

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE CONSERVACIÓN DE MATERIALES DE EMBALAJE: UNA REALIDAD TEMPORAL

Assessment of the Conservation Quality of Packaging Materials: a Temporary Reality

Carolina Araya Monasterio¹, Mónica Icaza Toro²

RESUMEN

El proyecto “Embalaje de objetos de la colección de mobiliario del Museo Histórico Nacional de Chile” ha incluido la ejecución de varios análisis a un conjunto de materiales de uso frecuente en el embalaje de objetos patrimoniales. Estos incluyeron la realización de test de Oddy para la detección de emanación de compuestos orgánicos volátiles (VOC); la medición de pH por contacto; y la extracción acuosa y de gases.

Los resultados indican que algunos materiales que son habitualmente recomendados como de alta calidad para la conservación, como Isofoam^{MR} y Tyvek[®], en realidad presentan calidad temporal. Por otra parte, el adhesivo 3MTM Hot Melt Adhesive código 3764Q, ha sido clasificado como no utilizable. Gracias a los resultados obtenidos, el presente proyecto ha podido dilucidar las calidades de los materiales disponibles en el mercado nacional y ha elegido aquellos que brindan las mejores condiciones para optimizar el embalaje de objetos patrimoniales.

Palabras clave: compuestos volátiles orgánicos, VOC, test de Oddy, formaldehído, ácido acético, materiales de embalaje.

ABSTRACT

The project “Packing objects of the furniture collection of the National Historical Museum of Chile” has carried out several analyses on materials frequently used for packaging cultural goods. These included Oddy test for the detection of volatile organic compounds (VOC), pH measurement by contact, aqueous and gas extraction.

The results indicate that some materials commonly recommended as of high quality conservation materials, as Isofoam^{MR} and Tyvek[®], have actually a temporal quality. On the other hand, 3MTM Hot Melt Adhesive 3764Q, has been classified as not recommended. From these results, the project has revealed the quality of the materials currently available on the national market, and has selected the materials that yielded the best results to improve the packing of cultural objects.

Key words: volatile organic compounds, VOC, Oddy test, formaldehyde, acetic acid, packing materials

¹ Químico, especialista en patrimonio. Asesor científico proyecto “Embalaje de objetos de la colección de mobiliario del Museo Histórico Nacional”. arayamonasterio@gmail.com

² Conservadora-restauradora. Responsable proyecto “Embalaje de objetos de la colección de mobiliario del Museo Histórico Nacional”. micaza61@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El Museo Histórico Nacional de Chile (MHN) ha tenido un permanente interés en el desarrollo de proyectos científicos asociados a la investigación de sus colecciones. En 1999 se llevó a cabo el proyecto “Análisis de materiales modernos de uso frecuente en conservación textil”, realizando análisis Oddy a diversos materiales utilizados en embalaje, transporte y exhibición que eran comercializados en Chile (Espinosa y Araya 2000). A dieciséis años de dicho proyecto, es necesario realizar una actualización respecto de la calidad de los materiales que hoy son usados en embalajes.

Durante el 2015 se ejecutó el proyecto “Embalaje de objetos de la colección de mobiliario del Museo Histórico Nacional”, configurando un equipo interdisciplinario que incorporó la investigación científica como un área de apoyo a las acciones de conservación.

El proyecto tuvo como objetivo fundamental la ejecución del embalaje de 232 piezas de la colección de mobiliario, abarcando sillas, mesas, escritorios y muebles en general, así como también espejos, lámparas, relojes y faroles, entre otros objetos con una variada gama de materiales.

El componente principal es madera, sin embargo, la gran mayoría del mobiliario presenta accesorios ornamentales de metales dorados y plateados; incrustaciones de nácar, carey y marfil; superficies pintadas y doradas; tapicería de cuero, textil y fibras vegetales. A ello se suma la presencia de polímeros sintéticos en el mobiliario contemporáneo (Figura 1).

Por la complejidad de los diversos elementos mencionados, muchos de ellos con característica frágiles, es necesario que los materiales elegidos para



Figura 1. Escritorio. Anónimo, España siglo XVIII. Madera ensamblada, tallada, taraceado. 61 x 105 x 39 cm, MHN 3-1118 (Fotografía: Archivo Museo Histórico Nacional de Chile, 2012).
Desk. Anonymous Spain XVIII Century. Assembled wood, carved, inlaid. 61x105x39 cm MHN 3-1118 (Photograph: Chilean National History Museum Archive, 2012).

su embalaje posean estándares de calidad para la conservación (Gryzwacs 2006). Aquellos materiales en contacto con los objetos deben ser neutros, libres de compuestos orgánicos volátiles ácidos, en especial de los derivados de los ácidos acético y fórmico (Strlic et al. 2010). Además de un diseño de embalaje apto para cumplir con la protección adecuada para su traslado en contenedores mayores (Breitung et al. 2014).

Por lo anterior se consideró la ejecución de un conjunto de análisis que incluyen el test de Oddy, la detección de emanación de compuestos orgánicos volátiles (VOC), la medición de pH por contacto, y la extracción acuosa y de gases a varios materiales que con frecuencia son utilizados en el embalaje de objetos patrimoniales, con el fin de seleccionar aquellos de mejor calidad para la ejecución del proyecto.

ANTECEDENTES

Análisis de Oddy

Byne, en 1899, publicó el primer artículo que hace referencia a la degradación que sufren los objetos patrimoniales a causa de su interacción con los materiales de embalaje que los rodea. Esta publicación surgió debido a los serios daños encontrados en una colección malacológica que estaba en un mueble de madera, atribuyendo el proceso de corrosión encontrado a los vapores orgánicos de ácido acético emanados por el adhesivo del contenedor. Fue tal el impacto causado por este hallazgo que hasta hoy este tipo de degradación en colecciones malacológicas se conoce como la enfermedad de Byne.

El conservador científico Andrew Oddy desarrolló en el British Museum un método cualitativo de

envejecimiento acelerado para la detección de emanaciones de gases dañinos en materiales usados para transporte, embalaje y exhibición de colecciones. Desde su publicación en 1973 se conoce este análisis con el nombre de Test de Oddy.

