

► Nuevos materiales en la aplicación de Morteros Tradicionales de Restauración

# Innovaciones desde la Alhambra

Innovations in Alhambra. New materials in the application of Traditional Restoration Mortars

GRANADA

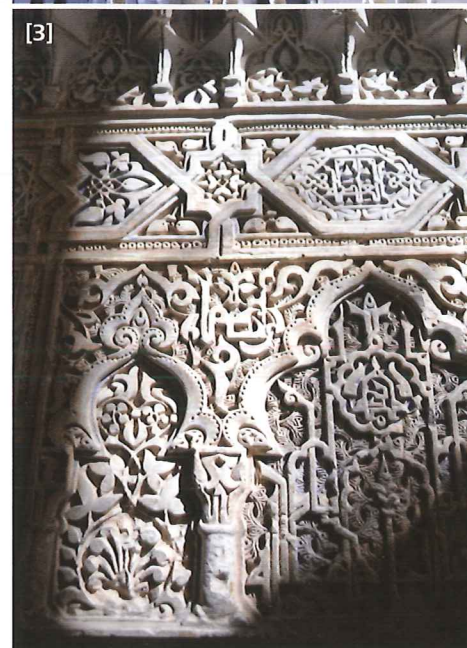
Texto y Fotos: Ramón Francisco Rubio Domene, Jefe del Taller de Restauración ◀

*El trabajo de más de 20 años sobre las yeserías de la Alhambra, y tras varios procesos de investigación y ensayos sobre distintos materiales, se presenta un nuevo mortero de restauración, patentado por el Patronato de la Alhambra y Generalife, cuyo inventor, Ramón Rubio, expone a continuación.*

*After more than 20 years of work on the plasterwork of the Alhambra, and after several research processes and testing on different materials, a new restoration mortar is introduced and patented by the Council of the Alhambra and the Generalife, whose inventor, Ramón Rubio, presents in the following.*

Palabras clave: Patente • invención • mortero • yeserías • restauración • Alhambra

Key words: Patent • invention • mortar • plastering • restoration • Alhambra



## NORMATIVA INTERNACIONAL DE RESTAURACIÓN

La XV Conferencia Trienal, celebrada en Nueva Delhi, en septiembre de 2008, estableció la terminología para definir la conservación del patrimonio cultural tangible, considerando que,

(a) El objetivo es transmitir el patrimonio cultural tangible a futuras generaciones, asegurando su uso actual y respetando su significado social y espiritual,

La mayoría de intervenciones de restauración sobre yeserías en la Alhambra pasan por la casi obligada reposición de motivos, en los casos que se cuenta con la documentación necesaria, y conociendo las características que poseen estas yeserías, donde la práctica totalidad de los motivos se basan en una composición simétrica, donde los elementos se van repitiendo con movimientos de rotación, traslación o reflexión.

## INTERNATIONAL REGULATION OF RESTORATION

The 15th Triennial Conference, held in New Delhi in September 2008, established the terminology to characterize the conservation of tangible cultural heritage, considering that

(a) The objective is to hand on tangible cultural heritage to future generations while ensuring its current use and respecting its social and spiritual significance.

Most interventions on plasterwork restoration in the Alhambra go through the almost compulsory reposition of motifs, in the cases that have the necessary documentation, and knowing the characteristics of these plasterwork, where almost all of the motifs are based on a symmetrical composition, where the elements are repeated with movements of rotation, translation or reflection.

[1] Bóveda de mocárabes en yeso de la Sala de los Reyes.

