GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CULTURA Y DEPORTE
DIRECCIÓN GENERAL DE BELLAS ARTES
SUBDIRECCIÓN GENERAL DEL INSTITUTO DEL PATRIMONIO CULTURAL DE ESPAÑA

Planes nacionales Conservación preventiva

Planes nacionales Investigación en conservación

RECOMENDACIONES BÁSICAS PARA VITRINAS DESTINADAS A BIENES CULTURALES DE NATURALEZA ORGÁNICA ESPECIALMENTE SENSIBLES

(Proyecto PNIC, Vitrinas, nº PNIC2015/01)

Ministerio de Cultura y Deporte
Instituto del Patrimonio Cultural de España

Madrid, 2018

© Ministerio de Cultura y Deporte.
Instituto del Patrimonio Cultural de España.
Madrid

Título:

Recomendaciones básicas para vitrinas destinadas a bienes culturales de naturaleza orgánica especialmente sensibles.

Autor/es:

Isabel Herráez (CROAPAE. IPCE)
Juan Antonio Herráez (Conservación preventiva. IPCE)
Nieves Valentín (Biodeterioro. IPCE)
Daniel Durán (Conservación Preventiva. IPCE)
Diana Lafuente (Experta en Conservación Preventiva)

Colaborador/es:

Teresa Gómez-Espinosa (Museo Arqueológico Nacional)
Carmen Muro (Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía)
Mar Sanz y Beatriz Robledo (Museo de América)
Patricia Alonso (Museo Nacional de Antropología)
Julia Montero (Biodeterioro. IPCE)

Fecha: Junio de 2018

RECOMENDACIONES BÁSICAS PARA VITRINAS DESTINADAS BIENES CULTURALES DE NATURALEZA ORGÁNICA ESPECIALMENTE SENSIBLES

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Necesidad de estudios contextuales

La elección de una vitrina para exponer un bien cultural concreto debe estar enmarcada dentro de un estudio mayor del contexto museístico, siendo deseable que forme parte de un plan de conservación preventiva o, al menos, que aborde un análisis de las condiciones ambientales. Estas deben estudiarse en relación con la vulnerabilidad del bien, lo que implica estudiar la respuesta de sus materiales constituyentes frente a dichas condiciones; por otra parte, también deben analizarse los posibles efectos negativos que introduciría el nuevo entorno creado por la futura vitrina.

Además, deben tenerse en cuenta otros condicionantes como son: seguridad física frente a robos o actos de vandalismo; medidas de seguridad ante emergencias; medios humanos y económicos disponibles por parte de la institución, así como el discurso museográfico y los aspectos estéticos.

Otro análisis previo importante que debería abordarse es el referido al uso y gestión del espacio. Así, en función de la ubicación de la pieza se debe valorar su estabilidad física, cómo puede influir el flujo de visitantes y si la vitrina puede dificultar el acceso a los aparatos técnicos de seguimiento o mantenimiento de la sala, o la posible respuesta ante una situación de emergencia.

En otro orden de cosas, la vitrina debe ir acompañada de una documentación específica con su descripción, normas de uso, características constructivas y recomendaciones de mantenimiento.

Como norma general, las condiciones ambientales que deben conocerse son:

Humedad relativa (HR)
Temperatura (T)
Iluminación
Instalaciones de climatización (aire acondicionado, calefacción, etc.)
Contaminantes atmosféricos
Vibraciones debidas a factores del medio como por ejemplo el tráfico rodado

Para poder evaluar las ventajas es preciso conocer también cuáles serán las nuevas condiciones dentro de la futura vitrina. Así, debería existir una estimación acerca de:

La atenuación de las fluctuaciones de HR
Las nuevas condiciones de iluminación
La penetración de contaminantes atmosféricos
La acumulación de contaminantes procedentes del propio bien cultural
La posible emanación de contaminantes por los materiales constitutivos de la nueva vitrina.
Cualquier otro factor ambiental que pueda ser alterado
Vibraciones generadas por la manipulación de la vitrina y posible atenuación de las debidas a factores del medio

Por supuesto, además de los factores ambientales debería considerarse cualquier otro factor de riesgo previsible.

Un estudio de esta magnitud excede el propósito de esta guía, aquí nos limitaremos a dar algunas recomendaciones básicas referidas a los aspectos antes enumerados, que pueden ayudar a definir unas especificaciones técnicas para la adquisición/fabricación de una vitrina.

1.2.- Sensibilidad a los factores ambientales

Los bienes culturales de naturaleza orgánica, por su composición, son especialmente vulnerables a las condiciones ambientales. Niveles bajos de la HR provocan la deshidratación del material provocando alteraciones físico-químicas que pueden llegar a la destrucción de las estructuras proteicos. De otra parte, se trata de materiales altamente higroscópicos, por lo que valores altos de HR del aire pueden suponer un aumento notable de su contenido de agua y por tanto de su volumen, además de favorecer reacciones químicas de hidrólisis y el bio-deterioro en todas sus formas, que puede actuar muy rápidamente debido a la riqueza de nutrientes que contienen.

De cualquier modo, cada bien requiere unas condiciones específicas de HR y T que deberán deducirse para cada caso y que van a depender de su naturaleza material, características, historia material (bajo qué condiciones ha estado hasta el momento presente) y estado de conservación.

Los criterios básicos a seguir están definidos en el *Manual de Seguimiento y Análisis de Condiciones Ambientales* (Herráez, et al. 2014).

Estos bienes son también especialmente vulnerables a los contaminantes atmosféricos y, dentro de la gran variedad de sustancias englobadas dentro de esta denominación, merecen una atención especial los llamados compuestos orgánicos volátiles (COVs) que han demostrado ser especialmente dañinos. Una peculiaridad de los COVs es que suelen encontrarse en mayor concentración dentro de las salas que en el exterior de los edificios, pues se originan al ser liberados por disolventes, adhesivos, pinturas, barnices, masillas, maderas y otros materiales relacionados con la museografía, materiales de embalaje, productos de limpieza, y productos de restauración.

