

Estudio del comportamiento de pinturas acrílicas sobre tablero contrachapado tras envejecimiento artificial

M.C. Talamantes-Piquer, L. Osete Cortina, R. Llamas-Pacheco* y J.V. Oliver-Villanueva

*Universitat Politècnica De València

Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio

Study of the behavior of acrylic paints on plywood after artificial aging

Estudi del comportament de pintures acríliques sobre tauler contraxapat darrere l'envelliment artificial

RECEIVED: 6 MAY 2016. REVISED: 9 JANUARY 2017. ACCEPTED: 12 JANUARY 2017

SUMMARY

Among the most used stands in contemporary art are wood-derived boards. To date, research to determine the influence of a plywood backing on acrylic pictorial layers as well as optimal conditions for its preservation is insufficient or completely absent. In the production of these boards adhesives are used to give them consistency, but the influence of these adhesives on artistic pictorial layers will depend on the type of panel, the type of adhesive used, the environmental conditions and the characteristics of the pictorial layers. Obviously, the need for comparative models.

For all these reasons, the main objective of this research has been to understand the transformation experienced by these materials during their aging and the causes that can destabilize the works, in order to take the necessary measures to avoid premature aging. By means of FTIR Infrared Spectroscopy, we have analyzed the changes of experimental models made with acrylic paints primed on plywood after being subjected to cold-check test aging and aging in high humidity conditions.

Keywords: Acrylic paint; plywood; contemporary art; artificial aging.

RESUMEN

Entre los soportes más empleados en arte contemporáneo se encuentran los tableros derivados de la madera. Hasta el momento, las investigaciones para determinar la influencia de un soporte de tablero contrachapado en capas pictóricas acrílicas así como las

condiciones óptimas para su conservación, resultan insuficientes o completamente ausentes. En la elaboración de estos tableros se utilizan adhesivos para darles consistencia pero la influencia de estos adhesivos en las capas pictóricas artísticas estará en función del tipo de tablero, del tipo de adhesivo empleado, de las condiciones ambientales y de las características de las capas pictóricas. Es evidente pues, la necesidad de modelos comparativos.

Por todos estos motivos, el objetivo principal de esta investigación ha sido comprender la transformación que experimentan estos materiales durante su envejecimiento y las causas que pueden desestabilizar las obras, con el fin de adoptar las medidas necesarias para evitar un envejecimiento prematuro. Mediante la Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier FTIR se han analizado los cambios sufridos por modelos experimentales realizados con pinturas acrílicas imprimidas sobre tablero contrachapado tras ser sometidos a ciclos de envejecimiento por choque térmico (Cold-check test) y envejecimiento en condiciones de alta humedad.

Palabras clave: Pintura acrílica; tablero contrachapado; arte contemporáneo; envejecimiento artificial.

RESUM

Entre els suports més emprats en art contemporani es troben els taulers derivats de la fusta. Fins al moment, les investigacions per determinar la influència

*Corresponding author: rllamas@rcbc.upv.es

d'un suport de tauler contraxapat en capes pictòriques acríliques així com les condicions òptimes per a la seva conservació, resulten insuficients o completament absents. En l'elaboració d'aquests taulers s'utilitzen adhesius per donar consistència però la influència d'aquests adhesius a les capes pictòriques artístiques estarà en funció del tipus de tauler, del tipus d'adhesiu emprat, de les condicions ambientals i de les característiques de les capes pictòriques. És evident doncs, la necessitat de models comparatius.

Per tots aquests motius, l'objectiu principal d'aquesta investigació ha estat comprendre la transformació que experimenten aquests materials durant el seu envelliment i les causes que poden desestabilitzar les obres, per tal d'adoptar les mesures necessàries per evitar un envelliment prematur. Mitjançant la Espectroscòpia Infraroja per Transformada de Fourier FTIR s'han analitzat els canvis soferts per models experimentals realitzats amb pintures acríliques impreses sobre tauler contraxapat després de ser sotmesos a cicles d'envelliment per xoc tèrmic (Cold-check test) i envelliment en condicions d'alta humitat.

Paraules clau: Pintura acrílica; tauler contraxapat; art contemporani; envelliment artificial.

INTRODUCCIÓN

La relación idea-materia ha llevado siempre a los artistas contemporáneos a una constante búsqueda de nuevos materiales y técnicas que respondan a sus necesidades de expresión artística. En este sentido, el siglo XX fue testigo de la creación de innumerables materiales industriales y tecnológicos que los artistas contemporáneos incorporaron rápidamente a sus creaciones. El auge de los procesos químicos industriales del siglo XX (sobre todo la industria de los polímeros sintéticos) ha producido materiales tridimensionales, pero también desarrolló adhesivos, barnices, estucos y pinturas artísticas, proporcionando a los artistas la posibilidad de obtener distintos acabados para sus obras. Estas pinturas para artistas compuestas por resinas sintéticas (acrílicas, vinílicas, alquídicas, cetónicas o, en menor medida, ciclohexanonas y poliuretanos) fueron desplazando a las técnicas más tradicionales como el óleo, los aparejos y las imprimaciones naturales¹⁰.