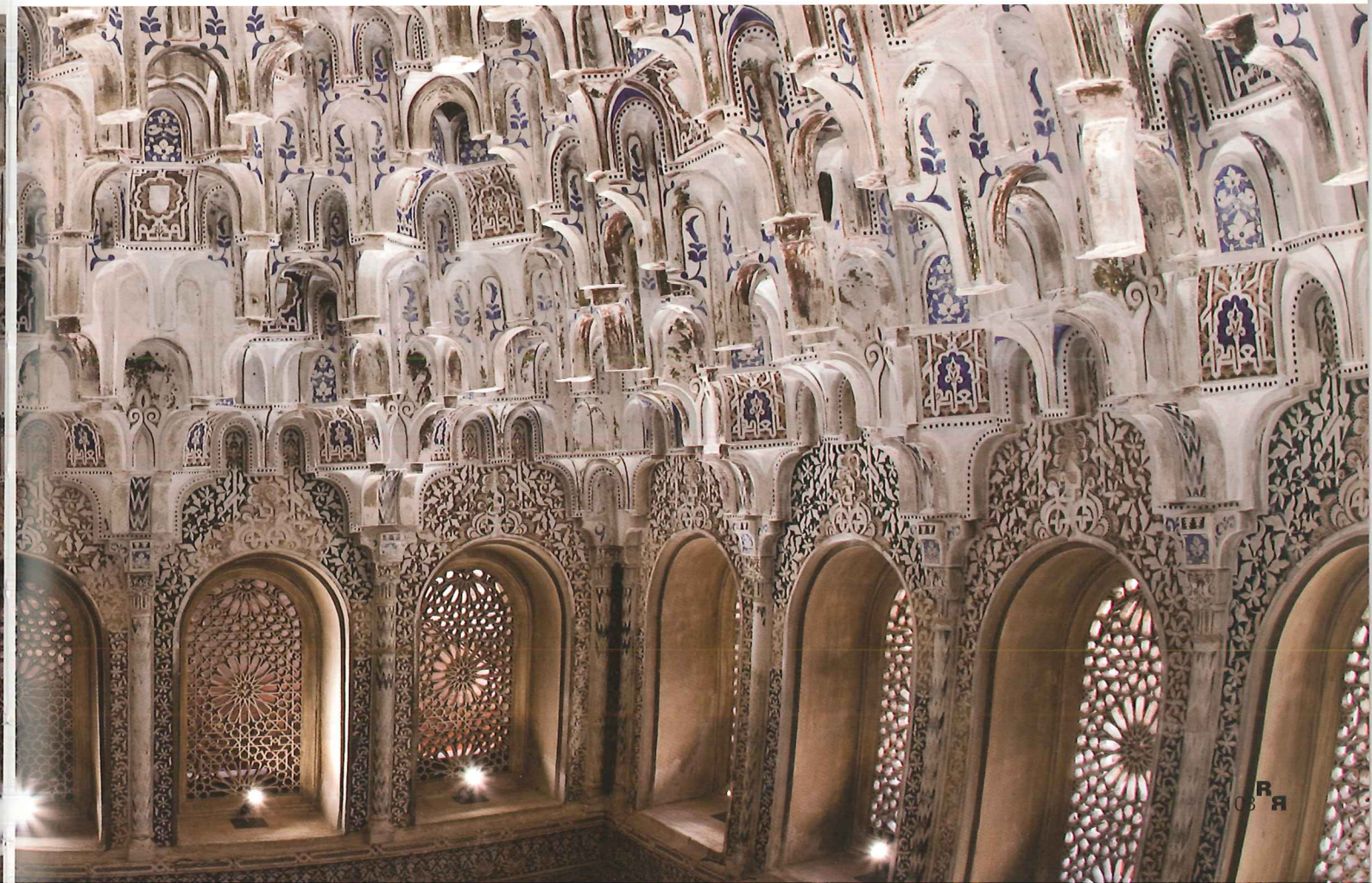
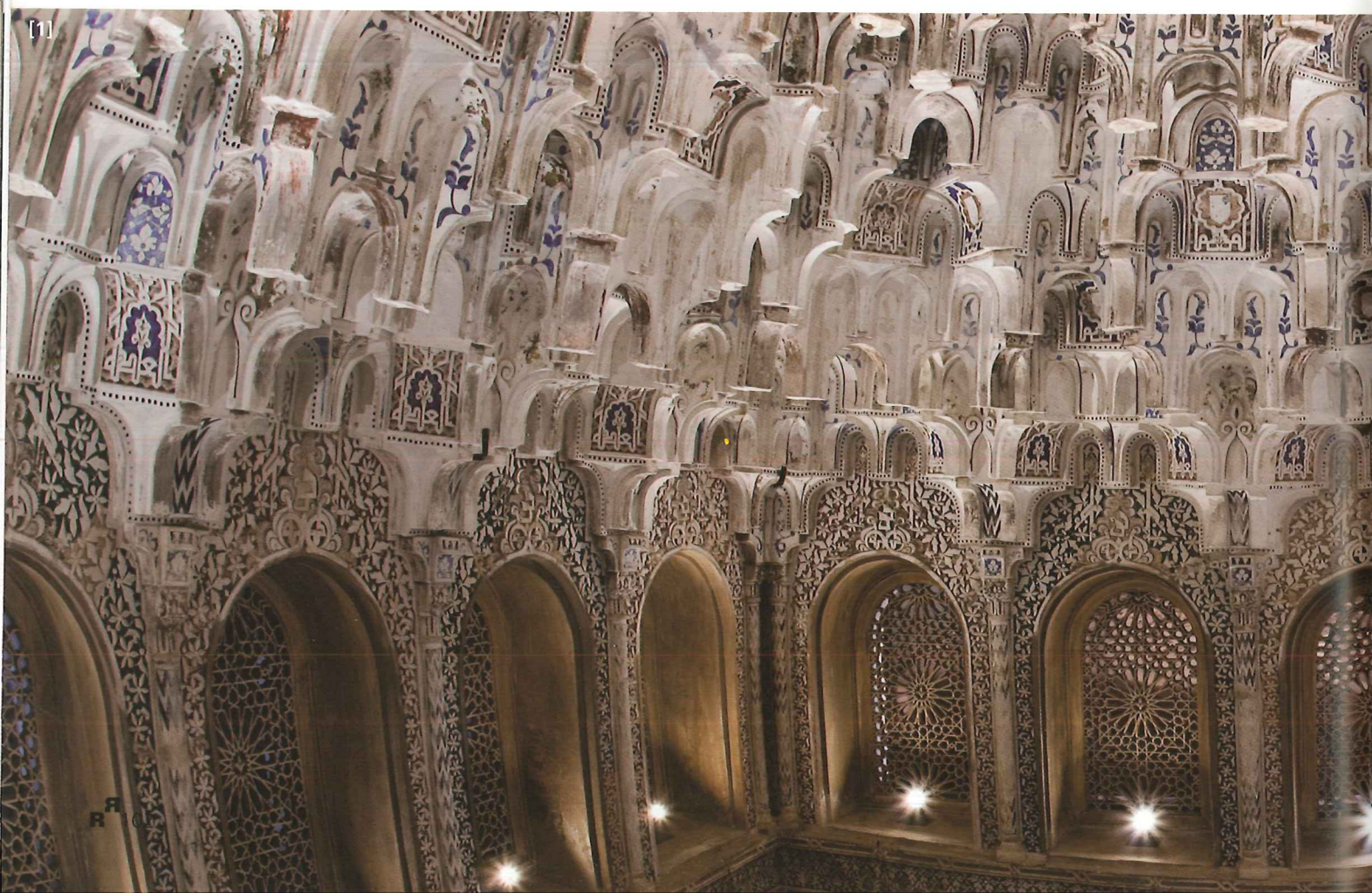
[1] Moucharaby plastered vault of the Hall of the Kings.

[2] Patio de los leones de la Alhambra.

[2] Court of the Lions of the Alhambra.

[3] Detalle yesería.

[3] Plasterwork detail.





La LEY DEL PATRIMONIO HISTÓRICO DE ANDALUCÍA. LEY 14/2007, de 26 de noviembre, en su título II CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN, y en su artículo 20, habla de los criterios de conservación, que son:

1. La realización de intervenciones sobre bienes inscritos en el Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz procurará, por todos los medios de la ciencia y de la técnica, su conservación, restauración y rehabilitación.

2. Las restauraciones respetarán las aportaciones de todas las épocas existentes, así como las pátinas que constituyan un valor propio del bien.

3. Los materiales empleados en la conservación, restauración y rehabilitación deberán ser compatibles con los del bien. En su elección se seguirán criterios de reversibilidad, debiendo ofrecer comportamientos y resultados suficientemente contrastados.

4. En el caso de bienes inmuebles, las actuaciones a que se refiere el apartado 3 evitarán los intentos de reconstrucción, salvo cuando en su reposición se utilicen algunas partes originales de los mismos o se cuente con la precisa información documental y pueda probarse su autenticidad. Si se añadiesen materiales o partes indispensables, las adiciones deberán ser reconocibles y evitar las confusiones miméticas.

Por tanto, el trabajo de restauración sobre yeserías de época nazarí, como son las decoraciones de la Alhambra, lleva implícito la elección de un criterio de intervención que sirva para diferenciar la parte restaurada o añadida de la original, como marca el código deontológico establecido por las normas internacionales de restauración.

Es por ello que la elección de alguno de los criterios existentes hasta ahora en el campo de restauración, como la reconstrucción a bajo nivel, reconstrucción de un sólido capaz, etc., no den una solución a los problemas que se plantean sobre las yeserías de la Alhambra. Actualmente, la elección de uno de los criterios ya existentes, solamente contribuye a confundir la lectura del motivo, siendo bien diferente la intervención sobre un fragmento descontextualizado, que forma parte de la colección de un museo el cual será expuesto en una vitrina, o como es el caso diferente en las intervenciones in situ, que son parte de un todo donde su lectura es entendible como parte del conjunto de un espacio, como puede ser el Patio de Arrayanes, el Salón de Comares, etc.



[4]

The LAW OF THE HISTORIC HERITAGE OF ANDALUSIA. Law 14/2007, of November 26, talks about conservation criteria in its Title II CONSERVATION AND RESTORATION, and in the Article 20. These criteria are:

1. The execution of interventions on properties registered in the General Catalogue of the Andalusian Historical Heritage will seek their conservation, restoration and rehabilitation using every mean given by science and technology.

