

## La investigación arquitectónica, el proyecto de arquitectura y el acondicionamiento ambiental en el proyecto de adecuación de la planta principal del Palacio de Carlos V de Granada

### *The architectural research, the architectural design and the environmental conditioning of the project to adapt the main floor of the Charles V Palace in Granada*

A. Jiménez Torrecillas\*, Juan J. Sendra\*\* , N. Torices\*\*\* , O. Muñoz\*, S. Domínguez\*\*\*\*, S. Muñoz\*\*\*\*

#### RESUMEN

El Palacio de Carlos V, situado en el Conjunto Monumental de la Alhambra de Granada, a pesar de su apariencia de edificio concluido de acuerdo a un proyecto, el de Pedro Machuca, no llegó a ser ejecutado en su totalidad. Constituye un claro ejemplo de lo que la historiografía moderna denominaría como edificio sujeto a "larga duración". Su planta principal acoge en la actualidad el Museo de Bellas Artes de Granada. Tras el proyecto de terminación del Palacio realizado por Torres Balbás en 1928, la idea de instalar dicho museo se produce en la década de 1940, con un proyecto realizado por F. Prieto Moreno e inaugurado en 1958. En el año 2000 se redacta el Proyecto de Adecuación de la Planta Principal del Palacio de Carlos V. Ese proyecto está ya ejecutado, aunque el proyecto museográfico tiene previsto su finalización en 2007. El citado proyecto de adecuación aborda, desde la investigación arquitectónica, el acondicionamiento ambiental de las salas del palacio, especialmente el lumínico, el higrotérmico y el de calidad del aire, así como la inclusión de las instalaciones necesarias acordes al uso expositivo, que garanticen principalmente la contemplación visual de las obras expuestas, las condiciones de conservación de esas obras, el confort de los visitantes y la eficiencia energética. El artículo expone el modo respetuoso en el que este proyecto de adecuación da respuesta a estos objetivos.

142-164

**Palabras clave:** Palacio de Carlos V, Granada, Museo de Bellas Artes, Alhambra de Granada, Arquitectura, Patrimonio Cultural, Acondicionamiento ambiental, Instalaciones en museos.

#### SUMMARY

*The Charles V Palace is located in the Complex of Monuments of the Alhambra in Granada; despite the fact that it appears to be a finished building according to the design by Pedro Machuca, actually it was never completed. It is a clear example of what modern history writers would term a "long-duration" building. Its main floor currently houses the Fine Arts Museum of Granada. The proposal to install this museum here was put forward in the 1940s, after the palace was completed in 1928 by Torres Balbás. The project was implemented by F. Prieto Moreno and the museum was opened in 1958. In 2000, the project to adapt the main floor of the Charles V Palace was drawn up. This project has already been implemented, although the museum project is expected to be completed in 2007. Based on architectural research, the abovementioned project includes environmental conditioning of the palace rooms, especially light, hygrothermal and air quality conditioning, as well as the installations required for exposition purposes, which mainly guarantee the visual observation of the works of art on display, conservation conditions of these works, visitors' comfort and energy efficiency. This article details the respectful way in which this adaptation project is meeting those objectives.*

**Keywords:** Charles V Palace, Granada, Fine Arts Museum, Alhambra in Granada, Architecture, Cultural Heritage, Environmental Conditioning, Museum Installations.

\* Dr. Arquitecto, Dep. Expresión Gráfica (Proyectos Arquitectónicos) de la Univ. de Granada

\*\* Dr. Arquitecto, Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción de la Univ. de Sevilla

\*\*\* Licenciado en Historia del Arte

\*\*\*\* Arquitecto, Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción de la Univ. de Sevilla

Persona de contacto/Corresponding author: [jsendra@us.es](mailto:jsendra@us.es) ([Juan J. Sendra](mailto:jsendra@us.es))

## 1. INTRODUCCIÓN

El Palacio de Carlos V, en la Alhambra de Granada (fig. 1), es una singular obra civil renacentista del siglo XVI, construida a partir del proyecto de Pedro Machuca, aunque las obras del edificio no se pueden considerar finalizadas hasta mediados del siglo XX cuando, tras un proyecto de F. Prieto Moreno, en 1958 se traslada el Museo de Bellas Artes al palacio (1).

Por tanto, las obras se prolongaron durante cuatro centurias, principalmente debido a factores económicos (financiación de las obras), políticos (guerras y expulsión de los moriscos, cambio en la ideología representativa del estado) y de definición funcional del inmueble (palacio, almacén, academia militar, colegio y, por último, museo). Entre las circunstancias que concurrieron, en esa mitad del siglo XX, para favorecer la finalización de las obras habría que señalar el afianzamiento de una política de tutela de los monumentos históricos, la importancia creciente del sector turístico en la economía del país (que permitirá, por ejemplo, entender la financiación de las obras de restauración y rehabilitación del conjunto monumental de la Alhambra como inversiones) y, sobre todo, la definición de una funcionalidad y de un uso para el edificio como contenedor de instalaciones museísticas.

El Palacio de Carlos constituye un claro ejemplo de lo que la historiografía moderna, aplicado a una estructura material, denominaría como edificio sujeto a "larga duración", lo que equivale a afirmar que la dilatada historia de su terminación (cuatro siglos) man-

tiene el proceso abierto a posibles nuevas intervenciones arquitectónicas. A pesar de su apariencia de edificio concluido, ésta es el resultado de decisiones administrativas y arquitectónicas independientes y ajenas a las intenciones históricas que determinaron su ejecución, y puede ser considerada como el resultado de un proceso histórico que motivó esa no culminación de las obras (fig. 2).

La última de estas actuaciones, por el momento, es este proyecto de adecuación de la planta principal del palacio, redactado en el año 2000, que consolida el uso de museo en esa planta alta, asegurando así su mantenimiento y conservación, y adapta y acondiciona sus salas a los requisitos medioambientales, de instalaciones y de equipamientos propios de un museo de primer nivel en este comienzo del siglo XXI (fig. 3). Este proyecto de adecuación ya ha sido ejecutado (figs. 4 y 5), aunque el proyecto museográfico tiene previsto su finalización en primavera de 2007.

Las salas de exposición se organizan alrededor del patio central del palacio, accediendo a ellas mediante una de las dos escaleras que conducen a la planta principal –planta alta– y una galería que rodea al patio, todas exteriores. El espacio expositivo se compone de diez salas, nueve de las cuales se destinan para albergar la colección permanente, mientras que la última podrá acoger exposiciones temporales (fig. 3).

Todas las salas están en contacto con el espacio exterior mediante dos tipos de huecos verticales laterales: uno mayor, adintelado, de sección rectangular, de 1,30 x 3,00 m; y otro menor, de sección circular, de 0,65 m.