Desde la creación de este análisis se han publicado un sinnúmero de artículos con modificaciones al test original. En 1999 Bamberger y colaboradores señalan el uso de los tres cupones mencionados por Oddy en un mismo frasco de ensayo, llamándolo análisis de Oddy tres en uno. En el 2003 Robinet y Thickett proponen el uso de tapones de teflón donde se ubican los tres cupones de metal, para así mejorar el sellado de los frascos. En el 2010 y 2014 se reporta el cambio de tubos con tapones de teflón, por frascos Duran® Schott de 100 ml, con tapa rosca de polipropileno (Strlic et al. 2010, Breitung et al. 2014). Por otro lado, Robinet y Thickett (2003) modifican la preparación de los cupones de metal, limpiándolos con un cepillo de fibra de vidrio.

En la última década el test de Oddy ha incorporado el análisis instrumental. En el 2007 Moussa incluye un tratamiento con nanopartículas a los cupones de plata, así como la detección por absorbancia UV-VIS de la corrosión alcanzada. También se han utilizado nanopartículas de plata sobre soportes de vidrio, en vez de los cupones de plata (Hodgkins et al. 2013). Por otra parte, el análisis de Oddy tres en uno con detección por espectroscopia Raman y difracción de rayos X de los residuos de corrosión, permiten asociar los efectos de los contaminantes a los deterioros que se observan en los metales (Ziegler et al. 2014).

La asignación de la calidad de cada material analizado sigue la nomenclatura P, T y U, designando así los materiales de uso permanente, temporal y no utilizable, respectivamente. Todas las publicaciones con evaluación visual de los cupones metálicos clasifican los resultados de modo cualitativo en relación con el nivel de corrosión que

estos desarrollen por efecto del envejecimiento acelerado, en comparación con cupones patrones. Se considera un material permanente aquel que no presenta ninguna alteración y permanece igual que el cupón patrón; un material se considera temporal si el cupón presenta corrosión leve, con cambio de tonalidad y brillo de modo parcial o total en el cupón; y un material no utilizable es aquel que desarrolla residuos de corrosión en la superficie de alguno de los cupones, sean manchas localizadas, corrosión generalizada o cristales superficiales que alteran su tonalidad y brillo (Green y Thickett 1995, Robinet y Thickett 2003).

Los cupones de plata detectan gases del tipo sulfurados, los de plomo y cobre gases volátiles orgánicos como formaldehído y acético entre otros; y este último tipo de cupón revela además gases sulfurados y clorados (Thickett y Lee 2004, Hernández 2013).

DetECCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (VOC)

Las fuentes de contaminación dentro de las instalaciones de un museo provienen de agentes externos, por lo general contaminantes ambientales que ingresan al edificio, pero también existen fuentes que se generan al interior del propio museo.

El término compuestos volátiles orgánicos (VOC) hace referencia a los gases hidrocarbonados existentes a temperatura ambiente. Son miles los VOC detectados dentro de los edificios, la gran mayoría de ellos derivan de materiales de construcción como pinturas y sellantes de muros, productos de limpieza, alfombras de fibras sintéticas, pisos poliméricos, maderas y aglomerados con o sin barnices; incluso pueden ser aportados por los visitantes mediante su aliento o perfume (Gryzwacs 2006).

Los VOC más riesgosos para las colecciones son aquellos que emanan de los materiales que forman parte de la museología o del mobiliario de depósito, así como de elementos inadecuados para el embalaje de los objetos. Sin descartar al mismo tiempo que cierto tipo de colecciones, en su proceso natural

de envejecimiento, desprenden vapores orgánicos e inorgánicos, neutros y ácidos, produciendo contaminación cruzada. Así, la contaminación generada al interior de los museos es más riesgosa que aquella proveniente del exterior, en especial por la cercanía a los objetos y la alta factibilidad de crear microclimas adversos (Brimblecombe 2000).

La acción de un contaminante gaseoso sobre un objeto patrimonial produce cambios y deterioros en ocasiones irreversibles, modificando el material a nivel molecular de modo visible o invisible. Por esta razón las concentraciones de VOC permisibles al interior de un museo tienen rangos muy bajos, con concentraciones del orden de partes por billón (ppb) o de partes por trillón (ppt) (Watts 1999).

Aunque Byne señala en 1899 el grave efecto que pequeñas cantidades de gases contaminantes tienen sobre las colecciones, no fue sino hasta la década de 1980 cuando las investigaciones demostraron que los VOC más dañinos para las colecciones son el ácido fórmico y ácido acético, que por lo general provienen de sus precursores: formaldehído, aldehídos, acetaldehídos o derivados acéticos (Gryzwacs 2006). La aplicación de análisis de detección para este tipo de gases en conservación fue reportada por Zhang y colaboradores en 1994, desarrollando la adaptación de estos ensayos que datan de la década de 1950 y usando la reacción con ácido cromotrópico. Este análisis es más sensible que la detección de VOC por corrosión, mediante el cupón de plomo utilizado por Oddy, por lo que es indicado como un análisis complementario a dicho test (Thickett y Lee 2004).

Durante la última década se ha incorporado al test de Oddy, la microextracción en fase sólida (SPME) a partir de los frascos de análisis, de tal manera que los VOC capturados pueden someterse luego a una cromatografía de gases acoplado a espectroscopia de masas (CG/MS), permitiendo así su separación y total caracterización. Esta metodología analítica pone en evidencia la emanación de gases que no son percibidas por el test de Oddy clásico y que son de igual modo perjudiciales para las colecciones a mediano o largo plazo (Tsukada et al. 2012).

MÉTODOS

La presente investigación abarcó en una primera etapa la búsqueda de antecedentes bibliográficos que permitieran obtener los fundamentos para diseñar y adaptar los análisis químicos a ejecutar, así como reunir información atinente en torno a las calidades de conservación de los materiales de embalaje, para contrastar los resultados obtenidos respecto de los reportados por Espinosa y Araya; Kim, M., Yu, H. y Lee, S.; Thickett, D. y Lee, L. y Hernández, C. en diversas publicaciones entre los años 2000 al 2013.