Pero el arte contemporáneo no sólo se caracteriza por la experimentación en las capas pictóricas, se podría decir que la cuestión del soporte se ha convertido en un tema primordial de la actividad artística. El mundo de los soportes encontró en los novedosos materiales industriales del siglo XX, un gran filón. Y, entre los soportes más empleados en arte contemporáneo, se encuentran los tableros derivados de la madera como el tablero contrachapado, el tablero de partículas y el tablero de fibras⁶.

Si bien la madera ha sido empleada como sustentante de obras artísticas desde la antigüedad, la industria que la transforma es mucho más reciente (hacia la mitad del siglo XX).

Los tableros derivados de la madera se definen como un producto industrial donde predominan la longitud y anchura sobre el espesor, cuyo elemento constitutivo principal es la madera. Su denominación engloba a un gran número de productos con fines decorativos y estructurales. Se desarrolla fundamentalmente por la industria de la madera para dar solución a la demanda de productos estructurales¹⁴ y paliar los defectos de la madera maciza como la inestabilidad dimensional derivada de su anisotropía e higroscopicidad¹³. Como elementos estructurales, están sometidos a las Normas Españolas (UNE) que, a su vez, están siendo sustituidas o modificadas a partir de las Normas Europeas (EN).

Estos productos derivados de la madera se fabrican con madera (chapas, partículas, o fibras) y adhesivos que se utilizan para unir los elementos de madera. La evolución de los adhesivos empleados para dar consistencia y forma a los elementos de madera, ha estado vinculada directamente a la industria química y sus avances. La calidad de los adhesivos termoendurecibles empleados en su fabricación viene determinada por su lugar de aplicación (interior o exterior). En la producción de tableros derivados de la madera, es frecuente utilizar adhesivos que contienen formaldehído y, en función de la cantidad empleada, el tablero tendrá un determinado contenido que irá emitiendo a lo largo de su vida¹⁵. Pero cómo afectará el adhesivo a las capas pictóricas artísticas, estará en función del tipo de tablero, del tipo de adhesivo empleado y de las condiciones ambientales, a los que habrá que añadir las propiedades y características de las capas pictóricas utilizadas.

Entre los tableros derivados de la madera, el tablero contrachapado es uno de los más empleados por los artistas⁹. Estos tableros destacan por la uniformidad de sus propiedades, igualadas por la disposición de las chapas que les proporciona una gran estabilidad dimensional. A pesar de ello, el tablero contrachapado es un producto derivado de la madera y, por lo tanto, puede ser degradado por causas abióticas (fuego, intemperie o agentes químicos o mecánicos) y por causas bióticas (hongos xilófagos o insectos xilófagos).

Los estudios para determinar las condiciones óptimas para la conservación de obras artísticas bidimensionales sobre tablero contrachapado resultan insuficientes o, incluso, inexistentes. Según Luxford *et al.*⁸ la escasez de literatura para las colecciones de madera pone de relieve las limitaciones de los datos para la toma de decisiones en conservación preventiva, unos materiales calificados como vulnerables, tanto por su composición material como por su comportamiento higroscópico. Es más, en aquellos estudios realizados sobre el tablero contrachapado o sobre las propiedades de estos materiales, no entran en detalle sobre su envejecimiento a largo plazo. En algunos casos se han estudiado las especies de madera de manera individual¹³, o su respuesta a cambios de temperatura y humedad. Y, aunque hay pocos estudios sobre objetos compuestos de chapas de madera en la literatura de la conservación de objetos artísticos, hay una serie de materiales relacionados como la pintura sobre tabla,

escultura poli-cromada o, incluso, muebles lacados que se han estudiado con más detalle³ y que pueden aportar información interesante sobre las propiedades físico-mecánicas o los efectos causados por la humedad relativa o la temperatura, cuantificando la respuesta dimensional de la madera^{11,5,12,16} y las tensiones resultantes de las restricciones internas².

En este contexto: ¿Cómo influye un soporte de tablero derivado de la madera y, en concreto, un soporte de tablero contrachapado en las capas pictóricas acrílicas?

Según Althöfer¹ el arte actual responde a una nueva estética donde, en determinadas ocasiones, se advierte la preocupación por su permanencia y “*donde conservar la apariencia material de la obra es conservar la identidad original de la obra*”. La materia/técnica es valorada por su carga intelectual y, por lo tanto, conservar la apariencia material de la obra es conservar la identidad original de la obra.