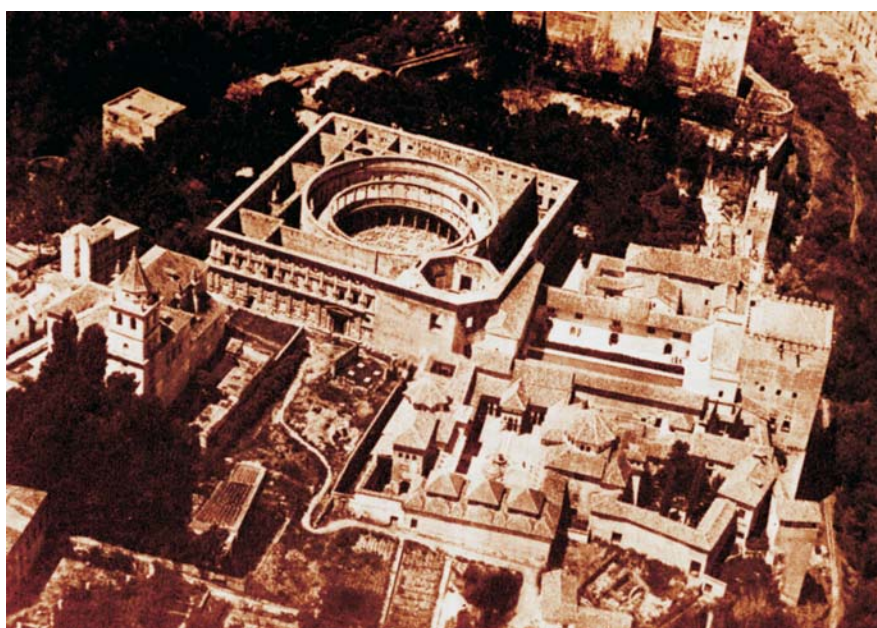


Figura 1. Palacio de Carlos V en el conjunto de la Alhambra. Archivo Torres Molina (hacia 1920).



Figura 2. Fachada sur del palacio.

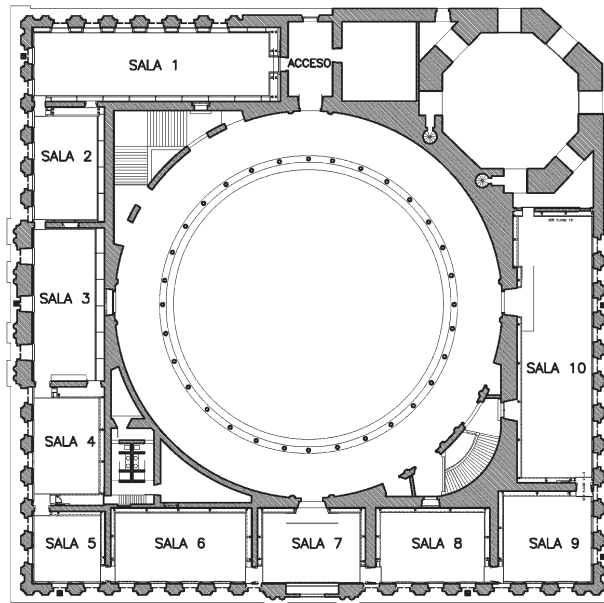


Figura 3. Planta principal del palacio tras la reforma.

de diámetro (figs. 4 y 5). Los huecos se disponen rítmicamente por el contorno exterior del edificio (fig. 3), dotando a las salas de iluminación lateral muy homogénea en casi la totalidad del perímetro del palacio. Dos salas interrumpen este ritmo: la Sala de la Chimenea (sala 3), que carece de óculos y las ventanas son diferentes a las demás salas, y la Sala de la Serliana (sala 7), donde la sucesión de huecos se sustituye por un hueco vertical de gran tamaño.

## 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE ADECUACIÓN

El proyecto responde a tres objetivos principales:

- I. Adaptar las condiciones espaciales del palacio a los usos expositivos de las distintas salas del museo, organizando y jerarquizando dos escalas: la expositiva y la arquitectónica.

- II. Redactar un proyecto de acondicionamiento ambiental de las salas en total sintonía con el proyecto arquitectónico, especialmente el lumínico, por un lado, y el higrotérmico y de calidad del aire, por otro, que facilite la contemplación visual de las obras expuestas, las condiciones de conservación de esas obras, el confort de los visitantes y la eficiencia energética.

- III. Resolver la inclusión de las instalaciones necesarias para ese control ambiental (eléctricas, alumbrado, climatización, etc.), así como las necesarias para dotar de seguridad al inmueble y a sus bienes muebles (seguridad ante incendio, ante intrusión y robo, etc.), con el fin de situar al Museo de Bellas Artes de Granada entre las instalaciones más modernas, por tecnologías y servicios, de las existentes en nuestro país.



Figura 4. Interior de la sala 10 tras la reforma.

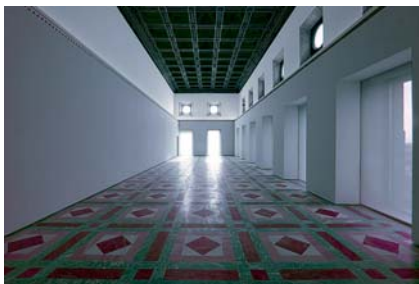


Figura 5. Interior de la sala 1 tras la reforma.



### 3. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ARQUITECTÓNICA DESDE LA INVESTIGACIÓN

La adecuación de inmuebles antiguos, sobre todo monumentales, a exigencias de uso modernas conlleva necesariamente la adaptación de su estructura a la satisfacción de ciertos requerimientos no previstos en la configuración originaria del edificio. Este aparente conflicto entre mantenimiento y renovación de la estructura no resulta insalvable si, desde el proyecto de intervención, se distinguen claramente tres niveles de uso del monumento:

- Como documento histórico
- Como soporte de valores culturales
- Como equipamiento que garantice su uso continuado

Considerar un edificio como documento histórico supone no entenderlo como una entidad estática, sino como un sistema abierto, apto para ser interpretado por cada generación, al igual que ocurre con cualquier otro documento histórico. A diferencia de los documentos escritos, un edificio, por lo general, está sometido a la "larga duración". Mientras que un documento escrito registra un acontecimiento único, cuyo significado y valor dependen de su relación con una serie más amplia, el edificio, aunque su construcción obedezca a un propósito muy concreto (en este caso, servir de residencia imperial y, sobre todo, como símbolo de la idea de *imperium* cristiano), por su propia naturaleza supone la ejecución de un proyecto arquitectónico. Es decir, el edificio construido es la materialización de un concepto previamente ideado, relacionado con modelos anteriores y posteriores, y su ejecución, al depender de ciclos productivos muy precisos, que ponen en circulación recursos económicos, administrativos, políticos y humanos, está sometido al ritmo de los procesos históricos que rigen a éstos.

Por ello, el edificio documenta dos tipos de acontecimientos: uno, referido a la historia de las formas arquitectónicas, y otro, relacionado con su propia historia como empresa continuada en el tiempo. Considerado bajo este enfoque, todo análisis histórico del edificio debe individualizar cada una de las fases constructivas y de proyecto, en su contribución a la imagen final del mismo y, en consecuencia, jerarquizarlas según una escala de valores que cuide tanto de establecer un juicio crítico de esas fases, como documentarlas científicamente si, desde el proyecto de intervención actual, por su propia naturaleza de *re-habilitador*, modifica, añade o sustrae alguna de ellas.

