realizadas en el Patio del Yeso (GPY2). Un tercer grupo, con me-

nos de un 5%, que corresponde a yeserías que han podido ser restauradas.

- Todas las yeserías están compuestas mayoritariamente por sulfato de calcio dihidrato, habiéndose identificado de forma habitual trazas de anhidrita II, cuarzo, aragonito, calcita, dolomita y celestina. En la muestra GPY se han detectado calcita y cuarzo en mayor contenido que en las demás, siendo probablemente impurezas que tienen su origen en el aljez.

- Del análisis químico y mineralógico de las muestras se deduce que todas las yeserías son pastas de yeso, formadas fundamentalmente por sulfato cálcico rehidratado (dihidrato) con más o menos impurezas, sin adición intencionada de cal o arena, descartándose por tanto que pudiera tratarse de morteros de yeso o morteros bastardos de yeso y cal.

- La composición química y mineralógica de las yeserías las hace distinguibles, a la vez que refuerza la cronología de las mismas en la mayoría de los casos. También se puede afirmar en función de los contenidos de impurezas, que el proceso de elaboración de los yesos almohades debía ser menos cuidado que el practicado por los mudéjares, a pesar de seguir ambos técnicas y procedimientos artesanales.

- Las durezas superficiales obtenidas para las yeserías se han situado dentro del intervalo de 67 a 81 unidades en la escala Shore C. Teniendo en cuenta la dureza que tienen los diversos tipos de guarnecidos de yeso aplicados en la actualidad, que oscilan entre 45 y 80 unidades, se puede considerar que todas las yeserías, a excepción de GSJ, GPM e GCA, están más cercanas al extremo superior o de más alta dureza.

- Entre la dureza y la porosidad, su coeficiente de regresión ha sido de 0,96, lo que indica una relación entre las dos variables inversa (a mayor dureza menor porosidad y viceversa), y que la intensidad en la relación entre ambas ha sido alta. Esta ecuación tiene como aplicación práctica poder determinar mediante la dureza superficial (ensayo no destructivo) la porosidad de una yesería y consecuentemente, la durabilidad de la misma.

- Como conclusión final se podría decir que el estado de conservación de las yeserías estudiadas, basado exclusivamente en las muestras puntuales obtenidas y en los análisis y pruebas realizadas a las mismas, es bueno en general, salvo patologías puntuales observadas



en algunas de ellas como en GCA, GCP, GDR y GPS.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Patronato del Real Alcázar de Sevilla y al CITIUS (Centro de Investigación, tecnológico e innovación de la Universidad de Sevilla), las facilidades y colaboración ofrecidas para la consecución de este trabajo.

## REFERENCIAS

<sup>1</sup> Grabar, Oleg: *La Formación del Arte Islámico*, ed. Cátedra, Madrid, (1984).

<sup>2</sup> López Borges, V. H., Burgio, L. y Clark, R.J.H.: “Documentación y autenticación de yeserías nazaries a través del tratamiento de conservación y el análisis científico”. *Preprints GE-IIC conference: Investigación en conservación y restauración. Spain*, p.p. 109-117. Museu Nacional d'Art de Catalunya. Apartado 3.5.5. (2005).

<sup>3</sup> A. Santos Silva, Adriano P., A. Magalhaes, J. Pires, A. Carvalho, A. Joao Cruz, J. Mirao and Candeias A.: “Characterization of historical mortars from Alentejo’s religious buildings”, *International Journal of Architectural Heritage*, 4: 138–154, 2010 Copyright Taylor & Francis Group, LLC, ISSN: 1558-3058 print /1558-3066 online Ashok, R. (ed.) 1993. *Artists’ Pigments. A Handbook of their History and Characteristics*, vol.2, Oxford University Press, Oxford, (2010).

<sup>4</sup> Manzano Martos, R., *Los Conservadores Municipales del Real Alcázar*. Sevilla: Patronato del Real Alcázar de Sevilla, (2003).

<sup>5</sup> Hernández-Núñez, J. C. y Morales, Alfredo J.: *El Real Alcázar de Sevilla*, Scala Publishers Ltd., (1ª ed.). Imp. En España por Fournier A. Gráficas, S.A., London, (1999).