Los materiales orgánicos son también especialmente sensibles a la fotodegradación, por múltiples mecanismos, destacando entre ellos los fenómenos de fotooxidación. Otra fuente de problemas son las acumulaciones de polvo y otras partículas sólidas, que pueden aumentar su higroscopicidad y causar manchas y reacciones químicas. A todo esto habría que añadir que la presencia simultánea de varios de estos factores ambientales podría dar lugar a que interactuaran sinérgicamente entre ellos acelerando los procesos de degradación.

1.3.- Vitrinas y control de condiciones climáticas

Un parámetro crítico en el diseño de cualquier vitrina de la que se espere que sirva para controlar las condiciones climáticas en su interior es su hermeticidad, que suele ser especificada en términos de "tasa de intercambio de aire", expresada normalmente en unidades de tiempo y que se define como el tiempo necesario para que todo el aire en un contenedor (habitación, vitrina, etc.) sea reemplazado por aire procedente del exterior. Este parámetro puede determinarse tanto para contendores con un intercambio forzado de aire, como para contenedores cuya única ventilación procede de las fugas a través de las junturas (Padfield, 2014).

Las vitrinas pueden consistir en un mero contenedor pasivo con uno o varios laterales de vidrio para permitir la contemplación del interior o pueden estar dotadas de múltiples mecanismos que les confieran un alto grado de sofisticación y control de las condiciones ambientales en su interior. Por norma general, cuanto más sofisticada y más mecanismos incorpore, mayor va a ser su costo de adquisición y mantenimiento. Por ello, cualquier institución antes de decantarse por algún tipo concreto de vitrina debe considerar primero con qué recursos cuenta, la carga económica que puede suponer su mantenimiento y si la importancia, las características y especialmente la fragilidad de la pieza a proteger justifican la inversión.

Hechas estas consideraciones, dentro de lo que podríamos llamar el grupo de las vitrinas "tecnológicamente sofisticadas", hay dos tipos importantes:

- Vitrina con control climático activo:

Utilizan mecanismos de control activos y dispositivos electrónicos para regular las condiciones interiores. Crean microclimas artificiales permitiendo ajustar la HR y la T a valores fijos.

Su uso no está muy extendido dada la gran cantidad de inconvenientes que presentan: coste elevado, necesidad de mantenimiento periódico, alta frecuencia de fallos mecánicos, el consumo de electricidad y la no existencia de equipos de climatización diseñados específicamente para esta aplicación lo que hace muy complicado el ajuste de flujo de recirculación del aire interior y la estabilidad de las condiciones.

Una alta hermeticidad en estos casos sirve para reducir los costos derivados del consumo eléctrico y la probabilidad de fallo mecánico.

- Vitrina con sistemas pasivos de control de humedad:

Utilizan productos higroscópicos que sirven de amortiguador (buffer) de los cambios de humedad, tales como el gel de sílice o derivados comerciales de éste, cuya cantidad debe ser calculada cuidadosamente en función del volumen del espacio interior de la vitrina, de los valores medios de HR en el exterior y la tasa de intercambio de aire, que determinarán la capacidad de amortiguación frente a los cambios de humedad relativa y la frecuencia de regeneración o sustitución del producto.

Su coste y complejidad técnica son bastante inferiores a los propios de los sistemas de control activo, su mantenimiento mucho más sencillo por lo que respecta a los mecanismos, pero las necesidades de reposición y regeneración de los productos amortiguadores pueden ser muy laboriosas cuando hay mucha diferencia entre las condiciones en el exterior y las que se quieren conseguir en el interior de la vitrina.

En estos casos, también se requiere un alto grado de hermeticidad para garantizar la estabilidad de los valores de HR en el interior y minimizar las labores de reposición y regeneración del producto regulador de la HR.

Además, un caso aparte de vitrina altamente tecnificada son las **vitrinas de anoxia**, en las que el aire contenido en su interior se sustituye por un gas inerte (argón o nitrógeno típicamente). Estas vitrinas son necesariamente herméticas. Se recomiendan cuando las condiciones de la sala de exposición del museo son inadecuadas y difíciles de corregir; también cuando los bienes culturales expuestos son muy sensibles como restos antropológicos, colecciones de historia natural, etc. o se trate de piezas con un valor histórico muy alto. La principal ventaja de este tipo de vitrinas es que al minimizar la concentración de oxígeno (del orden de ppm) las reacciones químicas de oxidación (y foto-oxidación) quedan altamente ralentizadas (Maekawa, 1998).

Las vitrinas de anoxia pueden ser igualmente activas o pasivas, siendo menos frecuentes las primeras por las mismas razones antes expuestas: consumo de electricidad, alta probabilidad de fallos mecánicos, etc. En cualquier caso las vitrinas de anoxia son poco frecuentes y el motivo principal es que requieren del más alto grado de hermeticidad, lo que hace que su fabricación e instalación sean muy complejas y requieran de profesionales especializados. Por el contrario, una vez instaladas, las vitrinas de anoxia pasivas no precisan de mucho mantenimiento.

2.- RECOMENDACIONES TÉCNICAS

2.1.- Condiciones climáticas

Como ya se ha indicado en la introducción, los niveles óptimos y oscilaciones admisibles de HR y T deben estimarse en cada caso particular. No obstante, pueden darse algunas recomendaciones generales:

El nivel óptimo de HR normalmente se va a situar en un punto estable entre el 30% y el 65% (según cada caso). Superar este margen llevaría a un riesgo muy elevado de bio-deterioro por encima del 65%, ya una degradación física y fragilidad muy elevadas si la humedad se mantiene por debajo del 30%. Puesto que estamos hablando de bienes especialmente sensibles la oscilación diaria de la humedad relativa no debería superar el 5%.