Muy relacionado con lo anterior está la consideración del edificio como soporte de valores culturales, que son siempre valores sociales. Esto obliga al proyecto arquitectónico a ser entendido como un eslabón más en la cadena de significados que el monumento comporta y, por ello, a actuar desde un doble registro: el de la preservación de la estructura material del inmueble (su fábrica) y el de su contribución a la forma arquitectónica, de manera que ambas no se vean comprometidas seriamente por decisiones ancladas en una consideración del proyecto desde la "duración breve", sino que sea entendido desde el marco más amplio de la "larga duración", verdadero régimen temporal del monumento.

Por último está la consideración del edificio como equipamiento que garantice su uso. No hay mantenimiento de un edificio si éste carece de uso. Pero adecuar a un uso nuevo un inmueble preexistente supone, como ya se ha hecho notar, acomodar su estructura a fines nuevos, para los cuales es necesario dar respuesta adecuada a las exigencias técnicas que este acomodo supone.

Así pues, el proyecto de intervención debe considerar, a partir del análisis histórico y crítico, aquella solución que mejor concilie la dimensión documental, cultural y de uso del monumento. Por todo ello, el proyecto asume su condición de decisión tomada en un momento preciso desde el respeto a su forma arquitectónica final, sin renunciar a que, adecuándolo a un uso, perviva.

El proyecto asume desde un primer momento, como una premisa básica de la intervención arquitectónica en el palacio, asegurar los objetivos de lograr un adecuado acondicionamiento ambiental y una deseable seguridad en las salas del museo, lo que supone además la inserción de las instalaciones necesarias para ello, con el respeto a la naturaleza material del inmueble (2). Ello ha obligado a la realización de una investigación histórico-arquitectónica, con el fin de detectar cuáles son los valores culturales aportados por cada una de las fases constructivas, de manera individual, al conjunto que el palacio representa.

Se parte, pues, de una valoración arquitectónica de los espacios existentes y de una valoración histórica de las diferentes fases constructivas del edificio, para llegar a formular una propuesta arquitectónica que evita el contacto con los paramentos verticales existentes (los correspondientes a los primeras etapas constructivas del palacio) y recurre a una estructura interior, anclada a los forjados (resultado de actuaciones constructivas pos-

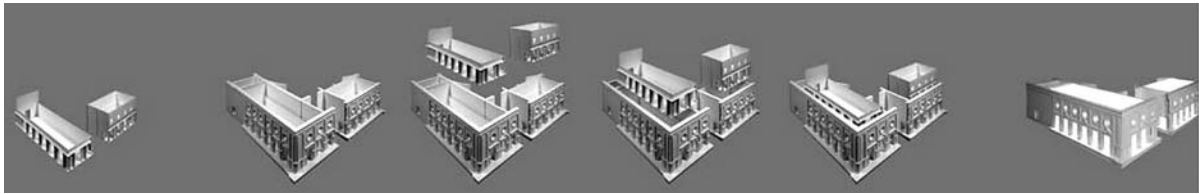


Figura 6. Modelos a escala de la propuesta de intervención arquitectónica del proyecto de adecuación.



Figura 7. Conformación de las cámaras de instalaciones.



Figura 8. Armario de instalaciones.



Figura 9 a y 9 b. Propuesta de sala tipo. Escalas expositiva y arquitectónica.

teriores a las conservadas del proyecto del palacio imperial), que soporta trasdosados de paneles de cartón-yeso verticales y horizontales (fig. 6). Estos paneles ligeros revisten completamente los espacios interiores de las salas, preservando la percepción global de los mismos tal y como quedaron definidos en época moderna (3).

Esta estructura cumple, además, dos funciones principales:

- Acoger en su interior una gran parte de las instalaciones del edificio (fig. 7): conductos de climatización, bandejas con canalizaciones eléctricas o de seguridad, etc., al mismo tiempo que permite el registro,

regulación, control y mantenimiento de las mismas por sus extremos (terminales), en unos armarios que se sitúan en los tránsitos (pasos) de una sala a otra, sin ningún tipo de afección a la estructura mural original (fig. 8).

- Organizar y jerarquizar dos escalas: la expositiva y la arquitectónica, claramente delimitadas espacialmente y por el proyecto de iluminación ambiental y expositiva (fig. 9). Los paños expositivos llegan hasta una cota de + 4,20 m. A partir de esa altura los paneles se retranquean, dando lugar a una escala adecuada a las exigencias de un espacio expositivo albergado en salas de doble altura, además de servir ese plano



Figura 10. Up-lights lineales en sala.



Figura 11. Pruebas de iluminación indirecta de piezas del museo.

superior como elemento de reflexión de una iluminación indirecta, mediante *up-lights* con tubos fluorescentes. Esa diferencia de planos entre el inferior expositivo y el superior reflector -junto al techo- de la iluminación, se aprovecha además para acoger esos *up-lights* (fig. 10)

#### 4. ACONDICIONAMIENTO LUMÍNICO Y SUS INSTALACIONES

La iluminación de un museo es una cuestión compleja porque, además de ser una técnica de acondicionamiento, es un recurso de diseño de una gran potencialidad para lograr

crear un ambiente que realce y respete el proyecto arquitectónico. Desde el punto de vista ambiental, no sólo ha de pretender el lograr un adecuado confort visual para una adecuada contemplación de las obras de arte expuestas, sino que han de adoptarse medidas para que dichas obras no se deterioren por causa de un mal planteamiento de ésta.

El proyecto de iluminación artificial del Museo de Bellas Artes de Granada opta por un sistema de iluminación indirecta por varias razones:

- Permite, a diferencia de los sistemas de iluminación directa, la percepción de todos los paramentos que componen el espacio, incluido el techo, con lo que las salas parecen mayores. Además, la iluminación realza la altura de la sala, siendo ésta una cualidad muy apreciada en los museos.
- Proporciona una percepción del espacio uniforme, que no genera contraste entre zonas, manchas de luz, ni problemas de adaptación visual del visitante, lo que crea un clima propicio para disfrutar de la exposición.
- Proporciona el soporte ideal para la contemplación de las pinturas del siglo XVII a XIX, al evitar el reflejo de los barnices aplicados sobre el lienzo (fig. 11).

La instalación de iluminación artificial del museo pretende, además, evitar la presencia visual de luminarias y de elementos suspendidos de los paramentos, ya que supondría la invasión del espacio y restarían calidad al mismo.

Se quiere crear, en definitiva, una iluminación ambiente que consiga la suficiente iluminancia para permitir la adecuada visión de las obras de arte que allí se expondrán, aunque adaptando los niveles de iluminación al principal objetivo de garantizar su adecuada conservación. Para ello, se adopta un sistema de iluminación indirecta basado en la reflexión en el techo y en la zona superior de los paramentos verticales, convirtiendo la mitad superior del volumen de la sala en una "bóveda de luz" (fig. 12).

No obstante, se quiere dotar a todas las salas, de un sistema adicional de iluminación directa, siempre que las exigencias de la exposición lo requieran. Este último sistema de iluminación será necesario instalarlo de manera permanente en las dos primeras salas (salas 1 y 2), porque tienen un falso arteso-

nado de madera (color oscuro) y difícilmente éste podría actuar como reflector (fig. 13).

En la sala de la Chimenea (sala 3), con un techo abovedado de color blanco, se consigue el efecto reflector deseado de dicha bóveda, aunque la naturaleza de las reflexiones será diferente a las originadas en las restantes salas (salas 4 a 10) con techo horizontal de color blanco (fig. 14).