Como consecuencia de ello, la conservación-restauración de pintura contemporánea se ha convertido en un tema de investigación multidisciplinar que requiere conocimientos acerca de los valores conceptuales de la obra, de historia de arte, de las propiedades físicas y químicas de los materiales/técnicas, de tratamientos de conservación y también de técnicas de caracterización que proporcionen información de las causas exactas de los cambios o degradaciones que se producen en la obra, proporcionando información sobre su estabilidad. Para realizar estos estudios es evidente la necesidad de realizar modelos comparativos (probetas o modelos de referencia) que faciliten la labor investigadora del profesional de la conservación-restauración de arte contemporáneo. En este sentido, el estudio de los cambios composicionales de los materiales obtenidos a través de los procesos de envejecimiento acelerado resultarán útiles y de gran valor informativo.

Por todos estos motivos, el objetivo principal de esta investigación será comprender la evolución que experimentan estos materiales durante su envejecimiento y las causas que pueden desestabilizar las obras con el fin de adoptar las medidas necesarias para evitar, en la medida de lo posible, un envejecimiento prematuro de las obras de arte contemporáneas. La investigación plantea varios objetivos específicos como profundizar en un campo de estudio novedoso, estudiar el comportamiento de las capas pictóricas de tipo acrílico sobre tableros derivados de la madera, concretar los mecanismos de degradación de estas capas pictóricas, estudiar su repercusión sobre la estabilidad futura de las obras de arte y reflexionar sobre el modo en que esta degradación puede afectar a la intención artística.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los modelos de ensayo (probetas) fueron confeccionados con un soporte de tablero contrachapado (20 x 20 x 3 mm) y capas pictóricas que, a su vez, están formadas por una imprimación de Gesso Acrílico Vidal[®] y tres capas de color distintas: Blanco Titanio, Azul

Ftalocianina y Sombra Tostada de Acrylic Studio de Vallejo[®].

La metodología empleada para la realización de la investigación, consta de las siguientes fases:

Estudios previos

Análisis preliminar del estado de la cuestión.

Esta primera fase ha consistido en la recopilación de datos a través de fuentes directas de información, mediante entrevistas y solicitud de información a través de comercios y tiendas especializadas en productos para Bellas Artes.

Análisis de la información obtenida y evaluación de los resultados.

En esta segunda fase, y según los datos extraídos de las fuentes directas de información, se ha realizado un estudio estadístico proporcionando información real de los materiales más utilizados por los artistas y las características de estos productos.

Preparación de las probetas de ensayo

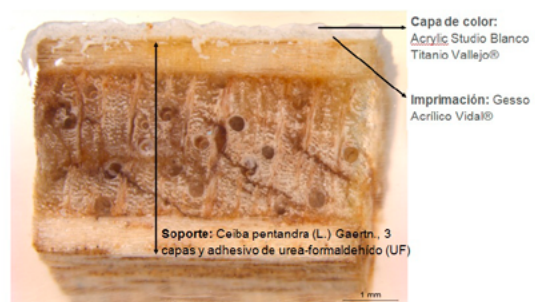


Figura 1. Estratigrafía de la muestra extraída de la probeta Gb0-CT (PCI). En la imagen se observa el soporte de tablero contrachapado de tres capas de madera Fromager y las capas pictóricas (imprimación y capa de color)

Selección de los materiales de referencia.

Las pinturas acrílicas para artistas con base acuosa seleccionadas para esta investigación se resumen en la **Tabla 1**. Las pinturas acrílicas son de la marca Acrylic Studio de Vallejo[®] y la descripción de cada color se ha obtenido del propio catálogo del fabricante.

Tabla 1: Pinturas acrílicas en base agua por color y tipo de pigmento. Fuente: www.acrylicosvallejo.com

Marca comercial	Color	Composición según el fabricante
	Blanco Titanio Rutilo	Dióxido de titanio (PW6)
Acrylic Studio de Vallejo [®]	Azul Ftalocianina	Ftalocianina de cobre (PB15:3)
	Sombra Tostada (Tono)	Óxido de hierro hidratado sintético (PY42), Óxido de hierro hidratado (PR101) y Carbón (PBk7)

La capa de fondo o imprimación corresponde a la marca Gesso Acrílico Vidal[®] cuya descripción no ha

sido facilitada por el fabricante. Los soportes confeccionados con tablero contrachapado Ceiba pentandra (L.) Gaertn., de tres capas y adhesivo de urea-formaldehído (UF) seleccionados para este estudio han sido confeccionados y proporcionados por la empresa Tableros Folgado S.A. de Aldaya, (Valencia).

Identificación de las probetas de ensayo.