Respecto a la T, en todos los casos, deben impedirse las oscilaciones drásticas debidas al uso de sistemas de climatización o calefacción destinadas al confort humano o al impacto de sistemas de iluminación inadecuados. Controlando estos efectos, los niveles y oscilaciones de temperatura no deben tener una repercusión apreciable en la mayoría de los bienes, a excepción de aquellos

que evidencien una inestabilidad química y física grave, que requerirán niveles de temperatura bajos para minimizar la velocidad de las reacciones químicas.

Como norma general, lo deseable y lo más práctico y sostenible es que la T se controle en el ámbito de la sala o el espacio en el que se encuentre la vitrina. Excepto en casos especiales, como ya se ha mencionado, niveles moderados de temperatura, tanto en invierno como en verano, compatibles con los niveles de confort humano no deben suponer un problema para la estabilidad de la humedad en el interior de la vitrina.

Siempre que se utilice cualquier sistema activo o pasivo de control de las condiciones ambientales en niveles diferentes a los que de forma habitual se observen en la sala o el edificio, es obligatorio disponer de un sistema de registro, preferiblemente automático (data logger o sistema centralizado), de humedad relativa y temperatura.

2.2.- Elementos de control ambiental

Dentro de los mínimos exigibles para que un contenedor o expositor pueda considerarse vitrina de museo está el que disponga de un sistema de control pasivo de la HR y de la calidad de aire. Generalmente, la regulación se realiza ubicando materiales adsorbentes de humedad y de compuestos químicos volátiles en el interior de la vitrina. Para ello, la vitrina debe disponer de lo que se conoce como compartimentos de servicios, generalmente localizados en la parte inferior de la vitrina, estancos en relación con el exterior, pero en comunicación con la zona expositiva de la misma mediante orificios, ranuras o rejillas que permitan la recirculación de aire. El acceso a los compartimentos de servicios debe ser independiente del acceso al compartimento expositivo, su manipulación no debe producir vibraciones apreciables y deben estar contemplados desde las fases iniciales del proceso de diseño.

También es recomendable que la vitrina cuente con un sistema de recirculación forzada en el caso de poseer un gran volumen o formato vertical.

2.2.1.- Sistema de control pasivo de HR

El producto amortiguador de humedad, generalmente gel de sílice o alguno de sus derivados comerciales (Art-Sorb®, PROsorb®, o similares), debe estar accesible para su regeneración o reposición y dispuesto extendiéndose sobre la mayor superficie posible. Antes de ser introducido en la vitrina debe estar pre-acondicionado para el valor concreto de HR que se desea mantener.

Este ajuste, si así se especifica en el momento de la adquisición, puede ser realizado por el propio suministrador.

Por lo que se refiere al formato, estos materiales presentan una mayor eficiencia cuando forman pequeñas esferas ya que la superficie de contacto con el aire es mayor.

Como norma general, la cantidad de producto necesario será proporcional al volumen interior de la vitrina, utilizando una proporción de 2kg/m³, incluidos todos los compartimentos (técnicos y expositivos) aislados del exterior. No obstante, esto es sólo un dato orientativo pues como ya se ha mencionado, en función del grado de estanqueidad de la vitrina y de la frecuencia de regeneración o reposición del producto prevista, es posible hacer un cálculo más preciso (Padfield, 2014).

Otro aspecto importante son las dimensiones necesarias de las rendijas u orificios de comunicación entre los espacios técnicos y los expositivos para garantizar unos valores de HR similares en ambos espacios. Al respecto se recomienda que estos orificios tengan al menos un diámetro (o anchura en el caso de las rendijas) entre 8 y 10 mm y que ocupen un 25% o más del panel de separación (Thickett, 2012).

2.2.2.- Sistema de control pasivo de contaminantes químicos

El producto adsorbente para gases contaminantes más común es el carbón activado, existiendo variedades específicamente elaboradas para museos, como el carbón de cáscara de coco, que se caracteriza porque no mancha ni desprende polvo. Al igual que en el caso anterior, debe estar accesible para su reposición y dispuesto extendido ocupando la mayor superficie posible. Otra alternativa es el uso de permanganato de potasio.

La cantidad de producto dependerá del tamaño de la vitrina, de las características de las piezas y de la concentración previsible de contaminantes químicos en el interior de la vitrina.

2.2.3.- Absorbentes de oxígeno

En el caso de vitrinas de anoxia, para ayudar a la total eliminación de oxígeno, es común el uso de productos absorbentes de oxígeno, como el ATCO® Age Less®, StabilOx®, Oxy-Guard™ o similares. En este caso el producto suele presentarse en bolsas permeables a este gas, que deben

disponerse igualmente en los compartimentos de servicios lo más esparcidas posible y accesibles, para su reposición.

Estos productos suelen tener un tiempo de vida útil limitado y conocido.

2.2.4.- Sistema de recirculación del aire

Cuando las vitrinas cuentan con un gran volumen o altura, para garantizar una distribución homogénea de la humedad relativa y de ausencia de contaminantes en todo el espacio expositivo, así como para evitar la estratificación debida a la temperatura, es recomendable la instalación de ventiladores-extractores para forzar el flujo de aire entre el espacio de exposición y el compartimento de servicios.

Su ubicación dependerá de las características de la vitrina pero, de forma general, la impulsión de aire limpio y acondicionado debe estar en la parte inferior de la vitrina, a la salida del compartimento técnico, y el retorno en la parte superior opuesta.

El flujo debe ser muy tenue, pero suficiente para favorecer una mezcla adecuada del aire. Como referencia orientativa, el flujo debe ajustarse a unos valores que permitan entre una y dos recirculaciones completas de aire a la hora.