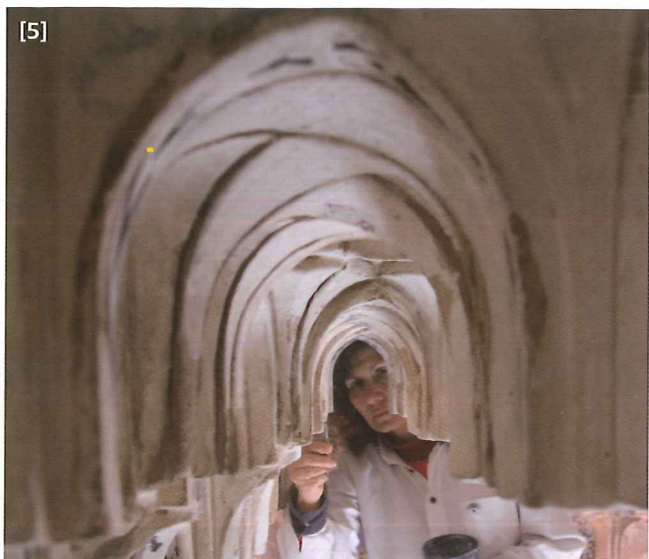
2. The restorations will respect the existing contributions of all periods, as well as patinas, which constitute an own value of the asset.

3. The materials used in the conservation, restoration and rehabilitation shall be compatible with the ones of the asset. For their selection, reversibility criteria will be taken into account, and they must provide enough contrasting behaviors and outcomes.

4. In the case of real property, the actions, referred to in paragraph 3 will avoid the attempts of reconstruction, except when original parts of the real property are used for the reconstruction or when the accurate documentary information is available and its authenticity can be proved. If materials or indispensable parties were to be added, the additions should be recognizable and avoid mimetic confusions.

Therefore, the restoration work on plasterwork from the Nasrid time, such as the decorations of the Alhambra, implies the choice of an intervention approach that allows the differentiation of the restored or added part to the original ones, as specified by the code of ethics established by the International Regulation of Restoration.

That is why the selection of some of the existing criteria up to now, in the field of restoration, and low levelled reconstruction, reconstruction of a building envelope, and so on, does not give a solution to the problems that arise when dealing with the plasterwork of the Alhambra. Currently, the choice of one of the existing criteria, only contributes to confuse the reading of the motif, a very different process when the motif is a fragment out of context, as part of a museum collection, where it will be exhibited in a glass cabinet, or when the motif is on-site as part a whole and thus its reading is understandable as a part of a whole space, like for example, in the case of the Court of the Myrtles, the Comares Palace, etc.



[5]



[6]

[4] Trabajos de restauración.

[5] y [6] Restauración sobre las bóvedas de mocárabes de la Sala de los Reyes.

[4] Restoration works.

[5] and [6] Restoration on moucharaby vaults of the Hall of the Kings.

Es por ello que se hacía necesario la aplicación de un criterio de restauración sobre yeserías, que dejase a un lado las reconstrucciones con falsos históricos que se han realizado hasta fecha reciente. Además, hay que diferenciar y respetar en todo momento las intervenciones de épocas pasadas.

#### LA ALHAMBRA: MAYOR CATÁLOGO DE RESTAURACIONES DEL MUNDO

La Alhambra, desde el momento de su creación, ha sufrido un continuo devenir de intervenciones de mantenimiento, remodelaciones y restauraciones, en el último periodo del siglo XX, las cuales no han finalizado aún. Por esta razón, probablemente engloba el mayor catálogo de restauraciones del mundo, donde se puedan contemplar las distintas intervenciones realizadas en más de 8 siglos de historia, con diferentes métodos, técnicas y materiales. Dichos trabajos se han estudiado desde el punto de vista analítico, y se caracterizan por unos materiales que muestran una técnica que identifica una sociedad en una época concreta, la cual hay que respetar como huella de la historia. En el caso de las yeserías, debido al buen comportamiento de compatibilidad, han sido restauradas siempre con el mismo material original de la época nazarí, es decir, con sulfato cálcico, en sus diferentes variedades, ya sea yeso blanco o negro, escayola, o con la mezcla de ambos.

Actualmente, con la experiencia de más de 20 años de trabajo de restauración sobre yeserías nazaríes, junto con el estudio comparativo realizado con los resultados de los análisis mediante disposición estratigráfica y estudio de elementos compositivos, se pueden reconocer y datar cronológicamente yeserías de época almohade-almorávide, de las yeserías nazaríes de los siglos XIII-XIV y XV, y de las reposiciones de las grandes épocas de restauraciones adornistas, realizadas en escayola por la familia de los Contreras en el siglo XIX, como en la Sala de las Camas del Baño de Comares, o en la Sala de los Reyes, así como las restauraciones realizadas por Torres Balbás en el siglo XX con yeso negro como las realizadas en

That is why it was necessary to determine and apply a criteria for the restoration of plasterwork, which will prevent the reconstructions with false historical that have been made until recently. In addition, one must always distinguish and respect the interventions of the past.

#### THE ALHAMBRA: BIGGEST CATALOGUE OF WORLD RESTORATIONS

From the moment of its creation, the Alhambra has undergone a continuous evolution with maintenance operations, renovations and restorations, in the fourth quarter of the twentieth century, which are not yet over. Thus, it probably encompasses the largest catalogue of restorations in the world, in which the different interventions realised over more than 8 centuries of history and with different methods; techniques and materials can be studied. These works have been studied from the analytical point of view, and are characterised by some materials that show a technique that identifies a particular society at a specific time, which must be respected as a mark of the history. In the case of the plasterwork, due to good compatibility behaviour, they always have been restored with the same original material of the Nasrid period, i.e. calcium sulphate, in its different forms, thus either white or black plaster, or with the mixture of both.

Nowadays, with the experience acquired over more than 20 years of restoration work on Nasrid plastering, along with the comparative study done with the results of the analysis by stratigraphic layout and the study of compositional elements, it is possible to recognise and chronologically date plasterwork from the Almohad-Almoravid periods, Nasrid plasterwork of the 13th-14th and 15th centuries, and replacements of the great periods of decorative restorations, made of plaster by the Contreras family in the 19th century, like in the Room of the Beds of the Bath of Comares, or in the Hall of the Kings, as well as the restorations performed by Torres Balbas in the 20th century with black plaster as those seen in the Courtyard of the Harem,





el Patio del Harén, donde recupera espacios, levanta volúmenes, pero no reproduce motivos decorativos.

Tanto las yeserías del periodo almohade-almorávide como las de época nazarí, presentan una capa blanca de terminación de un grosor entre 150 - 200  $\mu\text{m}$ , cuya composición básica es de Sulfato Cálcico. Solamente las yeserías nazaríes, que están realizadas con molde, presentan una capa intermedia de color naranja uniforme, de fino grosor y perfectamente aplicada, con un grosor entre 20 - 40  $\mu\text{m}$ .

Desde 1936, en que el arquitecto Leopoldo Torres Balbás, director de las obras de restauración de la Alhambra, abandona el conjunto monumental nazarí, es difícil de situar el alcance de las restauraciones, donde se interviene mayoritariamente con escayola. Este material era finalmente patinado con agua-barro, lo que hace crear un mimetismo difícil de localizar entre las intervenciones de los últimos 70 años.

where he recovers space, lifts volumes, but does not reproduce decorative motifs.