En una segunda etapa se determinaron los análisis a realizar, considerando las necesidades del proyecto de obtener información cualitativa para la selección y descarte de materiales de modo ágil, a partir de la evaluación de insumos adquiridos en el comercio nacional y no solo en tiendas destinadas a la venta de productos de conservación. Por otra parte, la definición de los análisis se limitó a aquellos que podían llevarse a cabo en los laboratorios del museo, ya que este estudio puede ser profundizado en una etapa futura por mediciones de tipo instrumental. De este modo los análisis seleccionados fueron el test de Oddy, complementado con la detección de formaldehído y ácido acético y mediciones de pH.

La tercera etapa contempló la elección de los materiales a analizar y la ejecución de los ensayos, para luego compilar los resultados y evaluar la calidad de los insumos testeados como permanente (P), temporal (T) o no utilizable (U), para así determinar aquellos materiales que serían empleados en la ejecución del proyecto.

Selección de materiales

Se escogieron diferentes materiales de uso frecuente en el embalaje de objetos patrimoniales, y que además fuesen aptos para los fines del proyecto (Tabla 1).

Las muestras 8 y 11 fueron utilizadas como referencia, pues son materiales reconocidos como no aptos para su uso en conservación, y debían

dar positivo a las detecciones de VOC, presentar niveles de pH inadecuados y arrojar una respuesta de calidad no utilizable (U) en el análisis Oddy.

Análisis de Oddy

Consiste en un proceso de envejecimiento acelerado a temperatura constante de 60 °C durante 28 días y en frasco sellado con el material que se desea testear. El ambiente se satura de humedad en presencia de cupones de metales de plata, plomo y cobre, verificando al término de este período el grado de corrosión que alcanzan los cupones.

Este ensayo se llevó a cabo modificando el sistema de análisis tres en uno planteado por Bamberger y colaboradores (1999), usando cupones de plata de 0,2 mm de espesor (Promano aleaciones especiales, Ag 950), de cobre de 0,1 mm de espesor (Merck LAB, cod. 1.02700.0250) y de plomo de 0,25 mm de espesor (Merck PA, cod. 1.07365.0500). La superficie fue pulida con lijas micromesh de granulometría 3.200 a 12.000 y lavados posteriormente con acetona, para eliminar por completo los residuos de corrosión. Se dispuso los tres cupones al interior de un frasco Duran® Schott de 100 ml con tapa rosca de polipropileno, siendo suspendidos mediante un tubo capilar de modo horizontal para asegurar que cada cupón quedase a la misma distancia del material a analizar. La saturación de humedad se logró con 1 ml de agua destilada, dispuesta en un tubo de vidrio tapado con una tórula de algodón. Tanto los cupones como el frasco con agua se sujetan con hilo de algodón mercerizado (Figura 2).

Detección de formaldehído con ácido cromotrópico

El análisis de detección de formaldehído se llevó a cabo según el procedimiento descrito por Zhang et al. (1994) y Thickett y Lee (2004), cambiando el tipo de frasco por el descrito anteriormente para la ejecución del test de Oddy, con el fin de mejorar el

Tabla 1. Materiales seleccionados para evaluar su calidad de conservación.

Materials Selected to evaluate their conservation quality.

Muestra	Material	Marca / Proveedor
1	Blanco o patrón*.	
8	Silicona Hot Melt*.	Sin marca.
11	Madera terciada*.	Sin marca.
2	Velcro, 16 mm.	Loop Hook.
3	Isofoam ^{MR} , placa 50 mm.	Isoplast.
4	Isofoam ^{MR} , perfil L40.	Isoplast.
5	Cinta algodón espiga.	MB.
6	Cinta mochila.	Melquisedec.
7	3M TM Hot Melt Adhesive 3764Q.	3M.
9	Napa.	Feltrex.
10	Tyvek [®] 1422.	Sergatex.
10A	Tyvek [®] 1443R.	Identifik.
12	3M TM cinta doble contacto, sin código	3M.

*Material de referencia



Figura 2. Frasco de análisis, test de Oddy (Fotografía: Araya, C. 2015).
Analysis bottle, Oddy test (Photograph: Araya, C. 2015).



Figura 3. Análisis de ácido cromotrópico para la caracterización de formaldehído (Fotografía: Araya, C. 2015).
Chromotropic acid test for formaldehyde characterization (Photograph: Araya, C. 2015).

sellado del medio de reacción. Se ha modificado también la posición del portarreactivos para evitar volcamientos. Se mantuvo una proporción 1:25 entre el peso de la muestra y el volumen del frasco, al igual que en el análisis de Oddy. El tiempo del ensayo fue de dos horas, para lograr una adecuada concentración de gases en el medio y así obtener una efectiva reacción con 0,2 ml de ácido cromotrópico al 1% p/v en ácido sulfúrico, al 98% p/p (Figura 3).

Para finalizar, el ácido cromotrópico que reaccionó se diluyó a una concentración final de 2% v/v, siguiendo el método propuesto por Thickett y Lee (2004). Las diluciones se compararon de modo visual con aquellas obtenidas en la muestra de referencia (Figura 4).

Detección de ácido acético con reactivo yoduro/yodato de potasio

Para realizar este ensayo se siguió el mismo tipo de procedimiento descrito en el análisis anterior, y según lo reportado por Zhang et al. (1994) y Thickett y Lee (2004). Para el reconocimiento de ácido acético, al portarreactivos se agregaron 0,04 ml de yoduro de potasio al 2% p/v; 0,04 ml de yodato de potasio al 4% p/v; y 0,03 g de almidón. Una vez transcurridas dos horas del proceso, el contenido del portarreactivos fue diluido hasta obtener una concentración final de 0,3% p/v de almidón. Las diluciones se contrastaron de modo visual con aquellas alcanzadas en la muestra de referencia (Figura 5).