Los ventiladores, conductos y cualquier elemento del sistema de recirculación del aire, no deben producir vibraciones apreciables y deben funcionar con niveles de ruido inferiores a 30dB. Los ventiladores deben contar con la protección eléctrica adecuada. La alimentación de este sistema se realizará mediante una línea de corriente protegida frente a sobretensiones y no compartida con otros servicios del museo susceptibles de ser desconectados de forma manual o temporizada. También es conveniente que exista algún medio de comprobar si se encuentran en funcionamiento sin necesidad de abrir la vitrina. Para ello una buena solución puede ser un pequeño panel de leds en un lugar visible de la misma (sin afectar a la presentación museográfica), de modo que haya un led conectado a cada ventilador que permanezca iluminado mientras éste se encuentre en funcionamiento.

Existe la posibilidad de incorporar en el circuito eléctrico un programador que regule el tiempo de funcionamiento de los ventiladores e incluso, en los casos más sofisticados, puede estar controlado por un humidiostato, de modo que la recirculación se active cuando en el punto más desfavorable de la vitrina se alteren significativamente los niveles de humedad.

Antes de la entrada de aire en el espacio expositivo, se puede intercalar un filtro mecánico para evitar la impulsión de pequeñas partículas procedentes del compartimiento técnico.

2.2.5.- Bio-sensores

El bio-sensor es un elemento pasivo, sobre el que se espera se depositen muestras de todas las esporas y contaminantes biológicos a los que están expuestos los bienes culturales. Por ello, idealmente, debería situarse en el compartimento expositivo separado de los bienes no menos de 25 cm. No obstante, esta proximidad no es necesaria cuando existe un sistema de circulación de aire, o es imposible por suponer una interferencia importante para la contemplación del bien; en estos casos, se podrán ubicar en el compartimento técnico de su base, siempre alejados del producto amortiguador de la humedad.

En las vitrinas de anoxia, es recomendable la ubicación en el compartimento técnico, para facilitar una extracción que suponga la mínima entrada de oxígeno.

En términos generales, para su análisis, los bio-sensores deben ser retirados cada tres meses y reemplazados por otros nuevos. No obstante, en el caso de las vitrinas de anoxia la frecuencia puede ser mayor,

2.3.- Iluminación

Muchas vitrinas no disponen de un sistema propio de iluminación, por lo que dependen de la que proporciona la propia sala. Las recomendaciones que se indican a continuación, son sólo válidas para aquellas vitrinas que sí dispongan del mismo.

El sistema de iluminación irá situado en compartimentos específicos separados y aislados del resto de la vitrina, de modo que su mantenimiento no suponga ningún riesgo adicional de los bienes expuestos ni ninguna alteración de sus condiciones ambientales.

Estos compartimentos serán cerrados, pero con acceso fácil y directo. Para facilitar la disipación de calor de las fuentes de luz, dispondrán de rejillas y aberturas de ventilación hacia el exterior.

Los materiales orgánicos son especialmente sensibles a la fotodegradación por lo que hay que evitar en todo caso la sobreexposición de los objetos limitando la iluminancia a 50 lux medidos en la superficie del bien cultural. En el caso de vitrinas con iluminación incorporada será especialmente importante estudiar la ubicación de las luminarias para optimizar el reparto de luz evitando zonas sobreexpuestas o subexpuestas. Con este fin, es muy importante que el sistema o sistemas cuenten con la máxima facilidad de regulación.

Para limitar la exposición a la luz de los bienes culturales tanto como sea posible, si la disponibilidad de medios lo permite, se puede dotar a la vitrina de algún sistema con temporizador que restrinja la iluminación a sólo los momentos en que esté presente el público. Si se emplea un pulsador, es preferible que se encuentre separado de la vitrina.

La fuente de luz será de alta calidad, libre de emisión ultravioleta e infrarroja, preferiblemente de uno de los tipos siguientes:

- Transmisión de la luz mediante fibra óptica.
- LED de alta reproducción cromática (IRC ó Ra superior a 80), con regulador.

2.4.- Materiales

Se elegirán materiales físicamente estables y químicamente inertes a las condiciones ambientales (iluminación, T, HR, etc.) fijadas o previstas para el interior de la vitrina.

La emisión de COVs por parte de los materiales constitutivos de la vitrina en el interior de la misma ha de ser idealmente nula y, en cualquier caso, la menor posible. Por ley (Real Decreto 227/2006) los fabricantes de productos susceptibles de emisiones apreciables están obligados a informar de los contenidos máximos de COVs de los mismos, expresados en g/l de producto listo para su empleo. En los casos en los que haya disponibilidad económica suficiente, es muy recomendable que estos niveles sean analizados y validados científicamente mediante tests o un prototipo experimental previamente a la selección del material.

Los materiales más adecuados por su baja emisividad de COVs para usar en la construcción de una vitrina, según la literatura específica, serían:

- Vidrio de seguridad de alta calidad, laminado, extra claro.
- Aluminio anodizado.

- Acero inoxidable.
- Acero o aluminio cubierto con pintura en polvo (electroestática).
- Policarbonato compacto, celular o film (PC).
- Polimetilmetacrilato (PMMA).
- Poliestireno (PS).
- Polietileno (PE).
- Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).
- Plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV o GFRP o GRP).

La construcción de vitrinas con perfilería metálica, en acero o aluminio, y los materiales citados, puede suponer un mayor gasto inicial, aunque ofrece como contrapartida una larga vida útil, mayor seguridad y una menor emisión de COVs, y por tanto y principalmente, una mejor preservación del bien cultural.