Both the plasterwork from the Almohad-Almoravid and the Nasrid periods, carry a white completion layer around 150 - 200 microns thick, whose basic composition is calcium sulfate. Only the plasterwork from Nasrid period that are made with mould, hold a thin evenly orange intermediate layer, perfectly applied and around between 20 - 40 microns thick.

Since 1936, year when the architect Leopoldo Torres Balbas, director of the restoration works of the Alhambra, abandoned the Nasrid historical monuments, it is difficult to evaluate the extent of the restorations, which mostly involved plaster. This material was finally polished with water-clay, creating a mimesis difficult to track between the interventions of the past 70 years.

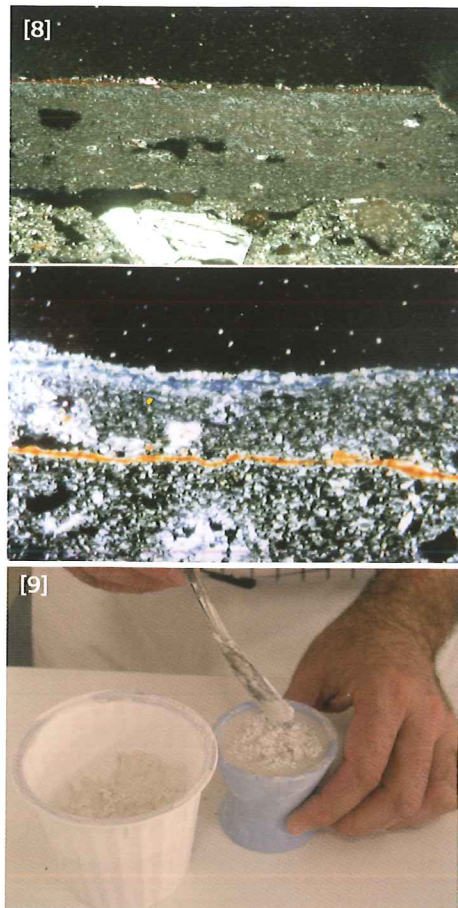
[7] *Patio del Harén.*

[8] *Estudio comparativo de la disposición estratigráfica y estudio de elementos compositivos.*

[9] *Ensayo en el mortero.*

[10] y [11] *Fenómeno de la fluorescencia.*

[12] *Aplicación del nuevo mortero.*



## LA NECESIDAD DE UN NUEVO CRITERIO

Desde hace algún tiempo se viene gestando la intención de aportar un nuevo método de reconstrucción volumétrica. En concreto, desde el Congreso de Restauración de Valencia de 1990, donde se conocieron los trabajos de Miguel Peinado Pérez, profesor de la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales (E.S.C.R.B.C.) de Madrid, el cual introducía el mineral de la barita en los nuevos estucos en las lagunas con pérdidas de policromías, las cuales finalmente se reintegraban cromáticamente. Estos Estucos Baritados se localizaban perfectamente cuando se obtenía una placa mediante radiación con rayos X.

En este sentido, existía la necesidad de introducir un nuevo criterio de restauración sobre las yeserías, pues en algunos casos como la restauración sobre las bóvedas de mocárabes de la Sala de los Reyes, era necesario "restaurar lo restaurado". Por esta razón, desde el Patronato de la Alhambra y Generalife se planteó la gran pregunta: ¿cómo se interviene una yesería sobre la que ya se han realizado varias restauraciones con yeso en el siglo XVII, y con escayola en el siglo XIX?

La suma de todas estas intervenciones provoca que el sistema empleado hasta el momento, que consiste en realizar reposiciones con el mismo material (sulfato cálcico), sumado al envejecimiento que provoca el paso del tiempo, lleva a confundir materiales originales con los de reposiciones posteriores, creando falsos históricos.

Por todo ello, en 2008 comenzaron los trabajos de identificación de intervenciones mediante la diferenciación de materiales, teniendo en cuenta un nuevo código de color. Como se puede comprobar, tanto en las yeserías de época almohade-almorávide, como en las de época nazarí, existe un código de color que las identifica y diferencia entre ellas. A su vez, debido a la desaparición de la técnica de aplicación de la capa blanca de terminación y de la capa naranja utilizada como desmoldeante, la ausencia de estas dos capas y la introducción intencionadamente o no, de escayola, en el caso de los Contreras y de yeso negro en el caso de Torres Balbás, hace que actualmente exista un código de color que permite, mediante un simple estudio organoléptico, diferenciar yeserías realizadas por los alarifes musulmanes, de las grandes obras de restauración de los siglos XIX y XX.

## THE NEED FOR A NEW CRITERION

For some time now, the intention to provide a new method for volumetric reconstruction is gradually developing itself. Basically, since the Restoration Congress of Valencia in 1990, where the work of Miguel Peinado Perez, professor at the School of Conservation and Restoration of Cultural Heritage (E.S.C.R.B.C.) of Madrid, were presented, who introduced the barite ore in the new stuccos in the gaps with polychrome losses, which eventually were reintegrated chromatically. These barite stuccos were perfectly located when studied by x-ray radiation.

In this sense, there was a need to introduce a new restoration criterion for the plasterwork, since in some cases such as the restoration of the moucharaby vaults of the Hall of the Kings, it was necessary "to restore the restored." For this reason, from the Council of the Alhambra and the Generalife was raised the big question: how to intervene on a plasterwork on which several restorations with gypsum were done in the 17th century and with plaster in the 19th century?

Considering all these interventions, the system used so far, which consists in realising replacements with the same material (calcium sulfate), plus the aging caused by the passage of time, lead to a confusion between the original materials and the posterior replacements, creating false history.

Therefore, the work on the identification of the interventions by differentiating materials began in 2008, and taking into account a new colour code. As it can be seen, both in the plasterwork of the Almohad-Almoravid and the Nasrid periods, a colour code allow their identification and differentiation between them. In turn, due to the disappearance of the application techniques of the completion white layer and the orange layer used as a release agent, the absence of these two layers and the intentional introduction, or not, of plaster in the case of the Contreras and of black plaster in the case of Torres Balbas, currently gives us a colour code that allows us, through a simple organoleptic study, to differentiate plasterwork done by Muslims builders from the great works of restoration of the 19th and 20th centuries.