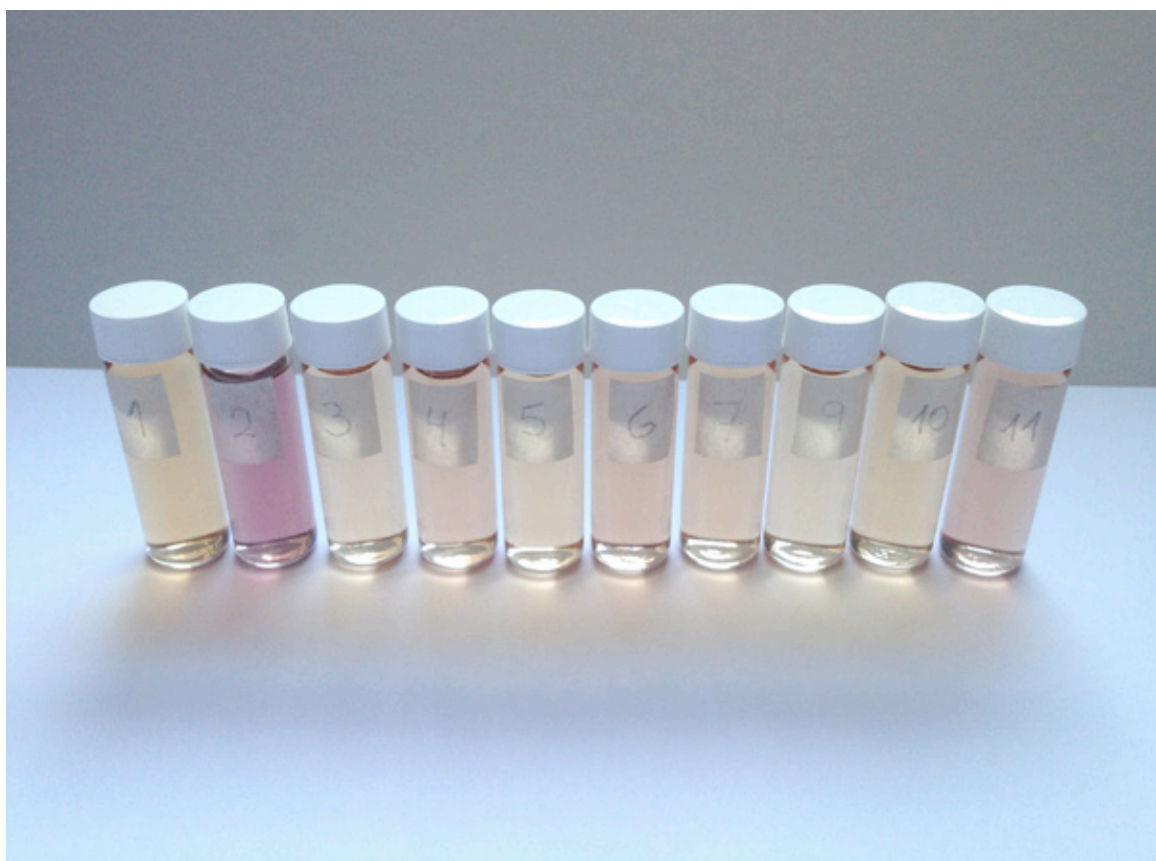


Figura 4. Comparación visual de análisis con ácido cromotrópico para la detección de formaldehído (Fotografía: Araya, C. 2015).
Visual comparison of chromotropic acid test for formaldehyde characterization (Photograph: Araya, C. 2015).

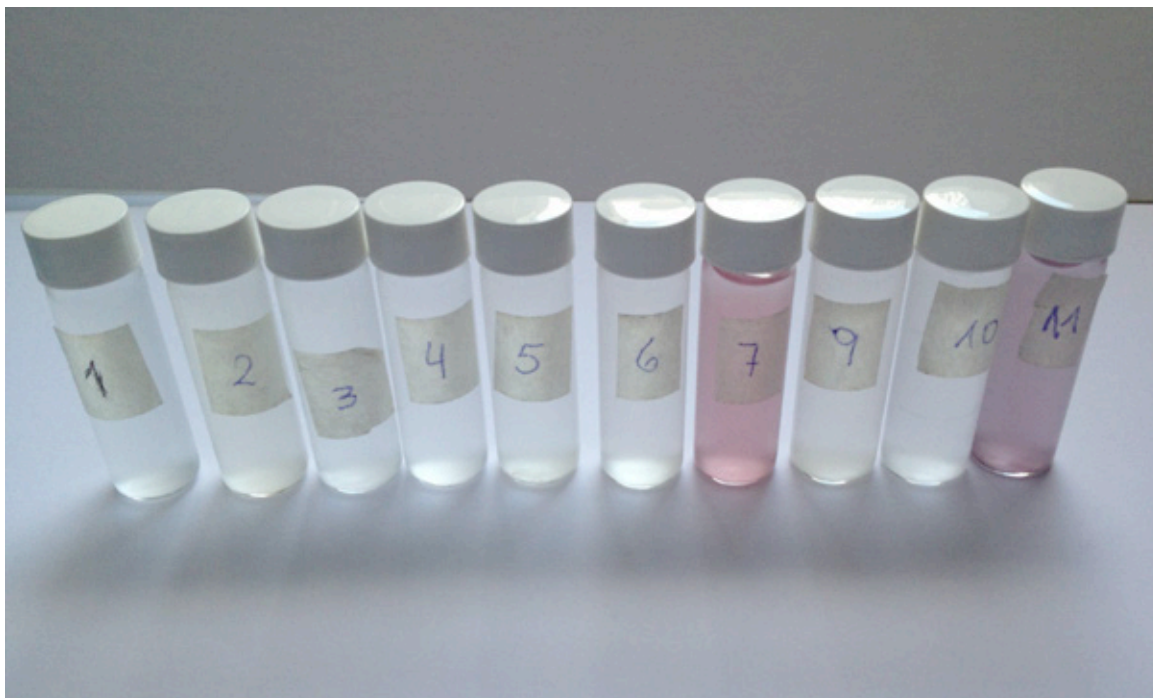


Figura 5. Comparación visual de análisis yoduro/yodato de potasio y almidón para la detección de ácido acético (Fotografía: Araya, C. 2015).

Visual comparison of iodide/iodate potassium and starch test for acetic acid detection (Photograph: Araya, C. 2015).

Medición de pH

La medición de acidez de los VOC se realizó siguiendo la metodología descrita por Tetrault (1992), con papel filtro de diferente granulometría. Además se agregó papel pH universal de rango 0-14 (Machery-Nagel, REF 921 10) para complementar los resultados. Todos los papeles fueron embebidos en glicerina al 80% v/v para lograr la saturación de 54% de humedad relativa. Los frascos de análisis se mantuvieron durante 24 horas a 23 °C constantes en estufa desecadora. Una vez transcurrido este tiempo, se procedió a la evaluación de los resultados por comparación visual en el caso del papel indicador, y con medidor de pH para los papeles filtros. La medición de pH por extracción se efectuó siguiendo la metodología descrita por Thickett y Lee (2004), mientras que el sondeo por contacto se realizó con gel de agar rígido y medidor de pH.