Por el contrario, los materiales que representan un grave riesgo para los bienes por su alta emisividad serían:

- Madera y sus derivados: tableros laminados, contrachapados, aglomerados o de partículas (DM), con adhesivos o recubrimientos de melamina-formaldehído (MF), melanina-urea-formaldehído (MUF), urea-formaldehído/urea-metanal (UF) fenol-formaldehído (PF), poliuretano (PU), resorcina fenol formol (RFF), etc.
- Selladores de silicona. En caso de usarse se debe cuidar que sean neutros, elegir los de menor contenido de COVs y respetar con especial cuidado los tiempos de curado.
- Plásticos: poliuretano, policloruro de vinilo, caucho vulcanizado, neopreno.
- Tejidos (celulósicos, proteicos) especialmente aquellos que posean un pH inferior a 7.
- Papel, principalmente los fabricados con pasta mecánica, pH inferior a 6.
- Pinturas, barnices y adhesivos. Deben usarse sólo en caso necesario y aún entonces, se preferirán las pinturas en polvo, o al agua, así como las pinturas certificadas de baja emisión, realizándose un test para corroborar los datos del fabricante y respetando los tiempos de curado.

El riesgo que representan estos productos puede deberse tanto a su naturaleza material, como al sistema de producción y a la adición de estabilizantes, plastificantes, etc.

No obstante, en casos especiales, cuando se desee conservar vitrinas con valor histórico existe la posibilidad de reacondicionarlas utilizando materiales como Melinex® o Marvelseal® para cubrir y

aislar aquellos elementos estructurales o accesorios susceptibles de emitir COVs, estando especialmente indicados para la madera y sus derivados.

Los materiales de riesgo podemos encontrarlos como base de la construcción (estructura portante, tabiquería, pinturas, filtros...), en el sellado (burletes, selladores...), en los elementos auxiliares de vitrina (plintos, peanas, apoyos, etc.), en cartelería y rotulación (soportes, tintas, adhesivos). En concreto, la cartelería es una de las grandes fuentes de emisión de COVs, por lo que debería situarse en el exterior de la vitrina.

2.5.- Hermeticidad

Entre el interior y el exterior de la vitrina, inevitablemente va a existir siempre un intercambio de aire. Éste va a tener dos efectos principales en las condiciones ambientales. De un lado, va a suponer que el aire que tratamos de mantener con unos valores prefijados de HR va a estar mezclándose con el aire de la sala (con un valor de HR aleatorio) contribuyendo a desestabilizar el primero; esto redundará en un agotamiento más rápido de la capacidad de los productos amortiguadores de humedad. De otra parte, va a tener un efecto de ventilación beneficioso para combatir eventuales acumulaciones de contaminantes atmosféricos (químicos, VOCs o biológicos) procedentes del propio bien o de los materiales constitutivos de la vitrina. A la hora de valorar este último aspecto, también debe tenerse en cuenta la presencia de polvo o contaminantes en el entorno (la sala) pues su concentración podría ser mayor que en el interior.

En general, si se pretende que el sistema de control pasivo de HR descrito en el punto 2.2.1 sea eficiente, se necesita un grado de estanqueidad más bien alto, a modo de orientación debe asegurarse que se produce menos de 1 renovación de aire por día.

Pero puede haber casos particulares (por los motivos antes expuestos) en los que se precise una mayor ventilación. El caso más obvio se produce cuando son los propios bienes culturales a proteger los que presentan una alta emisividad de COVs. En este caso se debe tratar de mitigar las emisiones y hay que considerar aumentar la tasa de ventilación de la vitrina (es decir reducir su hermeticidad y renunciar al control interno de humedad). Esta medida puede complementarse, y en ocasiones suplirse, con otras dos medidas alternativas:

- Aumentar la cantidad de adsorbente de gases contaminantes (carbón activo) y su frecuencia de reposición.

- Disponer de válvulas para la renovación forzada de la atmósfera interior de la vitrina (ver puntos 2.6 y 2.7).
- Disponer de un sistema de recirculación interna que dirija el flujo de aire hacia una sección de filtrado, para que se retiren de este los COVs sin necesidad de renovar la atmósfera interior.

Las vitrinas de anoxia son un caso extremo en el que se busca el intercambio mínimo para conservar las condiciones de muy baja concentración de oxígeno. El requisito es tan exigente que la tasa de intercambio de aire debe expresarse con otras unidades distintas (se expresa en términos del aumento de la proporción de oxigeno residual expresado en ppm). Así, sería deseable que la vitrina de anoxia presente pérdidas en torno a 5 ppm/día y nunca superiores a 50 ppm/día. Otra peculiaridad es que este tipo de contenedores precisa necesariamente de válvulas para la carga inicial y la reposición del gas inerte sustitutivo del aire ordinario.

La hermeticidad va a depender de cómo se unan y sellen los diferentes elementos que constituyen la vitrina; por lo que hay que tener una especial precaución con la posible emisión de COVs por parte del material de las juntas y sustancias sellantes. Esta es una operación crítica ya que, como se deduce de lo ya explicado, una mayor estanqueidad combinada con una mayor presencia de contaminantes es altamente perjudicial.

Sería preferible que las uniones se realizaran mediante presión mecánica de perfiles metálicos sobre juntas de un material químicamente estable (Viton® o similar), sin sellantes. No obstante esta solución no es frecuente en vitrinas donde no se practica la anoxia; por tanto no queda más remedio que cuidar al máximo que todos los elementos y sustancias empleadas estén validados y testados con respecto a la emisión de COVs (ver punto 2.4).

2.6.- Válvulas para la renovación forzada de aire

Cuando las vitrinas dispongan de estos elementos, debe tomarse las siguientes precauciones:

- Incluir filtros mecánicos (Millipore® o similar) tanto en la válvula de entrada como de salida.
- Que el flujo de renovación de aire se mantenga independiente del sistema de recirculación interior.
- Que las válvulas de entrada y salida se coloquen en extremos opuestos de la vitrina.
- Que sean accesibles y fáciles de conectar a una bomba externa.

- Que se prevea el uso de algún sistema de protección frente a sobrepresiones (válvula antirretorno, válvula de sobrepresión, válvula de alivio o manómetro para supervisar la operación).
- Es recomendable que la válvula de salida sea doble o de diámetro mayor que la de entrada, para evitar sobrepresiones.