Para ese sistema de iluminación indirecta, se utilizan líneas continuas de bañadores de paredes y techo (up-lights, modelo 65048 de Erco), que se alojan en la cara interior del muro de instalaciones, situadas en el perímetro de las salas (fig. 15), aprovechando el retranqueo del plano vertical superior (reflectante) respecto del vertical inferior (expositivo), salvo en la sala de la Serliana (sala 7) y la sala de la Chimenea (sala 3), ya que sus características constructivas impiden aplicar esta solución en todo el perímetro, por lo que se ubica solamente en los muros perpendiculares a la fachada.

La lámpara que se va a emplear en esos bañadores es la lámpara fluorescente T16, de 54W de potencia y 3.000 K de temperatura de color.

Se realizó un estudio comparativo con otros tipos de luminarias y lámparas: la primera con el modelo 33486 de Erco, para *uplight* puntual y lámpara halógena QT-DE12 de 50W; la segunda con el modelo 33482 de Erco, para *uplight* puntual y lámpara fluorescente TC-DEL de 42W; y la tercera -la solución finalmente adoptada- con el modelo 65048 de Erco, *uplight* lineal y lámpara fluorescente

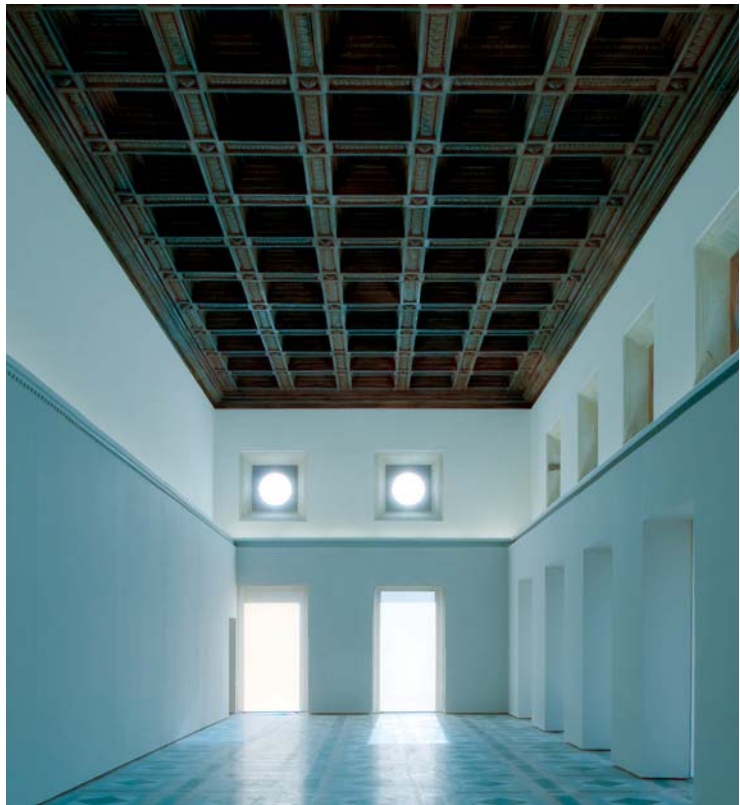


Figura 13. Interior de la sala 1.



Figura 14. Interior de la sala 3.



Figura 12. Sala iluminada, reformada.

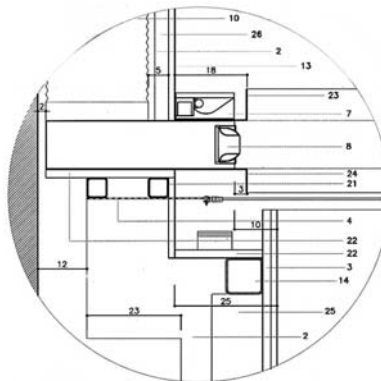


Figura 15. Posición del up-light.



**Tabla 1. Estudio comparativo de diferentes tipos de luminarias en inversión, consumo y coste energético**

Luminaria de Erco	Mod. 33486	Mod. 33482	Mod. 65048
PEM (luminarias y lámparas)	66.829,54 €	202.733,40 €	137.896,22 €
Consumo anual	112.500 W	27.600 W	24.400 W
Costo de energía anual (2.000 h. util.)	28.397,82 €	6.966,93 €	6.159,17 €



Figura 16. Screen para filtrado de la luz.

TL16 de 54W (tabla 1). La primera solución daba lugar a un coste de equipos menor, pero su utilización implicaba un gasto energético cuatro veces mayor que las otras dos soluciones. En la segunda, la inversión inicial era mayor y el consumo energético similar a la tercera. La tercera ofrecía una inversión media y menor consumo energético que las anteriores, además de producir calidad espacial y ambiental acordes a los objetivos del proyecto.

Para el sistema de iluminación directa se utilizan unos carriles electrificados trifásicos de aluminio extrusionado, suspendidos de una estructura auxiliar que se prevé para tal fin, y en los que se pueden instalar tanto bañadores de pared como proyectores, por lo que podrá servir tanto para reforzar la iluminación en el plano expositivo vertical como para la iluminación de alguna pieza escultórica colocada en el interior de la sala. También está contemplada la posibilidad de que el proyecto museográfico del museo incorpore vitrinas en determinadas salas. Para alimentarlas eléctricamente se deja previsto un circuito de bases de enchufes localizados en el parte inferior del muro expositivo.

El proyecto de iluminación no sólo contempla una iluminación ambiente y expositiva artificial, sino que pretende un efecto combinado

de luz natural con luz artificial, con el fin de conseguir un considerable ahorro energético, mejorar la calidad espacial de las salas y una mayor calidez de la percepción visual y de las condiciones de observación de las obras expuestas, además de relacionar el museo con el entorno de la Alhambra. Esta relación interior-exterior se considera muy conveniente, ya que relaja la tensión del visitante y enriquece el paseo del espectador.

Para reducir el efecto no deseable de una acusada falta de uniformidad en las iluminancias de las paredes expositivas, debida a la iluminación natural unilateral que penetra por las ventanas del palacio (en las que se eliminan los tapaluces existentes), se protegen esos huecos con un *screen*, que filtra la radiación visible de la luz natural, y un estor de tela opaca que la oscurece en su totalidad. El *screen* permite, pues, la posibilidad de contar con la luz natural, aunque matizada, para iluminación ambiente y expositiva (fig. 16), combinándola con la luz artificial. El estor opaco elimina la luz natural, siendo la iluminación artificial el único sistema de iluminación. El proyecto propone que los estores estén siempre echados cuando las salas no estén abiertas al público. Esta medida se establece como medio de protección de los cuadros, ya que el efecto nocivo de la luz sobre las obras expuestas (material medianamente sensible a la luz) es acumulativo.