RESULTADOS

Análisis de Oddy

Una vez concluidos los 28 días se analizó el nivel de corrosión alcanzado por los cupones de las muestras, en comparación con aquellos alojados en el frasco patrón (Figura 6). En función de ello se asignó la calidad de conservación en permanentes, temporales o no utilizables según la codificación P, T y U, respectivamente (Tabla 2).

En la muestra 2, correspondiente a Velcro, se aprecia una gran corrosión en el cupón de cobre, donde toda la superficie se ha vuelto rojiza y en algunas zonas se percibe oscurecimiento. El cupón de plata presenta zonas con manchas amarillas, mientras que el de plomo tiene algunas manchas locales blanquecinas (ver Figura 6). Es una de las muestras que más cambios ha presentado, por lo que su asignación de calidad es de no utilizable.

Muestra	P T U	Plata (Ag)	P T U	Plomo (Pb)	P T U	Cobre (Cu)
Patrón						
Velcro Completo						
Ethafoam Placa 5 cm						
Ethafoam Perfil L40						
Cinta Espiga Algodón						
Cinta Mochila						
Adhesivo 3M Hot Melt Adhesive						
Adhesivo Silicona						
Napa						
Tyvek						

Figura 6. Resultados del análisis de Oddy a partir de una muestra patrón (Fotografía: Araya, C. 2015).
Oddy test results from a standard sample (Photograph: Araya, C. 2015).

Tabla 2. Asignación de calidad de conservación a partir de test de Oddy, detección de formaldehído y ácido acético.*Conservation Quality according to the results of Oddy test, formaldehyde and acetic acid detection.*

Muestra	Material	Calidad (P, T, U)		
		Test de Oddy	Análisis formaldehído	Análisis ácido acético
1	Patrón*.			
8	Silicona Hot Melt*.	U	No analizado	No analizado
11	Madera terciada*.	U	U	U
2	Velcro, 16 mm.	U	U	T
3	Isofoam ^{MR} , placa 50 mm.	T	P	P
4	Isofoam ^{MR} , perfil L40.	T	T	P
5	Cinta algodón espiga.	T	P	P
6	Cinta mochila.	T	T	T
7	3M TM Hot Melt Adhesive 3764Q.	U	P	U
9	Napa.	T	P	T
10	Tyvek [®] 1422.	T	P	P
10A	Tyvek [®] 1443R.	T	P	P
12	3M TM cinta doble contacto, sin código.	T	P	P

*Material de referencia

La muestra 7, de adhesivo 3MTM Hot Melt Adhesive código 3764Q, evidencia considerables cambios tanto en los cupones de plomo como en los de cobre. En el caso del plomo se observan cambios cromáticos con la presencia de tonalidades blanquecinas, comenzando a desarrollar manchas de corrosión puntual hacia el borde inferior. El cupón de cobre se ha vuelto más anaranjado, con la presencia de múltiples manchas pardas oscuras distribuidas por toda la superficie del metal (ver Figura 6). Este material también ha sido clasificado como no utilizable.

La muestra 8, de silicona Hot Melt, ha presentado ostensibles cambios en los tres cupones metálicos. Todos ellos evidencian un avanzado proceso de corrosión, en especial el cupón de plomo, con

evolución de residuos cristalinos sobre la superficie del metal (ver Figura 6). Estos resultados eran esperables, pues este material se seleccionó como elemento de referencia, ya que se sabe que no es utilizable en la conservación.

Los otros elementos testeados presentaron alteraciones en la tonalidad de los cupones de cobre, además de cierta evolución de manchas amarillas en el cupón de plata y la aparición de algunas manchas blanquecinas en los de plomo. Estas evidencias indican que existe emanación de VOC al medio, por lo que se clasifican como materiales de uso temporal (ver Figura 6).

Detección de formaldehído con ácido cromotrópico

Las diluciones de los reactivos de detección han sido comparadas de modo visual con la muestra de referencia (ver Figura 4).

Para la asignación de la calidad de conservación se ha seguido un protocolo semejante al usado en el análisis Oddy. De esta manera cuando la disolución de los reactivos no presenta cambio aparente, el material se clasifica como permanente. Si se obtiene una respuesta positiva a la presencia de gases formaldehído, pero con una tenue tonalidad rosa, el material se tipifica con calidad temporal; mientras que si la tonalidad alcanzada es un rosa intenso, este se clasifica como no utilizable (ver Tabla 2).

El resultado de la muestra 2 (velcro) deja en evidencia una tonalidad rosa muy intensa, incluso mayor que la observada en el material de referencia (muestra 11), lo que indica de manera fehaciente que el velcro emana gases del tipo formaldehído (Figura 7).

Las muestras 4 y 6 (Isofoam^{MR} perfil L40 y cinta de mochila, respectivamente) presentan una leve tonalidad rosa, lo que indica que emanan VOC pero en concentraciones medias, por lo que estos materiales han sido clasificados como temporales (ver Figura 4).

Detección de ácido acético con reactivo yoduro/yodato de potasio

Las diluciones de los reactivos de detección fueron comparadas de modo visual respecto del material de referencia (ver Figura 5).

La muestra 7, correspondiente a 3MTM Hot Melt Adhesive 3764Q, indica que este producto emana gases de ácido acético. El viraje de los reactivos ha sido más intenso que los obtenidos con el material de referencia (Figura 8).

En las muestras 2 y 6 se detecta una leve tonalidad rosada, que indica presencia de ácido acético en baja cantidad (ver Figura 5)³.