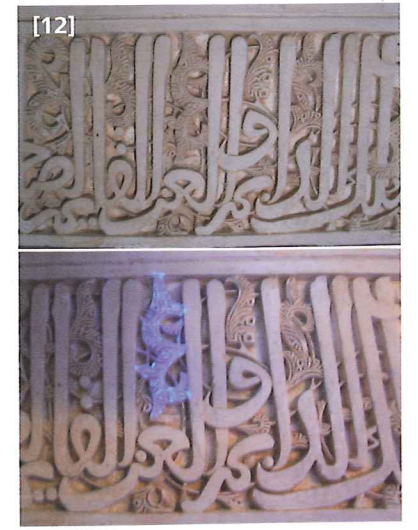
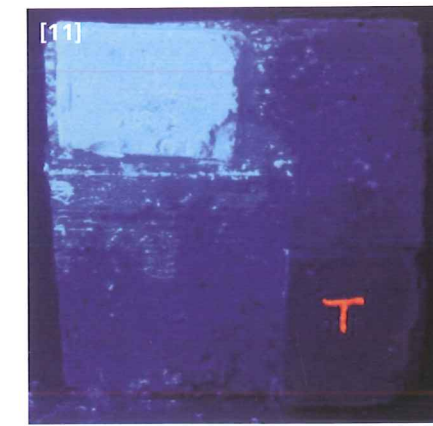
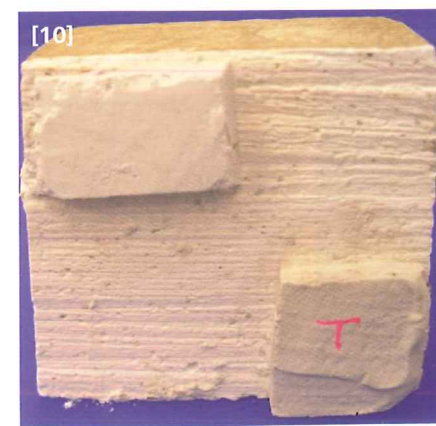
[7] *Courtyard of the Harem.*

[8] *Comparative study of the stratigraphic layout and study of compositional elements.*

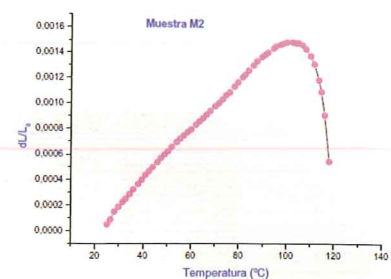
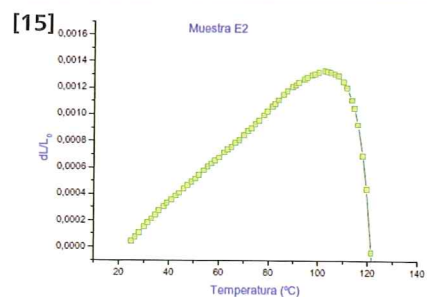
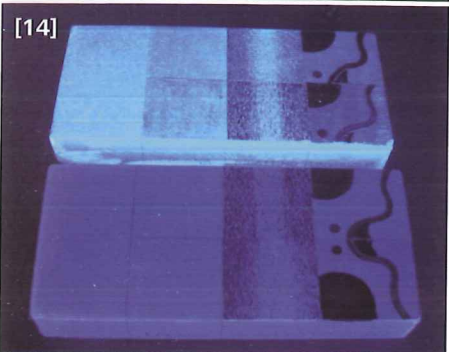
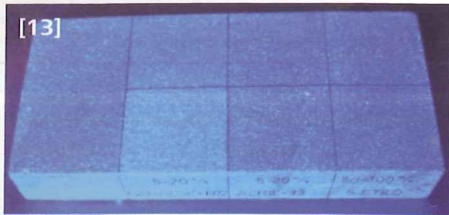
[9] *Testing in the mortar.*

[10] and [11] *Fluorescence phenomenon.*

[12] *Application of new mortar.*







		TEMPERATURA			
		25°C	50°C	75°C	100°C
Muestra E2	dL/L₀	3,69·10 <sup>-5</sup>	5,16·10 <sup>-4</sup>	9,30·10 <sup>-4</sup>	13,2·10 <sup>-4</sup>
	α₁	1,48·10 <sup>-6</sup>	10,32·10 <sup>-6</sup>	12,4·10 <sup>-6</sup>	13,2·10 <sup>-6</sup>
Muestra M2	dL/L₀	5,11·10 <sup>-5</sup>	6,24·10 <sup>-4</sup>	10,67·10 <sup>-4</sup>	14,87·10 <sup>-4</sup>
	α₁	2,04·10 <sup>-6</sup>	12,48·10 <sup>-6</sup>	14,22·10 <sup>-6</sup>	14,87·10 <sup>-6</sup>

## BÚSQUEDA DE SUSTANCIAS

Los primeros condicionantes en la búsqueda de materiales tuvieron como premisas su compatibilidad, de manera que pudiesen convivir materiales originales con los que se emplearon en intervenciones posteriores. A su vez, debían ser fáciles de preparar por cualquier restaurador o artesano, en cualquier momento o situación, y además tuvieran un bajo coste económico.

Estudios similares como los de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre para la elaboración de papel moneda, con la introducción de fibras fluorescentes para su identificación, aportaron ideas interesantes, durante las investigaciones iniciales que llevó a cabo el Taller de Restauración de Yaserías de la Alhambra.

Las primeras búsquedas se centraban en emplear sustancias fluorescentes para ser radiadas y ser visibles con luz ultravioleta (UV), donde su longitud de onda trabaja 700 nanómetros por debajo del rango de luz visible para el ser humano.

El fenómeno de la fluorescencia consiste en irradiar algunos materiales con radiación de elevada energía, como la luz UV, mediante la cual, las moléculas o átomos excitados devuelven la energía en una sola transición electrónica, y su emisión es inmediata a la excitación. Por tanto, la sustancia buscada debería tener la propiedad de la fluorescencia al emitir luz bajo radiación ultravioleta, ya que esta propiedad es intrínseca al material y no sufre cambios, al contrario de lo que sucede con la fosforescencia, que almacena luz para emitirla posteriormente, pero al contrario este tiene un periodo de vida útil.

Además la mayoría de los talleres de restauración cuentan con lámparas de Wood o luz UV, y están familiarizados con este método de análisis, donde se aplica esta técnica de forma sencilla para la inspección de barnices en los procesos de limpieza de un cuadro, o para localizar el alcance de procesos de repintes o reintegraciones de color.

## SEARCHING FOR SUBSTANCES

The first determinants in the search of materials were their compatibility, so that the original materials and the ones that will be used in subsequent interventions could live together. Also, they needed to be easy to prepare by any restorer or craftsman, at any time or situation, and have a low cost.

Similar studies such as the ones from the Royal Mint for the production of paper money, with the introduction of fluorescent fibres for its identification, provided interesting ideas during the initial investigations conducted by the Restoration Workshop of Plastering of the Alhambra.

The first researches were focused on using fluorescent substances to be irradiated and be visible under ultraviolet light (UV), where the wavelength works 700 nanometres below the range of the visible light to humans.

The fluorescence phenomenon consists in irradiating some materials with radiation of high energy, like UV light, leading to the release of this energy as a single electronic transition by the molecules or atoms excited, and its emission is simultaneous to the excitation. Therefore, the searched substance should have fluorescent characteristics and emit light under ultraviolet radiation, as this property is intrinsic to the material and does not change, unlike the phosphorescent phenomenon, where the substance stores light and emits it later, but this emitted light, on the contrary, has a lifespan.

Moreover, most of the restoration workshops have Wood or UV lamps, and they are familiar with this method of analysis, and they can easily apply this technique for the inspection of coatings in the cleaning process of a painting, or to locate the extent of repainting or colour reintegration processes.

[13] Ensayo de barnizado de tres tipos de resinas.

[14] Reintegraciones cromáticas con acuarela.

[15] Comportamiento físico del mortero.

[16] Restauración de yaserías.

[17] y [18] Ensayos hidricos y de envejecimiento acelerado.