Con el fin de que conseguir unos determinados niveles de iluminación fijos en la sala, que no estén sujetos a las condiciones cambiantes de la iluminación natural (estación, orientación, hora del día, cielo nublado o despejado, etc.), se dota al museo, por una parte, de un control automático (*Area Net* de Erco) mediante fotocélulas, concretamente seis que se sitúan en el exterior, lo que permitirá cuantificar la aportación de la iluminación natural, y, por otra, de un sistema de regulación de la iluminación artificial, tanto para el sistema de iluminación indirecta (el principal en la mayor parte de las salas), como en el sistema de iluminación directa. De este modo se puede conseguir que la suma de ambas iluminaciones dé lugar a unos niveles determinados de iluminación en



cada sala y en cada instante, una medida que pretende incidir en la calidad espacial y de las condiciones de observación y, sobre todo, en una mayor eficiencia energética.

Asimismo, estos sistemas de regulación de la iluminación pretenden resolver el problema que se plantearía ante un posible cambio de exposición, en lo referente a niveles de iluminación (lo podría hacer sin ningún problema el personal de mantenimiento o, más sencillo, permite establecer "escenas de iluminación" previamente programadas).

De este modo, se quiere dar respuesta a la previsión de cualquier cambio de contenidos que el museo pudiera presentar en el futuro, o simplemente iluminar salas para exposiciones temporales. En concreto, cada sala está regulada por un mando secundario independiente que permite activar cuatro escenas luminosas, según una programación previa (fig.17).

Se ha previsto poder regular las luminarias de las salas creando cuatro circuitos independientes que coinciden, en general, con los cuatro circuitos eléctricos previstos para su iluminación indirecta, con objeto de facilitar y simplificar el montaje de la instalación. Los circuitos son los siguientes:

1. Luminarias situadas en las esquinas inferiores.
2. Luminarias situadas en las esquinas localizadas cerca de la fachada.
3. Luminarias situadas en el paramento de la fachada.
4. Luminarias situadas en los paramentos del fondo y en los laterales.

Al establecer tal división, se pretende poder regular con independencia las esquinas y los paramentos, según su proximidad al paño de la fachada.

También el sistema de iluminación directa (principalmente concebido como de acentuación) está regulado, en este caso mediante *dimmers*. Se colocará una unidad por sala, salvo en la sala 1 y en la sala 10 donde, dado su tamaño, se sitúan dos.

El cálculo de la iluminación se ha efectuado para obtener una iluminancia total, en cada paramento expositivo, no superior a 200 lux, máximo nivel que admiten las pinturas al óleo, que es el tipo de cuadro que compone la colección permanente del museo. Ese nivel de iluminación va a ser obtenido tras sumar el nivel aportado por la luz natural y la luz artificial.

En la ciudad de Granada, para una período comprendido entre las 9 y las 17, hora solar, (horario en el que previsiblemente estará

abierto el museo al público), se pueden alcanzar valores de iluminancia exterior en torno a los 10.000 lux en el 85% de dicho tiempo (4). Las mediciones de la iluminancia interior en los paramentos expositivos, realizadas *in situ*, con los huecos abiertos y sin ningún tipo de protección solar, dan como resultado valores altos: en torno al 1% de la iluminancia exterior, dada la extensa superficie acristalada de que disponen las salas en el lado de fachada.

Teniendo en cuenta estos valores medidos de la iluminación natural, variables según la época del año y la hora solar, las condiciones de observación requeridas para una adecuada percepción visual de las obras y los requisitos en cuanto a niveles de radiación visible y radiación ultravioleta para una adecuada conservación de esas obras, se ha adoptado para el cálculo de la iluminación que, de esos 200 lux de iluminancia en los paramentos verticales, 50 lux pueden ser aportados por la luz natural y los restantes 150 lux los proporcionaría la luz artificial que, en la mayor parte de las salas, es luz reflejada en la "bóveda de luz".

La filtración de la radiación ultravioleta se garantiza con el tipo de vidrio colocado en los huecos inferiores (compuesto, de dentro a fuera, por laminado 5+5, cámara de aire de 13 mm y laminado 6+6), que deja pasar menos del 1%.

La filtración de la radiación visible por parte de ese mismo tipo de vidrio se completa con la proporcionada por los *screens* (filtración parcial) o los estores (filtración total).



Figura 17. Armario con control de escenas.

279	306	302	290	279	270	263	258	256	254	253	252	251	251	251	251	251	251	251	251	252	252	253	254	256	258	263	270	279	290	302	306	278
314	334	306	278	258	245	238	233	230	229	228	228	227	227	227	227	227	227	227	227	228	228	229	230	233	238	245	258	278	306	334	314	
119	371	288	244	224	213	208	206	205	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	205	206	208	213	224	244	288	371	429
538	314	301	301	302	294	299	297	296	302	303	299	292	303	292	301	300	301	292	303	292	299	303	302	296	297	299	294	302	301	301	314	542
159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159
159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159
159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159
159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159

Figura 18. Resultados del cálculo de la iluminación artificial indirecta en la pared opuesta a fachada (sala 10).

Se incluyen los resultados del cálculo, realizados con el programa informático Dialux, de los niveles de iluminación obtenidos en una pared vertical expositiva de la sala 10 (con techo horizontal de color blanco) con el sistema de iluminación indirecta (fig. 18).

### 5. ACONDICIONAMIENTO HIGROTÉRMICO Y DE CALIDAD DEL AIRE Y SUS INSTALACIONES

En los espacios destinados al uso expositivo resulta fundamental el control de la atmósfera interior (humedad, temperatura, calidad y velocidad del aire), atendiendo tanto al problema de la conservación de los bienes expuestos (y, a veces, del propio contenedor), como a la consecución de un nivel de confort apropiado para los ocupantes, que favorezca la actividad de contemplación de los contenidos museográficos.

Aunque la naturaleza de las piezas expuestas determina los valores de las condiciones ambientales interiores apropiadas en cada caso, normalmente suele adoptarse una humedad relativa constante en torno al 50% (con una tolerancia admisible que oscila, en más o en menos, entre el 3% y el 5%), y una temperatura también constante alrededor de 22 °C (con una tolerancia de  $\pm 1$  °C). Ese control de la atmósfera interior en un museo corresponde principalmente a su instalación de climatización. La instalación de climatización proyectada se caracteriza por tener una producción térmica (frío/calor) centralizada, redes de distribución a cuatro tubos (posibilidad de transportar agua fría y caliente a la vez, ida y retorno) hasta las unidades terminales de intercambio (climatizadores) y sistema todo aire, multizona, con postratamiento, para el transporte de aire frío o caliente por las redes de conductos hasta las diez salas del museo (fig. 19).