Respecto del tamaño de las válvulas, su diámetro va a influir en la velocidad con que se puede renovar el aire. En general las de 1/8 de pulgada son demasiado estrechas y pueden ralentizar notablemente la renovación de aire y las de ½ pulgada pueden resultar demasiado grandes y aparatosas. Lo ideal sería un tamaño intermedio entre estos dos extremos. Aunque esto dependerá también del volumen de la vitrina y por tanto del volumen de aire que se tenga en consideración.

2.7.- Funcionalidad.

Las vitrinas deben permitir:

a) acceso adecuado, y seguro, a los objetos en el espacio expositivo.
b) acceso adecuado, e independiente del anterior, a los compartimentos técnicos para permitir el mantenimiento de los sistemas alojados en ellos.

La apertura debe ser sencilla y de fácil manejo, practicable solo para el personal técnico del museo, o personal autorizado.

Las vitrinas de anoxia requieren un tratamiento especial de los elementos de apertura y un protocolo específico para el acceso a los bienes y posterior recuperación de las condiciones de anoxia.

2.8.- Seguridad

Las vitrinas deben cumplir las normativas vigentes en cuanto a su fabricación e instalación.

Las puertas de acceso y todos los elementos móviles de la vitrina cumplirán las recomendaciones de ergonomía y seguridad para las personas. Su manipulación no debe comprometer nunca su estabilidad física ni causar vibraciones apreciables. Además, deben ser seguros frente a posibles sustracciones o robos, y de fácil accionamiento para el personal autorizado o en caso de emergencia.

Los vidrios y demás materiales de construcción de las vitrinas también se ajustarán a la normativa vigente, siguiendo las recomendaciones de seguridad con el nivel necesario en materia de vandalismo y resistencia al fuego. El fabricante de la vitrina suministrará datos precisos sobre la resistencia de la estructura y los elementos de soporte (superficies, estantes, etc.).

La estructura de la vitrina debe estar diseñada en función del peso total (cerramientos, instalaciones y objetos) para asegurar la máxima estabilidad estática, frente a golpes, accidentes y vibraciones externas e internas. En el caso de identificación de riesgo de terremoto, el diseño de soportes y sujeciones de los bienes culturales debe ser específico para minimizar daños, y evitar la exposición de objetos en diferentes niveles superpuestos. La estructura de la vitrina estará lastrada o arriostrada de forma que proporcione la máxima estabilidad y a la vez flexibilidad frente a las sacudidas.

2.9.- Limpieza.

Los vidrios de la vitrina deben ser susceptibles de ser limpiados con una solución hidro-alcohólica (agua y etanol) dejando el correspondiente tiempo de evaporado. Se evitarán vidrios con necesidades específicas de productos de limpieza industriales.

3.- INSTALACIÓN Y PUESTA A PUNTO

Una vez terminado el montaje y antes de instalar los bienes culturales a exhibir, debe existir la certeza de que tanto el nivel de HR como la concentración COVs en el interior son los adecuados y están estabilizados.

En las vitrinas de anoxia, se aconseja una revisión anual, realizada por un profesional experto en estos sistemas, para comprobar la estabilidad de la concentración residual de oxígeno

3.1.- Condiciones de HR

No basta con que el producto amortiguador de la humedad esté pre-acondicionado para un valor dado. Se debe tener en cuenta el carácter higroscópico de todos los elementos contenidos o en contacto con el interior (los relacionados con la museografía, los que constituyen la estructura de la vitrina y los propios bienes a exhibir). De este modo, tras el montaje, una vez alcanzado por

primera vez el nivel de HR deseado, es preciso dejar reposar la vitrina unas horas, para después comprobar si el nivel de HR ha variado y realizar los ajustes oportunos si fuera preciso. Esta operación debería repetirse hasta comprobar que se ha alcanzado una situación estable.

Si se prevén complicaciones en este sentido, existe la opción de aislar alguno de esos elementos (cajones, bandejas, largueros, etc.) mediante láminas aislante tipo Marvelseal® o similar. O incluso, en ocasiones, también es posible pre-acondicionarlos.

3.2.- Concentración de COVs

Es imprescindible respetar los tiempos de secado o curado de los materiales utilizados (especialmente barnices, pinturas y adhesivos), favoreciendo la evaporación de los posibles COVs presentes antes de cerrar la vitrina. Para ello se respetarán las indicaciones del fabricante o, en su defecto, las experiencias documentadas en la bibliografía especializada. En cualquier caso, el tiempo mínimo de curado recomendable sería de cuatro semanas.

Tras cerrar la vitrina, es necesario dejarla reposar unos días y después realizar mediciones precisas del nivel de COVs en el interior. En caso de no disponerse de equipos de medida adecuados, hay que dejar reposar igualmente la vitrina y tener la precaución mínima de prolongar el tiempo de curado si se detecta cualquier olor persistente y hasta su total desaparición. El tiempo necesario se puede reducir notablemente con ventilación activa. En el caso de gases ácidos (acético y fórmico, por ejemplo) pueden practicarse otros métodos de detección sencillos (Tetreault, 1999).

Cuando se trata de vitrinas de anoxia, se recomienda repetir la recarga completa del gas inerte al mes, a los tres meses y a los doce meses de la puesta en funcionamiento.

4.- REPUESTOS

Las vitrinas pasivas no requieren un acopio de repuestos, salvo que exista algún componente singular en el despiece del sistema de iluminación o de recirculación del aire.

Sí es conveniente, por operatividad y seguridad, contar con un repuesto tanto de carbón activado como de gel de sílice, de igual cantidad a la depositada en el interior, para facilitar su cambio o regeneración en caso necesario.