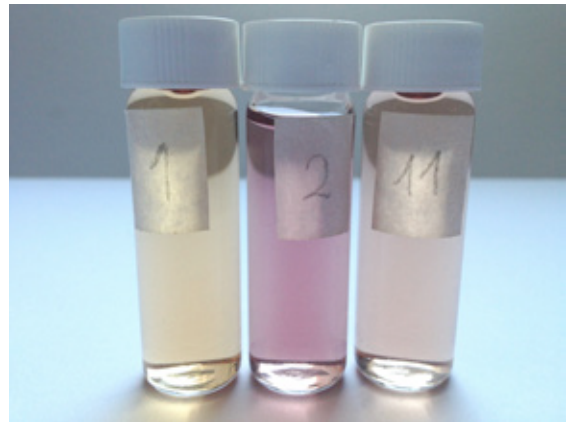


Figura 7. Comparación visual para la detección de formaldehído en la muestra 2. Registra mayores concentraciones que el material de referencia, muestra 11 (Fotografía: Araya, C. 2015). *Visual comparison for detection of formaldehyde in sample 2. It registers higher concentrations than the reference material, sample 11 (Photograph: Araya, C. 2015).*

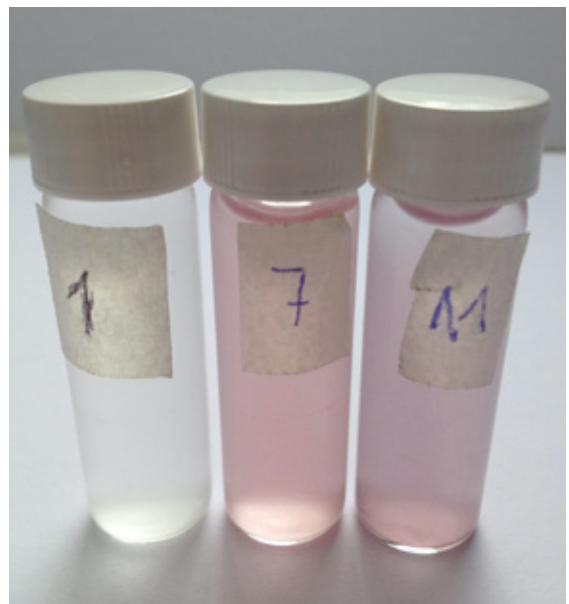


Figura 8. Comparación visual de detección de ácido acético para la muestra 7, indicando mayores concentraciones que el material de referencia, muestra 11 (Fotografía: Araya, C. 2015). *Visual comparison of acetic acid detection for sample 7, indicating higher concentrations than the reference material, sample 11 (Photograph: Araya, C. 2015).*

³ En la Figura 5 no se aprecia el leve cambio de tonalidad de las muestras 2 y 6, aunque en el desarrollo del ensayo sí fue detectado con claridad.

Los otros materiales analizados dieron negativo, lo que indica que no emanan gases del tipo ácido acético o sus derivados.

Medición de pH

Al revisar los valores de pH se ha constatado que ninguno de los materiales es neutro. Los pH medidos por extracción en agua son cercanos a 6,5. En tanto que los valores obtenidos por contacto dependen del área de medición, presentándose variaciones en el anverso y reverso, así como en el interior y exterior. No obstante, se puede señalar que la mayoría de los materiales estudiados emanan gases, con un pH cuyo valor está por debajo de 6,0 (Tabla 3).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La clasificación de la calidad de conservación en el análisis Oddy se asigna de acuerdo con el cupón que presenta mayor alteración, aun cuando alguno de ellos se observe sin cambios. Este criterio es el que ha sido utilizado y reportado desde el origen del análisis hasta hoy (Green y Thickett 1995, Robinet y Thickett 2003, Thickett y Lee 2004, Hernández 2013).

Todas las publicaciones coinciden en que los materiales que resultan temporales (T) son utilizables por un máximo de seis meses y su uso por períodos mayores no está garantizado, ya que pueden sufrir alteraciones (Espinosa y Araya 2000, Kim et al. 2003). Esto es una llamada de atención al trabajo constante de la conservación preventiva de las colecciones, que insta a realizar permanentes inspecciones a los objetos embalados en el depósito, así como una observación frecuente a las áreas de exhibición.

Los resultados han puesto en evidencia que los materiales que son empleados de modo habitual en el embalaje presentan un pH cercano a 6,5; sea este medido por extracción o contacto. Los gases que emanan durante el proceso de envejecimiento de tales insumos está en la mayoría de los casos por debajo de 6,0. Esto indica que aunquese consideren

materiales cercanos al neutro, con el transcurso del tiempo liberan gases que tienen un carácter levemente ácido y cuya acción puede afectar, a mediano o largo plazo, los objetos con componentes delicados. Bajo este criterio, todos los materiales analizados se consideran de uso temporal respecto de su valor de pH.

Se debe tomar en cuenta que los VOC con características ácidas, en especial aquellos derivados del formaldehído y del ácido acético, pueden producir graves daños a los materiales sensibles.

En el caso particular de la colección de mobiliario del MHN –con incrustaciones de nácar y conchepérla, accesorios de pergamino y papel, superficies pintadas y adornos metálicos, además de carey, polímeros artificiales y textiles– está muy propensa a sufrir deterioros si los objetos son expuestos de modo continuo a pequeñas concentraciones de VOC. Por otra parte, aquellos muebles con espejos de plata pueden presentar oxidación, oscurecimiento, manchas y alteraciones irreversibles frente a este tipo de gases.

Por tanto, no solo hay que tener precaución con los materiales de embalaje sino que también con las pinturas a base de óleo que se emplean en el edificio, así como con las pinturas alquídicas, vinílicas y poliuretánicas, ya que todas ellas son fuentes de VOC, y por consiguiente no son recomendables en recintos que albergan colecciones patrimoniales.

El ethafoam® de la marca Sealed Air es indicado como material apto para la conservación, incluso en su modalidad de espuma de polímero reciclado (Hernández 2013). Sin embargo esta investigación ha comprobado que los Isofoam^{MR} tienen solo calidad temporal. Esta situación puede ser atribuida al método de fabricación que usa para la formación de las celdillas de la espuma, aplicando gas isobutano y butano con mercaptano. Este último es un gas sulfurado que permanece de modo residual y se libera en bajas concentraciones. Es posible por tanto que sea el responsable de la corrosión de los cupones en el análisis de Oddy. La realización de este análisis con microextracción en fase sólida y CG/MS, lo podría dilucidar.

Tabla 3. Resultados de pH medidos a los gases volátiles por extracción y contacto.

Results of pH measurements on volatile compounds, by extraction and contact.