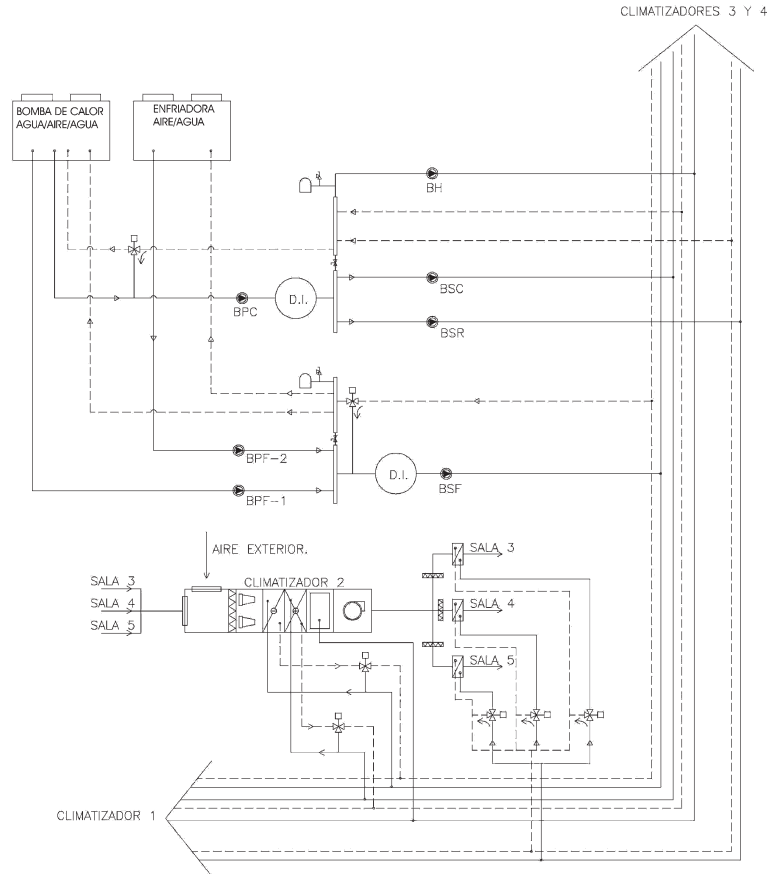


Figura 19. Esquema de principio simplificado de la instalación de climatización.

Dada la asimetría de cargas obtenida al hacer el balance térmico en el edificio, con cargas de verano que duplican a las de invierno, para la producción térmica se ha utilizado una bomba de calor agua-aire-agua, dimensionada para hacer frente a la carga máxima de invierno, y una enfriadora de agua condensada por aire que, junto con la anterior, permite alcanzar la potencia máxima demandada en el periodo de verano. La primera de las máquinas permite, además, la producción simultánea de agua fría y agua caliente, resolviendo de esta forma el funcionamiento de un sistema con redes de cuatro tubos con una única máquina generadora de agua fría y caliente, lo que proporciona un consumo energético igual (y, en algunos casos, inferior) al que tendría trabajando en el modo de sólo dos tubos (frío o calor, pero no simultáneamente).

La producción térmica se ubica en la cubierta del Palacio, aprovechando una terraza plana que queda oculta por los faldones de teja (fig. 20), junto a los equipos de producción existentes para climatizar el Museo de la Alhambra, en la planta baja de este mismo edificio. Son máquinas con tratamiento especial para la disminución del nivel sonoro de emisión, y se disponen apoyadas con dispositivos antivibratorios sobre bancadas flotantes. También en esta terraza técnica se sitúan los principales componentes del sistema hidráulico (bombas circuladoras, válvulas principales, vasos de expansión, depósitos de inercia, etc.).

La red de tuberías -de acero negro, aisladas térmicamente- discurre principalmente por las cámaras de la cubierta, permitiendo su registro completo en todo su recorrido, ya que se puede acceder a ellas por sendas puertas desde la terraza técnica, y recorrerlas en toda su longitud (fig. 21).

El objetivo de lograr, con una cierta precisión, unas determinadas condiciones de temperatura y humedad en cada una de las salas del museo -las ya enunciadas con anterioridad-, normalmente hubiera dado lugar a la elección de un sistema centralizado todo aire, unizona, de caudal constante, con diez unidades de tratamiento de aire, una por cada sala. No obstante, la ejecución de este sistema es difícilmente compatible con el proyecto de intervención en la planta alta del palacio, entre otras razones por no haber locales disponibles para ubicar esas diez unidades y los conductos a acoplar en ellas -al menos tres por cada una de ellas: impulsión, retorno y ventilación-, ya que la solución de utilizar las cámaras bajo cubiertas fue descartada por las especiales dificultades de acceso a estos espacios para un adecuado mantenimiento y, sobre todo, por la obra civil -desmontaje



*Figura 20. Terraza para la producción térmica.*



*Figura 21. Redes de tuberías por cámaras de cubierta.*

y posterior montaje de los faldones de la cubierta- que eso llevaría aparejado.

Se ha propuesto como alternativa un sistema también centralizado todo aire, multizona, con postratamiento, reduciendo el número de climatizadores a cuatro, uno para cada orientación de las fachadas del palacio, número que, en función de su composición por secciones, caudales de aire y potencia, sí es posible albergarlos en locales que se pueden destinar a este fin y que, además, están próximos a las salas que van a servir, es decir, resultan compatibles con los objetivos y propuestas del proyecto de intervención arquitectónica. A este respecto, conviene señalar que las diez salas están interconectadas espacialmente (fig. 22). El criterio de orientación, junto a la naturaleza de las cargas térmicas, su homogeneidad, uniformidad y un cierto equilibrio entre las mismas ha dado lugar a que, finalmente, se establezca que el primer climatizador sirva a las salas 1 y 2; el segundo a las salas 3, 4 y 5; el tercero a las salas 6, 7 y 8; y el cuarto a las salas 9 y 10.

Los climatizadores son modulares, con envolvente provista de paneles aislantes térmicos y



*Figura 22. Interconexión espacial de las salas.*



Figura 23. Sala del climatizador modular 1.

acústicos (lana mineral) de 45 mm de espesor (fig. 23).

Con el fin de que puedan alcanzarse en cada sala las condiciones higrotérmicas deseadas, frente a posibles incidencias locales, principalmente una distribución no uniforme de la carga de ocupación, se introducen baterías de recalentamiento de agua en los conductos de impulsión que sirven a cada una de ellas, también ubicadas en las cámaras de cubierta, con el fin de hacer más fácil el acceso a las mismas para su mantenimiento, constituyendo lo que sería un sistema todo aire de caudal constante y temperatura variable. Las dudas que este sistema podría suscitar, en cuanto a eficiencia energética, no son, en este caso, muy importantes, dadas las posibilidades que ofrece el utilizar la recuperación del calor, la similitud de las condiciones del aire