[16]



Se ha realizado, además, una búsqueda de sustancias que ya estuviesen ampliamente probadas y utilizadas en diferentes ramas del mercado industrial, de manera que reuniesen todos los controles de seguridad, toxicidad, etc. De entre las sustancias que tienen propiedades fluorescentes, se encontraron varias del grupo de los copolímeros, con diferentes fluorescencias, según las variantes de las cargas minerales agregadas. Los copolímeros se usan desde 1939, pero en los últimos 30 años se ha difundido su uso como potenciador de colores en la industria papelera, textil, alimenticia, etc., y están presentes, por ejemplo, en la ropa deportiva, trajes de baño, etc.

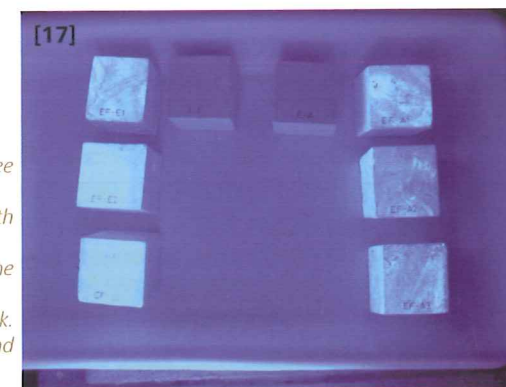
Los primeros ensayos comenzaron con varias opciones. La primera consistía en diluir una sustancia en un líquido, que más tarde se añadía al agua de amasado. La segunda agregaba una sustancia sólida sensible a la radiación ultravioleta (por tanto fluorescente) añadida como carga en el mortero en seco, previo al amasado con agua.

Finalmente se optó por añadir en seco una resina con propiedades fluorescentes, de grano muy fino (5 micras), con cualquier mortero en proporciones muy bajas de 200/1 (v/v), por lo que las condiciones del mortero se modifican muy poco. Esta ligera variación de la estructura en toda la masa del mortero permite continuar añadiendo áridos y cargas de las mismas canteras que los de la obra original, adaptando el mortero a las necesidades que exija la intervención.

Also, an investigation within the substances that were already extensively tested and used in different branches of the industrial market was carried out, so that all security controls, toxicity, etc. were fulfilled. Among the substances that are presenting fluorescent properties, we found several from the family of the copolymers, showing different fluorescence depending on the mineral charges added. Copolymers are used since 1939, but in the last 30 years their use has spread to the paper, textile, food, etc. industries, as a colour enhancer and present they are present, for example, in sportswear, swimwear, etc.

The first trials began with several options. The first option was to dilute a substance in a liquid, and later this was added to the mixing water. The second option was to add a solid, sensitive to ultraviolet radiation (therefore fluorescent). It was added as filler in the mortar, in a dry state, before mixing it with water.

Finally we decided to add, while at a dried stage, a very fine (5 microns) resin with fluorescent properties, with any mortar in very low proportions of 200/1 (v/v), so the mortar conditions undergo very little changes. This slight variation of the structure throughout the bulk of the mortar allow us to keep adding dry materials and charges of the same quarries as the one used for the original work, adjusting the mortar to the needs that the intervention requires.



[13] Varnishing testing of three types of resins.

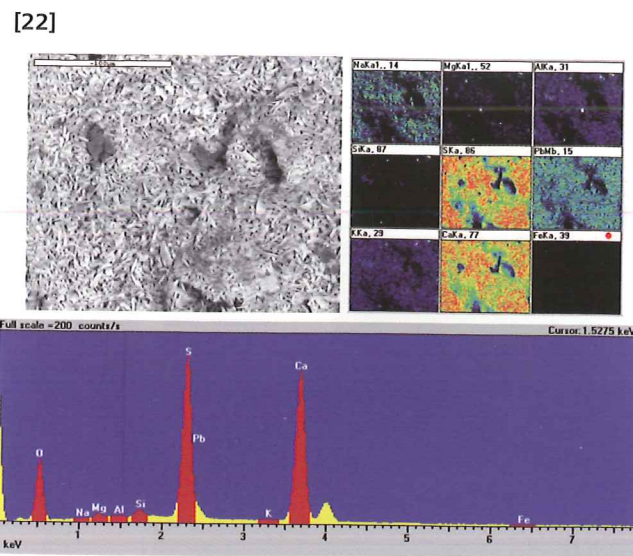
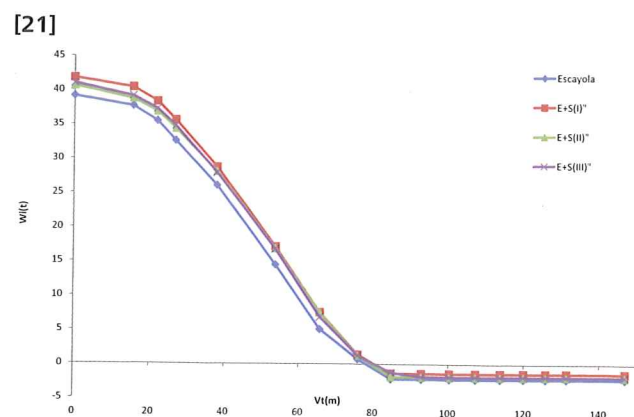
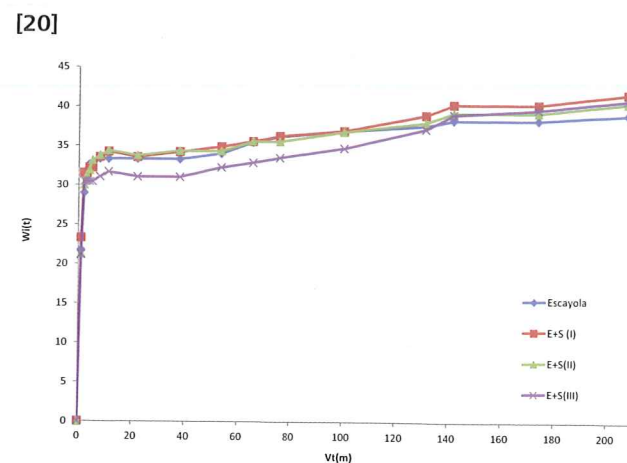
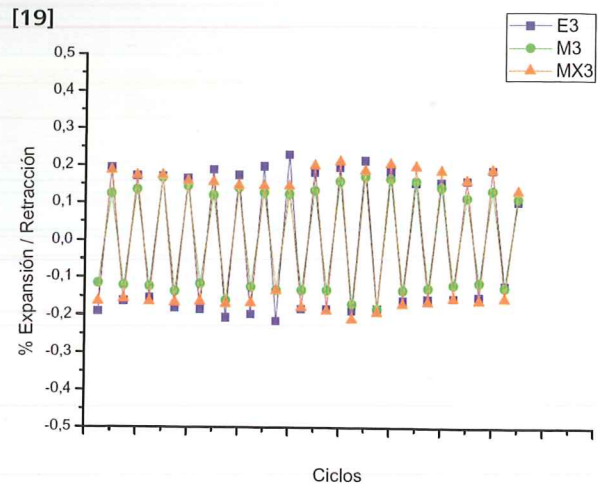
[14] Chromatic reintegration with watercolour.