5.- DOCUMENTACIÓN

Se debe exigir documentación que contenga al menos los detalles constructivos de la vitrina, planos y esquemas eléctricos, instrucciones de uso, protocolo específico de acceso a los bienes expuestos, manipulación y funcionamiento, listado de componentes comerciales (válvulas, interruptores, microventiladores, etc.), especificaciones técnicas (dimensiones, tasa de renovación de aire, características de los vidrios, etc.), necesidades de mantenimiento y recomendaciones para su limpieza. Toda esta documentación debe estar recogida en una memoria detallada que recoja la descripción de la vitrina y todas sus instalaciones junto con el Manual de Uso y Mantenimiento de la misma.

Dentro de la vitrina, en una zona de fácil acceso para el personal técnico del museo, preferiblemente en el área de compartimentos técnicos, se colocará una copia actualizada del citado Manual de Uso y Mantenimiento de la vitrina.

6.- CONCLUSIONES

A la hora de elegir o diseñar una vitrina para materiales orgánicos especialmente vulnerables destinada a un museo, debe considerarse la opción de una vitrina de anoxia cuando se trate de objetos muy valiosos y delicados. Si se optara, no obstante, por una vitrina convencional, debe exigirse que cuente con unas características y equipamiento técnico mínimo. En cualquiera de los dos casos (anoxia o no anoxia) la vitrina debe contar con:

1. Compartimento de servicios, con capacidad suficiente para albergar adsorbentes de contaminantes químicos, reguladores de HR y bio-sensores.
2. Regulación de HR, mediante agentes adsorbentes o amortiguadores, como el gel de sílice (Art-Sorb®, PROsorb®) o similar.
3. Eliminación de contaminantes ambientales, con carbón activado o permanganato en forma de filtros, telas o gránulos (Ce-Tex®, Zorflex®, Bi-On+/Ac® o similar).

Cuando se trate de una vitrina convencional, debe exigirse además:

1. Sensores, para seguimiento de HR y T, preferentemente con transmisión de los valores medidos mediante radiofrecuencia a la central del sistema.
2. Respecto de la hermeticidad debe asegurarse menos de 1 renovación de aire por día, salvo que sea inevitable una alta emanación de COVs dentro de la vitrina.
3. Sistema de regulación de la iluminación, caso de contar con ésta.

Otras opciones muy recomendables en este mismo caso serían:

1. Sistema de recirculación del aire contenido (si se trata de vitrinas con una altura superior a 1 m) o para filtrado de COV.
2. Instalación de válvulas que permitan introducir el aire exterior o extraer el contenido en la vitrina.
3. Caso de contar con fuentes de luz incorporadas en su estructura, contará con un compartimento técnico, para colocación las mismas que permitan su mantenimiento y favorezcan la disipación de calor hacia el exterior.

El caso de las vitrinas de anoxia:

1. Debe exigirse una hermeticidad que garantice unas pérdidas de anoxia inferiores a 50 ppm/día (preferiblemente en torno a 5 ppm/día).
2. Respecto de los sensores para seguimiento de condiciones ambientales en las vitrinas de anoxia, teniendo en cuenta que también emiten COVs, debe buscarse la manera de que su impacto sea mínimo.

Una vitrina bien diseñada evitará, en gran medida, las posibles alteraciones de los objetos expuestos, además de reducir al mínimo los gastos de mantenimiento y el personal necesario para realizarlo.

7.- OBSERVACIONES

Todos los materiales adsorbentes (gel de sílice, carbón activado,…) o absorbentes (de oxígeno,…) tienen una vida limitada y hay que renovarlos periódicamente, o regenerarlos, dependiendo de la velocidad de intercambio del aire, tamaño de la vitrina, características estructurales del bien cultural expuesto, riesgos de posibles emisiones de COVs (respecto al carbono activado), condiciones ambientales de la sala de exposición (adsorbente de humedad), desgaste por manipulación, etc.

El proceso de fabricación de una nueva vitrina debe contar con la supervisión de profesionales expertos, de forma que se puedan corregir o mejorar interpretaciones erróneas de los criterios y prescripciones técnicas.

Una vez instalados los bienes culturales, y durante toda su vida útil, la vitrina debe someterse a un proceso de verificación continua, para lo cual el Manual de Uso y Mantenimiento debe contener protocolos específicos. Para ello es aconsejable que se programen inspecciones periódicas del estado y funcionamiento de la vitrina, cuyos datos se reflejarán en un breve informe o ficha.

ANEXO

Documentos de consulta:

- **Normas elaboradas por el Comité Europeo de Normalización (CEN), Comité Técnico (CT) 346, Conservación del Patrimonio Cultural. AEN/CTN41- Construcción. AEN/CTN41/SC8- Conservación, restauración y rehabilitación de edificios.**
  - **Grupo de Trabajo 4- Protección de colecciones:**

- UNE-EN 15999-1: 2016. Conservación del patrimonio cultural.

Pautas para el diseño de vitrinas de exposición y conservación de bienes. Parte 1: Requisitos generales.

- pr EN 15999-2: 2014. Conservación del patrimonio cultural.

Pautas para la gestión de las condiciones ambientales. Recomendación para vitrinas usadas en la exposición y conservación del patrimonio cultural. Parte 2: Requisitos técnicos.

- UNE-EN 16095:2016. Conservación del patrimonio cultural.

Informe del estado del patrimonio cultural mueble.

- UNE-EN 16141: 2014. Conservación del patrimonio cultural.

Guía para la gestión de las condiciones ambientales. Centros de conservación: definiciones y características de los espacios dedicados a la conservación y gestión del patrimonio cultural.

- pr EN 16790: 2014. Control de plagas para protección de bienes culturales.
  - **Grupo de Trabajo 6 - Iluminación de la exhibición del patrimonio cultural:**

Grupo de trabajo conjunto entre el Comité Técnico 346 (Conservación del Patrimonio Cultural) y el 169 (Luz e Iluminación).