Muestra	Material	pH (1)	pH (2)	pH (3)	pH (4)	pH (5)
1	Patrón.	5,0	6,50	6,20	-	-
8	Silicona Hot Melt.	No analizado				
11	Madera terciada.	No analizado				
2	Velcro, 16 mm.	5,0	6,23	6,26	6,42	6,22 anverso 5,93 reverso
3	Isofoam ^{MR} , placa 50 mm.	5,0	5,66	5,73	6,49	6,27 superficie 5,74 costado
4	Isofoam ^{MR} , perfil L40.	5,0	5,73	5,73	6,50	6,83 interior 6,56 exterior
5	Cinta algodón espiga.	5,0	6,22	5,70	6,92	5,24
6	Cinta mochila.	5,0	6,22	5,20	6,92	6,03
7	3M TM Hot Melt Adhesive 3764Q.	5,0	5,99	5,13	6,49	6,57
9	Napa.	5,0	5,40	5,72	6,24	6,28
10	Tyvek [®] 1422.	5,0	5,93	6,16	6,47	6,26
10A	Tyvek [®] 1443R.	5,0	6,10	5,60	6,26	6,26
12	3M TM cinta doble contacto, sin código	6,0	5,84	6,34	8,31	6,53

(1) Gases volátiles medidos con papel pH universal rango 0-14; (2) Gases volátiles medidos con papel filtro rápido, Heyn; (3) Gases volátiles medidos con papel filtro lento, Heyn; (4) Medición de pH por extracción en agua; (5) Medición de pH por contacto.

En cuanto a los 3MTM Hot Melt Adhesive se han recomendado para uso en conservación los formulados a base de polietileno/polipropileno (Boccia 2010). En cambio el 3MTM Hot Melt Adhesive 3764Q a base de polímero etilen-vinilacetato, de cuya composición se deduce que al degradarse emite gases de ácido acético. Estos fueron detectados por el análisis con reactivo yoduro/yodato de potasio.

Curran et al. (2014) han reportado que el Tyvek[®] DuPont tiene impacto en la degradación de la celulosa, provocando su depolimerización que emite ácido acético a temperatura ambiente, así como aldehídos bajo envejecimiento acelerado.

Según los resultados obtenidos en el test de Oddy de los dos Tyvek[®] estudiados tienen calidad temporal. Sin embargo los análisis con yoduro/yodato de potasio y ácido cromotrópico no han presentado suficiente sensibilidad para detectar los VOC, comparados con los resultados publicados por Curran y colaboradores (2014), quienes han podido caracterizar la presencia de gases por extracción en fase sólida con análisis instrumental de CG/MS y espectroscopia infrarroja.

Por otra parte, los estudios de Tetrault (1992) y de Thickett y Lee (2004) han señalado que un rango de pH entre 5,0 y 8,5 produce un bajo deterioro (BD) en las colecciones; un rango entre 3,5 y 5,0

tiene un efecto moderado (MD); y valores de pH bajo 3,5 producen un alto deterioro (AD). De este modo los resultados obtenidos en esta investigación clasifican a los materiales analizados como aquellos que producen un bajo deterioro (BD), por lo que este tipo de insumos debería ser utilizado en una gran sala o en un lugar ventilado para mitigar sus efectos. Así, sus productos volátiles se dispersarán en el aire ambiental y los riesgos para las colecciones se minimizan. En un espacio cerrado los objetos más sensibles se verán afectados a mediano o largo plazo.

Como medidas de mitigación es recomendable realizar inspecciones frecuentes a aquellos objetos que contengan materiales de alto riesgo de deterioro por VOC. También se sugiere el uso de adsorbentes a base de carbón activado y óxido de zinc, hoy en día desarrollados para su uso en conservación.

El monitoreo pasivo de emanación de gases VOC se puede llevar a cabo usando *The Corrosion Classification Coupon+* (CCC+) de la marca Puralif, o bien un monitoreo activo usando OnGuard 4000 de la misma marca.

La Comunidad Europea está realizando dos proyectos en materias ambientales: el proyecto Memori (Spiegel 2016), que se ha dedicado al desarrollo de monitores activos y al estudio de la optimización del control *indoor* del aire en los museos y el proyecto Propaint (Dahlin 2016), que está abordando mejoras en el monitoreo del ambiente de pinturas encapsuladas. En ambos casos existen grandes avances en cuanto a la tecnología disponible para la detección temprana de VOC en ambientes museales.

CONCLUSIONES

Es relevante poner en alerta a la comunidad de conservación acerca de ciertos materiales que se están utilizando en la actualidad con calidad permanente,

pero que según los resultados obtenidos en esta investigación poseen una calidad temporal. Se deben considerar las posibles consecuencias que ello pueda tener en la conservación de objetos patrimoniales, en especial en aquellos cuyos materiales son sensibles a los VOC.

Toda acción respecto de las colecciones tiene como objetivo su preservación, siendo planificada, diseñada y ejecutada de manera que las condiciones del entorno le sean inocuas. Uno de los factores preponderantes a controlar es la calidad de los materiales que están en directo contacto con los objetos y su entorno.

Los resultados obtenidos en el presente estudio instan al trabajo constante de la conservación preventiva, a realizar permanentes inspecciones a las colecciones en depósito, así como a una observación frecuente de los objetos en exhibición.

Los análisis seleccionados permitieron una aproximación a la calidad de los materiales a usar en las piezas patrimoniales del MHN de modo eficiente, gracias a que su ejecución requiere de una infraestructura sencilla, disponible en los laboratorios del museo.

Si bien los análisis realizados son cualitativos, estos aportan una información inicial para la toma de decisiones, identificando con claridad aquellos materiales que no cumplen con la calidad de conservación aceptada para ser empleados en contacto con objetos patrimoniales sensibles. Por otra parte, estos ensayos son fáciles de replicar y el estudio se puede profundizar en una etapa futura mediante análisis instrumentales.

El presente estudio ha podido dilucidar las calidades de los materiales disponibles en el mercado nacional que se emplean habitualmente en el embalaje de colecciones, contribuyendo no solo a brindar las mejores condiciones a la colección de mobiliario del Museo Histórico Nacional, sino que también entregando nuevos antecedentes para la toma de decisiones en estas materias.