<sup>6</sup> Gestoso y Pérez, José: *Guía artística de Sevilla: historia y descripción de sus principales monumentos religiosos y civiles, y noticia de las preciosidades artístico-arqueológicas que en ellos se conservan*, (1926).

<sup>7</sup> Marín-Fidalgo, A.: *El Real Alcázar de Sevilla*, Imp. Estudios Gráficos y Publicado por Aldeasa, (1998).

<sup>8</sup> Cómez, R.: *El Alcázar del Rey Don Pedro*, Diputación Provincial de Sevilla, Sevilla, (1996).

<sup>9</sup> Lleó-Cañal, V.: *El Real Alcázar de Sevilla*, Patronato del Real Alcázar: Lunweg, D.L., (2002).

<sup>10</sup> Pavón Maldonado, B.: *El Arte Hispanomusulmán en su Decoración Floral*, Mateu Cromo, S.A. Pinto, 2ª edición aumentada, M.A.E., Agencia Española de Cooperación Internacional y Dirección General de Bellas Artes y Archivos del Ministerio de Cultura, Madrid 1990, (1ª edición, Madrid, 1981)

<sup>11</sup> Villanueva Domínguez, L. y García Santos, A.: *Manual del Yeso*, Asociación Técnica y Empresarial del Yeso ATEDY-DOSSAT 2000, Madrid, (2001).

<sup>12</sup> Blasco-López, F.J., Alejandro Sánchez, F.J., Martín del Río: “Evolución de las yeserías del patio del Yeso y del Sol del Real Alcázar de Sevilla a través de las fuentes escritas reforzadas por ensayos de caracterización”, *Actas del VI Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, ISBN. 978-84-9728-317-5, Instituto Juan de Herrera, CEHOPU, Cedex, p.p. 201-209, Valencia, (2009).

<sup>13</sup> Manzano Martos, R.: *La Arquitectura Almohade en Sevilla*. En *Sevilla Almohade*, Fundación de las tres Culturas del Mediterráneo, Coordinadora Magdalena Valor Piechota, Edita Universidad de Sevilla, Junta de Andalucía y Ayuntamiento de Sevilla, Sevilla-Rabat, (1999).

<sup>14</sup> Rubio Domene, R. F.: “Fijación de paños y yeserías en el periodo nazarí de la Alhambra de Granada”. Rubio Domene, R. F. [ed.], ISBN: 84-932568-1-1. Granada, (2002).

<sup>15</sup> Barriac, P., Tonind. Ztg., Vol. 97, (6), *Measure de la dureté des plâtres en laboratoire et sur chantier*, p. 146-151, (1973).

# ACTIVIDADES

## I. Exposiciones durante el año 2012

- Fundación María de las Mercedes. Exposición de Fotografía “La luz” de Ramón León. Del 2 al 31 de enero.

- Vida y Espiritualidad de la Madre Teresa de Calcuta. Del 15 de febrero al 15 de marzo.

- Hermandad del Valle. Exposición de Paños de la Verónica. Del 22 de marzo al 12 de abril.

- Moleiro Editores. El Gabinete de las Maravillas. Del 9 de mayo al 10 de junio.

- Fundación Pequeño Deseo. Del 1 al 30 de junio.

- Tesoros de Montenegro. Los exvotos del Santuario de la Virgen de la Roca. Del 12 de octubre al 9 de diciembre.

- Delegación de Igualdad y Bienestar Social. Exposición “No seas cómplice”. Del 15 de noviembre al 27 de diciembre.

## II. Conferencias 2011

Aula para la Recuperación de la Memoria Histórica

- Guerra y represión en la provincia de Sevilla (Marzo, 35º ciclo).

Patronato del Real Alcázar  
Academia de Buenas Letras.  
- Ciclo Gaspar Melchor de Jovellanos. Días 22 y 23 de Noviembre de 2012.

## III.- Publicaciones 2011

- Historia de Pedro I. Prosper Merimé

- Revista Apuntes del Real Alcázar XII

## IV. Ciclo de Cine Infantil

- Ciclo “Cine en Familia”. Navidad 2011. Del 27 al 29 de diciembre.

## V. Conciertos temporada 2011

- Ciclo “Noches en los jardines del Real Alcázar 2011. XII Edición”. Del 29 de junio al 11 de septiembre. 75 conciertos.