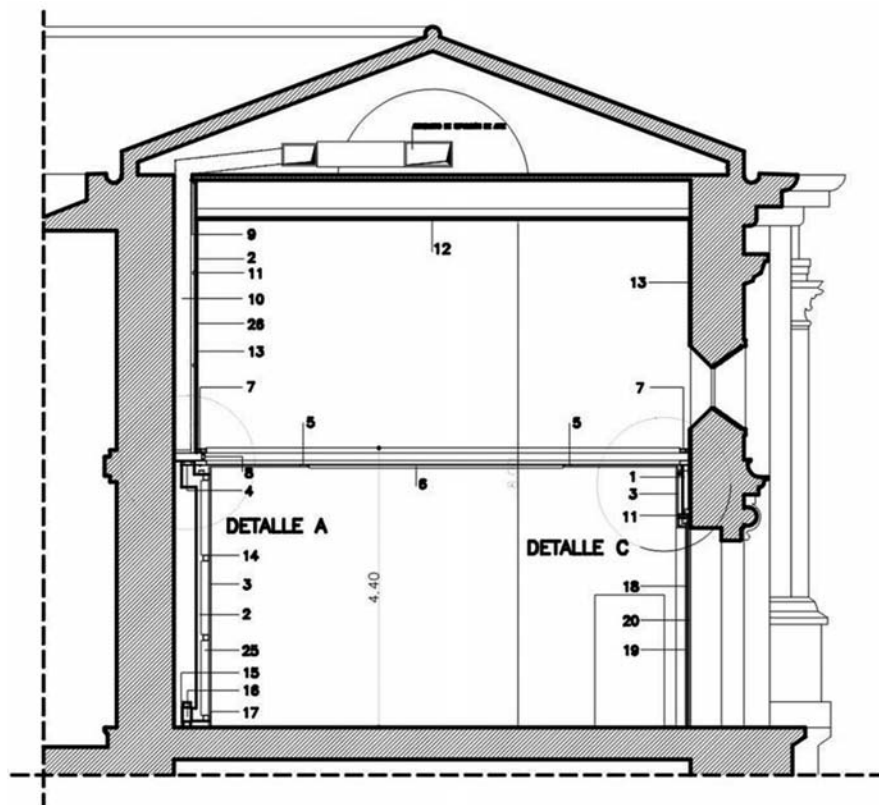


Figura 24. Conductos de aire por cámaras de cubierta y sala.

de impulsión calculadas para cada sala, así como la previsible uniformidad de las cargas térmicas con las agrupaciones hechas de las mismas.

El transporte del aire tratado, tanto impulsión como retorno, se realiza mediante una red de conductos de chapa de acero galvanizada, aislados con mantas de lana de vidrio. Los tramos principales se tienden por las cámaras de cubierta (fig. 24), siendo, pues, accesibles en toda su longitud, mientras que las deriva-

ciones de impulsión a las diez salas discurren por las nuevas cámaras interiores verticales tras los nuevos trasdosados de cartón-yeso (fig. 25). Cada una de estas cámaras verticales es, a su vez, *plenum* para el retorno. En todo el trazado de la red de conductos se ha procurado reducir al mínimo la obra civil necesaria, no tocar los muros originarios del Palacio, permitiendo sólo el paso de esos conductos en forjados construidos entre 1920 y 1960, así como facilitar las labores de mantenimiento y limpieza periódica.



Dadas las características geométricas de las salas, principalmente su altura (ocho metros), se ha diseñado una línea de impulsión mediante multitoberas, colocadas en el lado opuesto al de fachada, aprovechando el retranqueo del plano vertical superior (reflectorante de la iluminación ambiental y expositiva) respecto del vertical inferior expositivo, es decir, a media altura del volumen de la sala (figura 26), inmediateamente encima de los *up-lights*. En su elección y dimensionado se ha contemplado que han de servir tanto para régimen de verano, como de invierno, especialmente en este último caso, dada la posible estratificación que se puede producir por la altura de las salas. Se ha procurado la integración de estos perceptibles e importantes elementos de distribución de aire en la propuesta arquitectónica de intervención (figura 27).

Los retornos de aire, en las distintas salas, se efectúan a través de unas ranuras inferiores, ya que los paneles de cartón-yeso que constituyen la nueva piel interior no llegan a tocar el suelo. El aire de retorno penetra así en el *plenum* que constituye cada cámara vertical de los muros de instalaciones, siendo finalmente transportado a cada uno de los climatizadores por los tramos principales de conductos de retorno que discurren por las cámaras de la cubierta.

Para dar respuesta al requisito de ventilación de las salas, se ha dispuesto que una parte del caudal introducido, el establecido por la reglamentación vigente (5), sea aire exterior que se mezcla con el de retorno en la correspondiente sección del climatizador, antes de ser filtrada y posteriormente tratada.

Ahora bien, se ha tenido en cuenta la climatología de la zona, especialmente las bajas temperaturas que se pueden alcanzar en invierno.

La introducción de aire exterior en esos mínimos de temperatura puede ser especialmente contraproducente para el rendimiento energético del edificio, máxime si entendemos que esto ocurrirá coincidiendo con los periodos de desocupación del museo.

Debido a esto, se ha considerado importante dotar a los climatizadores de compuertas motorizadas, para alterar la composición de la mezcla atendiendo al horario de funcionamiento del museo y a la evolución de la temperatura exterior.

Todo el sistema se regula y controla mediante un sistema automático, gestionado centralmente por un ordenador. Los cuatro climatizadores dispondrán de válvulas de tres vías proporcionales, al igual que las diez

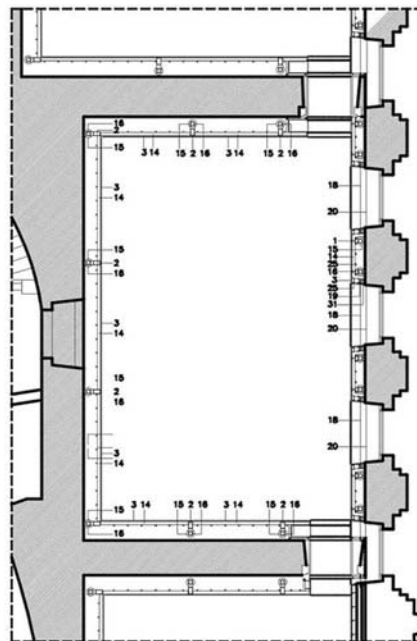


Figura 25. Cámaras verticales en salas.

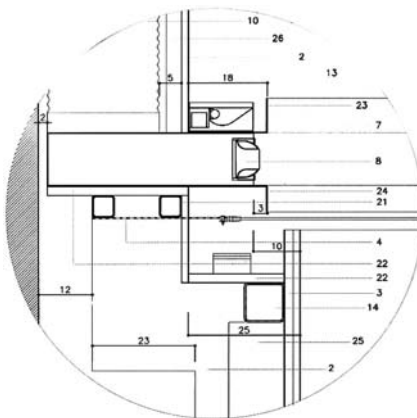


Figura 26. Posición de las multitoberas y up-lights.



Figura 27. Integración de las multitoberas y up-lights.

baterías de conductos (una por sala), todas ellas gobernadas por sondas de temperatura ambiente que se situarán en cada una de las 10 salas.

**Tabla 2. Resumen de las características de los equipos y componentes de la instalación de climatización.**

PRODUCCIÓN		Tipo	P. frigorífica	P. calorífica
BOMBA DE CALOR		Agua-aire-agua	182 kW	203 kW
ENFRIADORA		Aire-agua	151.3 kW	
TRATAMIENTO			Caudal	P. frig/calor
CLIMATIZADORES		Modulares. Caudal constante		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sección de mezcla de aire exterior y de retorno</li> <li>▪ Prefiltros (90% gravimétrico)</li> <li>▪ Filtros de bolsa (95% gravimétrico)</li> <li>▪ Batería de frío</li> <li>▪ Batería de calor</li> <li>▪ Humidificador de vapor de electrodos</li> <li>▪ Sección de ventilación de impulsión</li> </ul>		
	UTA 1	Sala 1+2	14.400 m³/h	67,4/ 41,7 kW
	UTA 2	Sala 3+4+5	13.500 m³/h	62,9/38,8
	UTA 3	Salas 6+7+8	14.850 m³/h	69,2/39,3
	UTA 4	Sala 9+10	13.600 m³/h	66,9/45,9
POSTRATAMIENTO			Caudal (m³/h)	P. calorífica
Baterías recalentamiento		Agua. Una fila	3.196 a 9.241	5,4 a 15,8 kW
DIFUSIÓN				
Difusores multitobera		Orientables	Ø 45 mm.	Una fila

En la tabla 2 se refleja un resumen de características de los equipos y componentes de la instalación de climatización.