- UNE-EN 13032-4: 2016. Luz y alumbrado.

Medición y presentación de datos fotométricos de lámparas y luminarias. Parte 4: Lámparas LED, módulos y luminarias.

- pr EN 16163: 2014. Conservación del patrimonio cultural.

Iluminación de la exposición del patrimonio cultural.

- **Grupo de Trabajo 7. Especificaciones y medición del clima interior/exterior.**

- UNE-EN 15757:2011. Conservación del patrimonio cultural.

Especificaciones de temperatura y humedad relativa para limitar los daños mecánicos causados por el clima a los materiales orgánicos higroscópicos.

- UNE-EN 15758:2011. Conservación del patrimonio cultural.

Procedimientos e instrumentos para la medición de las temperaturas del aire y de las superficies de los objetos.

- UNE-EN 15759-1(2012). Conservación del patrimonio cultural.

Clima interior. Recomendaciones para calefacción de iglesias, capillas y otros lugares de culto.
pr EN-15759-2: Ventilación para protección de edificios históricos y colecciones.

- UNE-EN16242: 2014. Conservación del patrimonio cultural.

Procedimientos e instrumentos para la medición de la humedad del aire y el patrimonio cultural

- **Normas elaboradas por el Comité Europeo de Normalización (CEN), Comité Técnico (CT) 171, Calidad ambiental en interiores, UNE-EN ISO serie 16000.**

- UNE-EN ISO 16000-1:2006. Aire de interiores.

Parte 1: Aspectos generales de la estrategia de muestreo.
UNE-EN ISO 16000-2:2006.
Parte 2: Estrategia de muestreo de formaldehído.

- UNE-ISO 16000-4:2006. Aire de interiores.

Parte 4: Determinación de formaldehído. Método de muestreo difusivo.

- UNE-EN ISO 16000-5: 2009. Aire de interiores.

Parte 5: Estrategia de muestreo de los compuestos orgánicos volátiles.

- UNE-ISO 16000-6:2006. Erratum: 2007. Aire de interiores.

Parte 6: Determinación de compuestos orgánicos volátiles en aire de interiores y de cámaras de ensayo mediante muestreo activo con adsorbente Tenax TA, desorción térmica y cromatografía de gases, empleando MS/FID.

- UNE-EN ISO 16000-9: 2006/AC: 2008. Aire de interiores.

Parte 9: Determinación de la emisión de compuestos orgánicos volátiles de los productos de la construcción y del mobiliario. Método del ensayo de emisión en cámara.

- UNE-EN ISO 16000-10: 2006. Aire de interiores.

Parte 10: Determinación de la emisión de compuestos orgánicos volátiles de los productos de la construcción y del mobiliario. Método del ensayo de emisión en célula.

- UNE-EN ISO 16000-11: 2006. Aire de interiores.

Parte 11: Determinación de la emisión de compuestos orgánicos volátiles de los productos de la construcción y del mobiliario. Almacenamiento y toma de muestras y preparación de las probetas.

- UNE-EN ISO 16000-12: 2009. Aire de interiores.

Parte 12: Estrategia de muestreo para la determinación de las concentraciones de policlorobifenilos (PCBs), policlorodibenzo-p-dioxinas (PCDDs), policlorodibenzofuranos (PCDFs) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs).

- UNE-EN ISO 16000-15: 2010. Aire de interiores.

Parte 15: Estrategia de muestreo para el dióxido de nitrógeno (NO_2).

- UNE-EN ISO 16000-19: 2015. Aire de interiores.

Parte 19: Estrategia de muestreo para mohos.

- UNE-EN ISO 16000-26: 2014. Aire de interiores.

Parte 26: Estrategia de muestreo para el dióxido de carbono (CO_2).

- UNE-EN ISO 16000-32: 2015. Aire de interiores.

Parte 32: Investigación de la presencia de contaminantes en los edificios.

- UNE 171212: 2008. Calidad de aire interior.

Buenas prácticas en las operaciones de limpieza.

- UNE 171330-1: 2008 . Calidad ambiental en interiores.

Parte 1: Diagnóstico de calidad ambiental interior.

❖ **Otros**

• Certificado BAM, desarrollado por Federal Institute for Materials Research and Testing, basado en el método BEMMA (Bewertung von Emissionen aus Materialien für Museumsausstattungen).

• Herráez, J. A.; Enríquez de Salamanca, G.; Pastor, M. J. et Gil T. (2014), *Manual de seguimiento y análisis de condiciones ambientales, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte*, Madrid.
https://sede.educacion.gob.es/publiventa/descarga.action?f_codigo_agc=14655C

• Herráez, J. A.; Enríquez de Salamanca, M. J. et Gil T. (2011), "Vitrinas como medio de conservación del patrimonio". *La Ciencia y el Arte III. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*, 207-216.
https://sede.educacion.gob.es/publiventa/d/14170C/19/0

• Maekawa, S. (Ed.). (1998), *Oxygen Free Museum Cases*, Getty Conservation Institute, Los Angeles.

• Padfield, T. (2014), "Air exchange rate". http://www.conservationphysics.org/airex/airexchange.pdf

• Tetreault, J. (1999), "Oak Display Cases: Conservation Problems and Solutions", *Special CCI Note*, Canadian Conservation Institute, Ottawa. http://www.cci-icc.gc.ca/crc/cidb/document- ·eng.aspx?Document_ID=80
Appendix 1. Detection of Acidic Volatile Compounds, and Maximum Acceptable Levels
Appendix 3. Mitigation Strategies

Thickett, D. (2012), *Post excavation changes and preventive conservation of archeological iron,* School of Biological and Chemical Sciences, Birbeck College, University of London. http://www.english-heritage.org.uk/content/learn/conservation/2543455/2543024/thicketttthesisfinalversion.pdf