[15] Physical behaviour of the mortar.

[16] Restoration of plasterwork.

[17] and [18] Water testing and accelerated aging testing.





## PRIMEROS ENSAYOS

Elegido el material, se empezaron a realizar los primeros ensayos de puesta en obras sobre placas de escayola y de motivos vaciados mediante molde realizados en el taller. Debido al buen comportamiento experimentado de tacto, dureza, estabilidad y amasado, se continuó con la realización de un nuevo tipo de ensayos en el taller de restauración, con el objetivo de localizar el alcance de la fluorescencia y su compatibilidad con otros tratamientos, que en ocasiones deben sufrir las partes restauradas. Estos ensayos comparativos se realizaron con escayola E-35 de la marca Escayescos. Las pruebas se realizaron sobre probetas ya amasadas de escayola con el copolímero, y sobre ellas se realizaron ensayos de aplicación de pátinas de agua-barro, barnizado y reintegraciones cromáticas:

-La aplicación de pátinas de agua-barro, demostró que el nuevo mortero coge muy bien el barro, y una vez seco, se mantiene estable la pátina, manteniendo su característica fluorescente visible e identificable con la radiación de luz UV.

-El barnizado se realizó con tres tipos de resinas; Paraloid B-72 al 5% y al 20%, Silicato de Etilo al 50% y al 100%, y con Acrisil 33 al 5% y al 20%. Todos ellos comportaron una buena aplicación sobre el soporte, respetando en todo momento la capacidad fluorescente de la placa de mortero, incluso potenciándola en el caso del Paraloid B-72 al 20%.

## FIRST TESTS

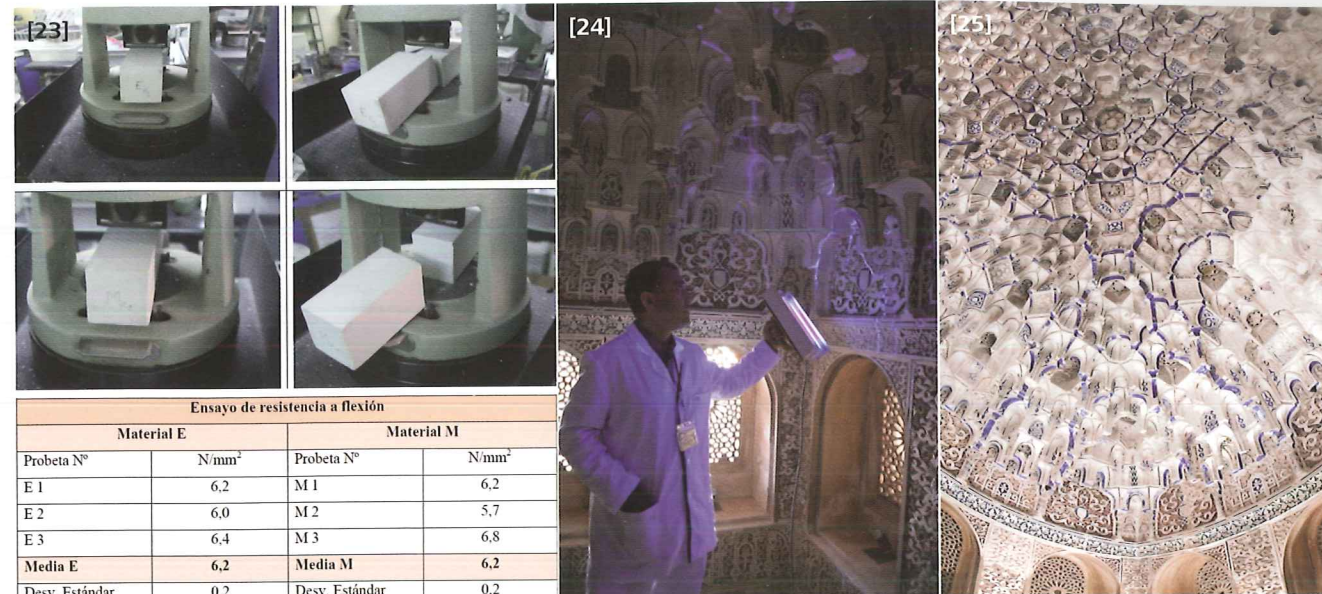
Once the material chosen, we started with the first setting up tests on plaster slabs and on motifs using mould castings made in the workshop. Due to the good touch performance experienced, (toughness, stability and mixing), we continued with the completion of a new type of trials in the restoration workshop, in order to locate the extent of fluorescence and its compatibility to other treatments that are sometimes applied to the restored parts. These comparative tests were performed with E-35 plaster from the Escayescos brand. Tests were conducted on samples already mixed with plaster and the copolymer, and application tests of water-clay patinas, coating and chromatic reintegration were performed:

-The application of water-clay patinas showed that the new mortar takes the clay very well, and once dried, the patina stays stable, keeping its fluorescent characteristic, visible and identifiable through radiation with UV light.

-The coating was made with three types of resins; 5% and 20% of Paraloid B-72, 50% and 100% of Ethyl silicate, and 5% and 20% of 33 Acrisil. They all brought a good application onto the support, respecting at all times the fluorescent ability of the mortar plate, even enhancing it in the case of the Paraloid B-72, 20%.

[19] Ensayo comportamiento físico.  
[20] y [21] Ensayos hídricos y de envejecimiento acelerado.  
[22] Ensayo comportamiento físico.

[19] Test of physical behaviour.  
[20] and [21] Water testing and accelerated aging testing.  
[22] Test of physical behaviour.



Ensayo de resistencia a flexión			
Material E		Material M	
Probeta Nº	N/mm <sup>2</sup>	Probeta Nº	N/mm <sup>2</sup>
E 1	6,2	M 1	6,2
E 2	6,0	M 2	5,7
E 3	6,4	M 3	6,8
Media E	6,2	Media M	6,2
Desv. Estándar	0,2	Desv. Estándar	0,2

[23] Ensayo de resistencia a flexión.  
[24] Comprobación de la restauración.  
[25] Bóvedas de mocárabes de la Sala de los Reyes.

-Las reintegraciones cromáticas se realizaron con acuarela en las técnicas más habituales de rigattino, tinta plana y tinta invisible. En los tres casos también se mantuvo la fluorescencia de la placa, siendo más atenuado, como es lógico, en el caso de la tinta invisible.

Estos ensayos de taller también se probaron sobre otros morteros, como los de cal, preparados industrialmente por diferentes casas comerciales, y que utilizan ampliamente los profesionales de la restauración. Dichos ensayos dieron también excelentes resultados de comportamiento.

## ENSAYOS DE LABORATORIO

Tras los éxitos obtenidos en las pruebas de comportamiento y puesta en obra realizadas en el taller, continuaron los ensayos para confirmar su buen comportamiento a largo plazo. Estas pruebas comparativas se realizaron también con un mortero, cuya base era la misma escayola E-35, y se realizaron dos tipos de ensayos:

1-Comportamiento físico. Realizados por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), en el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción de Madrid, donde se estudiaron la velocidad de fraguado, la resistencia a la flexión y compresión, la dureza por microindentación, la dilatación térmica lineal, la retracción y expansión, y el análisis microestructural.