REFERENCIAS CITADAS

- BAMBERGER, J., HOWE, E. y WHEELER, G. 1999. A Variant Oddy Test Procedure for Evaluating Materials Used in Storage and Display Cases. *Studies in Conservation*, 44: 86 - 90.
- BOCCIA, A. 2010. *The Formation of Acetate Corrosion on Bronze Antiquities Characterization and Conservation*. Londres, U.K.: University College London.
- BREITUNG, E., WIGGINS, M., ULLMAN, A. y NGUYEN, L. 2014. Evaluating Storage Materials for Cultural Heritage: Alternatives to the Oddy Test. En *Preservation Research and Testing Division*, pp. 1-24. Washington D.C., Estados Unidos: Library of Congress. Video disponible en: <https://www.loc.gov/preservation/outreach/tops/breitung/index.html>
- BRIMBLECOMBE, P. 2000. An Approach to Air Pollution Standards in Museums. En *Third Indoor Air Quality Meeting Held at Oxford Brookes University*, pp. 8-11. Amsterdam, Holanda: Netherlands Institute for Cultural Heritage.
- BYNE, L. 1899. The Corrosion of Shells in Cabinets. *Journal of Conchology*, 9: 172-178, 253-254.
- CURRAN, K., MOZIR, A., UNDERHILL, M., GIBSON, L., FEARN, T. y STRLIC, M. 2014. Cross-Infection Effect of Polymers of Historic and Heritage Significance on the Degradation of a Cellulose Reference Test Material. *Polymer Degradation and Stability*, 107: 294-306.
- DAHLIN, E. 2016. *Propaint*. Recuperado de: <http://propaint.nilu.no/language/es-ES/Main.aspx> [29 noviembre 2016].
- ESPINOSA, F. y ARAYA, C. 2000. Análisis de materiales para ser usados en conservación de textiles. *Conserva*, 4: 45-55. Disponible en: http://www.dibam.cl/dinamicas/DocAdjunto_50.pdf
- GREEN, L. y THICKETT, D. 1995. Testing Materials Oddy Test Procedure for Evaluating Materials Used in Storage and Display Cases. *Studies in Conservation*, 40: 145-152.
- GRYZWACS, C.M. 2006. *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments. Tools for Conservation*. Los Angeles, Estados Unidos: The Getty Conservation Institute. Disponible en: http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/monitoring.pdf
- HERNÁNDEZ, C. 2013. *The Green Challenge: Incorporating Sustainable Practices and Materials into Collections Care*. New York, Estados Unidos: Museum Practice Fashion Institute of Technology. Versión condensada disponible en: http://www.academia.edu/5376921/The_Green_Challenge_Incorporating_Sustainable_Practices_and_Materials_into_Collections_Care_Condensed_Version_by_Christian_Hernandez
- HODGKINS, R., CENTENO, S., BAMBERGER, J., TSUKADA, M. y SCHROTT, A. 2013. Silver Nanofilm Sensors for Assessing Daguerreotype Housing Materials in an Oddy Test Setup. *E-Preservation Science*, 10: 71-76. Disponible en: <http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2013/Hodgkins-06-02-2013.pdf>
- KIM, M., YU, H. y LEE, S. 2003. A Small Chamber Test and Oddy Test on Medium Density Fiberboard Grade (E0, E1). *Indoor Air Quality in Museums and Historic Properties*, pp. 1-23. University of East Anglia, Norwich, Inglaterra. Disponible en: http://iaq.dk/iap/iaq2003/iaq2003_08.pdf
- MOUSSA, L. 2007. *Nanoscience and Nanotechnology Applied to Art Conservation: Improved Oddy Test Using Silver Nanoparticle Sensor*. Pittsburgh, Estados Unidos: The Carnegie Mellon University.
- ODDY, W.A. 1973. An Unsuspected Danger in Display. *Museums Journal*, 73: 27-28.
- ROBINET, L. y THICKETT, D. 2003. A New Methodology for Accelerated Corrosion Testing. *Studies in Conservation*, 48: 263-268.

SPIEGEL, E. 2016. *Memori Project. Measurement, Effect Assessment and Mitigation of Pollutant Impact on Movable Cultural Assets. Innovative Research for Market Transfer*. Recuperado de: <http://www.memori.fraunhofer.de/memori.html> [29 noviembre 2016].

STRLIC, M., KRALJ, I., MOZIR, A., THICKETT, D., DE BRUIN, G., KOLAR, J. y CASSAR, M. 2010. Test for Compatibility with Organic Heritage Materials - A Proposed Procedure. *E-Preservation Science*, 7: 78 - 86.

TETRAULT, J. 1992. Measuring the Acidity of Volatile Products. *Journal of the International Institute for Conservation*, 17: 17 - 25.

THICKETT, D. y LEE, L. 2004. Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects. *The British Museum Occasional Paper*, 111: 1-30. Disponible en: https://www.britishmuseum.org/pdf/OP_111%20selection_of_materials_for_the_storage_or_display_of_museum_objects.pdf

TSUKADA, M., RIZZO, A. y GRANZOTTO, C. 2012. A New Strategy for Assessing Off - Gassing from Museum Materials: Air Sampling in Oddy Test Vessels. *AIC News*, 37: 3-7.

WATTS, S. 1999. Hydrogen Sulphide Levels in Museums: Whats do they mean? *Abstracts of Conference Report Indoor Air Pollution (IAP) Working Group Meeting, "Museum Pollution: Detection and Mitigation of Carbonyls"*, pp. 14-16. The Netherlands Institute for Cultural Heritage, Amsterdam, Holanda.

ZHANG, J., THICKETT, D. y GREEN, L. 1994. Two Test for the Detection of Volatile Organic Acids and Formaldehyde. *Journal of the American Institute for Conservation*, 33: 47-53. Disponible en: <http://cool.conservation-us.org/jaic/articles/jaic33-01-004.html>

ZIEGLER, J., KHUN-WAWRZINEK, C., ESKA, M. y EGGERT, G. 2014. Popping Stoppers, Crumbling Coupons - Oddy Testing of Common Cellulose Nitrate Ceramic Adhesives. *ICOM-CC 17th Triennial Conference Preprints "Building strong culture through conservation"*, pp. 1-8. International Council of Museums – Committee for Conservation, Melbourne, Australia.