## 6. CONCLUSIONES

- El Palacio de Carlos V, construido a partir del proyecto de Machuca en el siglo XVI, es un edificio sujeto a "larga duración", con una dilatada historia de obras de reforma (cuatro siglos) que mantiene el proceso abierto a nuevas intervenciones arquitectónicas. En este contexto hay que entender este proyecto de adecuación de la planta principal del palacio.

- El proyecto de intervención se ha realizado a partir de la investigación histórica y arquitectónica del edificio, con el fin de resolver el conflicto que supone la adaptación de la estructura del edificio a la satisfacción de ciertos requerimientos no previstos en la configuración originaria del edificio, principalmente del acondicionamiento ambiental de sus salas -lumínico, higrotérmico y de calidad del aire- para albergar con las debidas garantías las obras de la colección del museo.

- El proyecto de adecuación de las salas del museo organiza y jerarquiza dos escalas: la expositiva y la arquitectónica, claramente delimitadas espacialmente. La luz permite una nueva lectura de las salas del palacio, enfatizando su altura y reforzando esa subdivisión espacial de las salas: una, superior, que funciona como reflector ("bóveda de luz"), y otra, inferior, con paredes expositivas iluminadas uniformemente. Las nuevas salas son confortables visualmente y apropiadas para el uso expositivo.

- El proyecto de iluminación se caracteriza por permitir combinar la luz natural y artificial, para lograr una adecuada iluminación ambiental y expositiva, siempre que los requerimientos de la exposición así lo consideren oportuno. En caso contrario, es posible la casi anulación de la luz natural, mediante estores opacos motorizados que oscurecen los grandes y abundantes huecos rectangulares de sus fachadas.

- El procedimiento sencillo de anulación de la luz natural, susceptible de penetrar por una gran superficie de los huecos de las fachadas del palacio, permite que ésta apenas entre en

las salas cuando no estén en uso. Ésta es una buena medida para una mejor conservación de las obras de arte, al reducir las horas acumuladas de luz.

- El uso de fotocélulas permite una mayor eficiencia energética de la instalación, así como la adaptación de la iluminación interior de la sala a las condiciones exteriores de iluminación, según unas escenas de regulación programables.

- La instalación de alumbrado artificial ofrece, además de este alumbrado general ambiental y expositivo, la posibilidad de incorporar otro de acentuación, permitiendo así los más variados montajes expositivos en todas y cada una de las salas, cualquiera que sea su geometría y naturaleza de sus techos, en ausencia y presencia de la luz natural.

- La flexibilidad que pueden tener las salas, para adaptarse a cualquier montaje expositivo, es pues uno de los resultados de este proyecto de iluminación, lo que no resulta habitual en muchos museos, como muestra un reciente trabajo de investigación sobre iluminación en museos construidos en España en los últimos años (6).

- La intervención arquitectónica evita el contacto con los paramentos verticales existentes originarios del palacio, y recurre a una estructura interior que acoge en sus cámaras a una gran parte de las instalaciones del edificio, principalmente las de climatización -las que requieren un mayor volumen- sin ningún tipo de afección a esa estructura mural originaria.

- El acondicionamiento higrotérmico y de calidad del aire de las salas del museo se

produce principalmente con el concurso de una instalación de climatización de producción térmica centralizada. En el proyecto de climatización se ha buscado, por encima de todo, el diálogo e integración con el resto del proyecto de intervención arquitectónica, considerando al monumento, además de como equipamiento, como documento histórico y como soporte de valores culturales, prevaleciendo estos aspectos, en algunos casos, sobre la solución meramente técnica, con objeto de conseguir una propuesta final que cumpla todos los objetivos propuestos.

- La instalación de climatización proyectada permitirá lograr valores de temperatura, humedad y calidad del aire acordes tanto para el confort de los ocupantes, como para la conservación de las obras expuestas, a lo largo de todo el año. La gestión centralizada del control contribuirá a hacer más fácil este principal objetivo.

- La eficiencia energética de esta instalación queda garantizada con el sistema finalmente utilizado: sistema todo aire, multizona, con postratamiento, y cuatro climatizadores (uno por cada orientación), dadas las posibilidades que ofrece el utilizar la recuperación de calor, las similares condiciones que se obtienen en el cálculo del aire impulsado a cada sala, así como la previsible uniformidad de las cargas térmicas.

- La motorización de las compuertas de entrada de aire exterior para regular automáticamente los caudales de ventilación, atendiendo al horario de funcionamiento del museo y a la evolución de la temperatura exterior, es otra medida que persigue un mayor ahorro energético.

## BIBLIOGRAFÍA

(1) Entre la bibliografía sobre el Palacio de Carlos V, destacamos la siguiente:

- E. Llaguno y Amírola. Noticias de los arquitectos y arquitectura de España..., 1829.
  - Prieto Moreno, F.: "La conservación de la Alhambra", *Revista Nacional de Arquitectura*, 3 (1941- )
  - Torres Balbás, L.: "El museo arqueológico de la Alhambra", *Al-Andalus*, Vol. IX, 1 (1941), pp. 70-75.
  - Vélchez, C. La Alhambra de Leopoldo Torres Balbás (obras de restauración y conservación 1923-1936). Granada, 1988.
  - E.. Rosenthal. The Palace of Charles V in Granada, Princeton Univ. Press, Princeton, N.J., 1985;
  - Bury, J.: "The Palace of Charles V in Granada by E.E. Rosenthal", *The Burlington Magazine*, Vol. CXXIX, nº 1008 (1987), pp. 195-196
  - Tafuri, M.: "El Palacio de Carlos V en Granada: arquitectura 'a lo romano' e iconografía imperial", *Cuadernos de la Alhambra*, 24 (1988), pp. 77-108.
  - Villafranca, M. M. "La reutilización de una arquitectura histórica: el palacio de Carlos V como contenedor de obras de arte", *Cuadernos de la Alhambra*, 27 (1991), pp. 245-251.
  - Capitel, A.: "Tafuri y Granada. Machuca, Romano y Peruzzi", *Circo*, 49 (1998).
- (2) Jiménez Torrecillas, A. et al.: "Museo de Bellas Artes de Granada. Palacio de Carlos V. Planta Principal", *mus-A*, año II, nº 03 (2004), pp. 106-117.
- (3) Jiménez Torrecillas, A.: "Museo de Bellas Artes. Palacio de Carlos V, Alhambra", *Documentos de Arquitectura*, nº 61, Monographies of Spanish Architects: Antonio Jiménez Torrecillas (2006), pp. 58-63.
- (4) Commission internationale de l'éclairage (CIE).
- (5) Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas (ITE), y Real Decreto 1218/2002, de 22 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1751/1998. Separata 1ª. 1-03.
- (6) O. Muñoz Heras. Tesis doctoral: "Condiciones de iluminación natural en museos construidos en los años ochenta y noventa en España. La luz en los museos que vi nacer". Universidad de Sevilla (2006).

\* \* \*