2-Ensayos hídricos y de envejecimiento acelerado. Efectuados en los talleres y en el laboratorio del Patronato de la Alhambra y Generalife, siguiendo las normas internacionales: Esbert et al. 1985 RILEM, 1980; ISRM, 1981; ASTM, 1988; NORMAL italianas y UNE, 1985. Se realizaron ciclos de absorción y desorción, donde se comprobó que no modifica el comportamiento del sulfato cálcico en su sistema poroso en cuanto a sus características de absorción de agua, rapidez o cantidad. Al igual que el mortero con base de escayola, también experimenta pérdida de material.

En cuanto a los ciclos humedad-sequedad, se demostró que, con respecto a la textura, la probeta de escayola presenta una superficie más porosa y erosionada, en contraposición al resto de probetas con el nuevo mortero, que se presentan más compactas sin apenas poros de disolución.

[23] Test of resistance to bending.  
[24] Restoration verification.  
[25] Moucharaby vaults of the Hall of the Kings.

-The chromatic reinstatements were performed with watercolour and the usual techniques with rigattino, flat colors and invisible ink. In all three cases, the fluorescence of the plate also remained, being more attenuated, as expected, in the case of invisible ink.

These tests realised in the workshop were also performed on other mortars such as the lime ones, industrially prepared by different commercial houses, and that are widely used by the professionals of restoration. Those tests also gave excellent behaviour results.

## LABORATORY TESTS

After the success of the behavioural testing and setting up carried out in the workshop, tests continued to be carried out to confirm its long-term good behaviour. These comparative tests were also carried out with a mortar whose base was the same E-35 cast, and two types of tests were performed:

1-Physical behaviour. Performed by the Superior Council for Scientific Research (CSIC), in the Eduardo Torroja Institute for Construction of Madrid, where the speed for setting, the resistance to bending and compression, the hardness by microindentation, the linear thermal expansion, the contraction and expansion, and the microstructural analysis were studied.

2-Water tests and accelerated aging tests. Performed in the workshops and in the laboratory of the Council of the Alhambra and the Generalife, following international standards: Esbert et al. 1985 RILEM, 1980; ISRM, 1981; ASTM, 1988; Italian NORMAL and UNE, 1985. Absorption and desorption cycles were performed, and it was shown that the behaviour of the pore system of calcium sulfate is not altered in terms of its water absorption characteristics, speed or quantity. As for the mortar with plaster base, it also experiences loss of material.

As for the wet-dry cycles, it was shown that, regarding the texture, the plaster specimen showed a more porous and eroded surface, as opposed to other samples with the new mortar, which are more compact with little pores dissolution.



## APORTACIONES

Estos nuevos morteros de intervención aportan una nueva opción a los diferentes criterios que, hasta este momento, cualquier restaurador aplicaba en su proceso de reintegración volumétrica. Se ha demostrado que este método puede tener multitud de variantes y mejoras, con la adición de nuevas y diferentes sustancias a los morteros tradicionales. Mientras tanto, este sencillo método está aportando multitud de ventajas en la restauración de yeserías dentro del Patronato de la Alhambra, por lo que se considera como una solución más a tener en cuenta, en la adopción de criterios de reintegración en otro tipo de materiales, ya que se han probado en diferentes morteros de cal, cemento, y con diversos morteros preparados industrialmente.

En cualquier caso, desde el Taller de Restauración de Yeserías del Patronato de la Alhambra no se pretende hacer de este método el único y válido en las reintegraciones volumétricas, sino aumentar las opciones en criterios de restauración que se utilizan desde décadas anteriores, empleando para ello investigaciones, materiales y recursos que se desarrollan de las experiencias de otras ramas de la ciencia, y que están permitiendo solucionar problemas a cuestiones muy concretas. Actualmente, la investigación ofrece una gran diversidad de avances en diferentes campos de la ciencia, con la utilización de sustancias fluorescentes:

- En genética, investigadores de Corea del Sur producen gatos cuyas mucosas y partes blandas son fluorescentes, utilizando para ello las proteínas de virus provenientes de enfermedades del ganado.

- La Universidad Politécnica de Valencia introduce una proteína fluorescente roja en el genoma de la planta de tabaco mediante un vector viral.

- Científicos de la rama sanitaria en la Universidad de Granada administran al paciente, por vía oral y horas antes de la intervención quirúrgica, una sustancia llamada 5-ALA, que tras ser metabolizada por las células tumorales produce una molécula fluorescente, que es posible visualizar durante la operación.

Algunas de las ventajas que aporta este mortero a los problemas de intervenciones pasan por incluir sustancias químicamente estables e inertes, terminando con la reproducción de falsos históricos, dejando en manos de todos, el alcance de la intervención y respetando, en todo momento, las intervenciones de épocas pasadas. Además mantiene el Decálogo de la Restauración respetando los principios de Reversibilidad y Diferenciación. ■

[26] *Obra final con la aplicación del nuevo mortero.*  
[27] *Aplicación de luz ultravioleta para la visualización de la aplicación de los nuevos morteros.*

[26] *Final work with the application of the new mortar.*  
[27] *Application of ultraviolet light to visualize the application of new mortars.*

## CONTRIBUTIONS

These new intervention mortars provide a new option to the different criteria that, to this point, any restorer was using in their volumetric integration process. It has been shown that this method can have many variations and improvements, by adding new and different substances to traditional mortars. Meanwhile, this simple method is providing many advantages in the restoration of plasterwork inside the Council of the Alhambra, thus it is another solution to consider, for the adoption of reintegration criteria in other materials, as it has been tested with different lime mortars, concrete and with various mortars prepared industrially.

In any case, we, from the Plasterwork Restoration Workshop of the Council of the Alhambra, are not willing to make this the only valid method for volumetric integrations, but we wish to increase the options for the restoration criteria that have been used for decades, thus using research, materials and resources that are developed from the experiences of other branches of science, and that are allowing to solve problems with very specific issues. Nowadays, research offers a variety of advances in different fields of science, with the use of fluorescent substances:

- In genetics, South Korean researchers produce cats whose mucous membranes and soft tissues are fluorescent, using proteins of viruses from stock diseases.

- The Polytechnic University of Valencia introduces a red fluorescent protein into the genome of the tobacco plant via a viral vector.

- Scientists from the Health department at the University of Granada, orally administer to the patient, hours before surgery, a substance called 5-ALA, which after being metabolized by the tumour cells, produces a fluorescent molecule, which can be seen during the operation.

Some of the advantages that this mortar brings to the intervention problems, are including chemically stable and inert substances, putting an end with the reproduction of historical faux, leaving in our hands, the scope of the intervention and respecting at all times, interventions from the past. It also maintains the Decalogue of the Restoration respecting the principles of Reversibility and Differentiation.

## ► FICHA TÉCNICA CREDITS LIST

**Promotor**  
**Client**

*Patronato de la Alhambra y el  
Generalife. Junta de Andalucía.*

**Jefe de restauración**  
**Head of restoration**

*Ramón Francisco Rubio Domene*