Se estableció un código de inventario de las probetas permitiendo en cualquier momento ser identificadas con los productos empleados, así como su orientación y/o ubicación, garantizando todo el proceso, desde su elaboración hasta los informes de los ensayos correspondientes:

- La letra G identifica el tipo de imprimación: gesso.
- A continuación le sigue una letra en minúscula que se corresponde con los tres colores empleados: **b** (Blanco Titanio), **a** (Azul Ftalocianina) y **s** (Sombra Tostada).
- El número de dos cifras identifica el número de probeta correspondiente a su serie: el número 00 identifica a la probeta PCI (Producto de Comparación Interno) y el resto de muestras numeradas (del 01 al 10) serán las muestras sometidas a ensayo. La/s letra/s en mayúscula al final de código, indica/n el ensayo que se ha realizado: AH (envejecimiento por Alta Humedad) y CT (envejecimiento por Choque Térmico).

Relación de probetas confeccionadas.

Para el ensayo en condiciones de alta humedad se confeccionaron 32 probetas y para la resistencia a ciclos de enfriamiento (Cold-check test) otras 32 probetas preservando, en ambos casos, una muestra representativa por cada una de las series como producto de comparación interno (PCI).

Ensayos de envejecimiento artificial. Procedimiento metodológico e instrumental

Ciclos de choque térmico (Cold-check test).

El envejecimiento artificial mediante ciclos de choque térmico, se ha realizado según la norma UNE 48025:2014 "Resistencia a los ciclos de enfriamiento de los barnices nitrocelulósicos aplicados sobre madera", por medio de una cámara climática WEISS SB11300. La metodología a seguir consiste en colocar las probetas en posición vertical que garantice la libre circulación de aire entre ellas y se someten a 40 ciclos según se indica a continuación:

- 1 hora a $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$
- 1 hora a $(-20 \pm 1)^\circ\text{C}$
- 15 minutos a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$

Después de cada ciclo se examinan las probetas en busca de algún tipo de deterioro (cuarteamientos, grietas, ampollas o cambios de color y/o brillo).

Envejecimiento en condiciones de alta humedad (35°C-85%HR).

Las probetas se sometieron durante un mes a la cámara climática interna de AIDIMA a 35 °C y 85% HR para evaluar la posible aparición de defectos (pérdida de adherencia, grietas, desconchados o moho).

Caracterización analítica de las capas pictóricas.

Caracterización química y morfológica de las capas de fondo y capas de color mediante Espectroscopía de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR-ATR). Esta fase ha consistido en realizar un estudio químico-mineralógico para identificar la naturaleza del material ligante de las muestras extraídas de las probetas y evaluar los cambios experimentados por el mismo como consecuencia de los ensayos de envejecimiento acelerado artificial, mediante Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) Vertex 70, Bruker Optics con sistema de reflexión total atenuada (ATR), con un detector FR-DTGS con recubrimiento para estabilización de temperatura (número de barridos acumulados: 32, resolución: 4 cm^{-1}) del laboratorio de Análisis Físico-Químico y Medioambiental del Instituto de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia.

Propiedades mecánicas.

Tras el análisis del comportamiento estructural de las muestras extraídas de las probetas representativas de una pintura sobre tablero contrachapado, se ha realizado un estudio mecánico. El objetivo es conocer la magnitud de las propiedades de tracción y deformación de las capas pictóricas, con el fin de conocer su interrelación con el soporte de tablero contrachapado y evaluar su influencia sobre las capas pictóricas durante cambios de humedad relativa. Las propiedades mecánicas se ensayaron en AIDIMA conforme a la norma UNE-EN 310:1994, en donde se establece el módulo de elasticidad aparente en flexión de cara y la resistencia a flexión de los tableros derivados de la madera con un espesor nominal igual o superior a 3 mm, y los resultados obtenidos se expresan a continuación según la norma UNE-EN 326-1:1994.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través de los datos extraídos del estudio del estado de la cuestión y su análisis, ha sido posible la identificación de los nuevos soportes y capas pictóricas empleadas por los artistas en la actualidad. En este análisis estadístico de los materiales más empleados por los artistas contemporáneos, destaca el empleo del tablero contrachapado de tres capas Ceiba pentandra (L.) Gaertn., y adhesivo Urea-formaldehído (UF)⁹.

El análisis previo mediante Espectroscopía Infrarroja de las probetas con la imprimación comercial sin película pictórica así como de las probetas con película pictórica permitió la caracterización química del tipo de aglutinante y de los aditivos presentes en ambos productos. Posteriormente, se procedió a la caracterización de las probetas tras los envejecimientos en laboratorio mediante ciclos térmicos y por humedad extremos, con el propósito de determinar los cambios químicos experimentados por el sistema imprimación-capas de color como consecuencia de la acción de la temperatura y humedad al que fueron sometidas las probetas.

Caracterización de las probetas sin envejecer

A continuación se muestra el espectro infrarrojo obtenido para la imprimación Gesso Acrílico Vidal® y en la **Tabla 2** se detalla la asignación de las bandas de absorción identificadas:

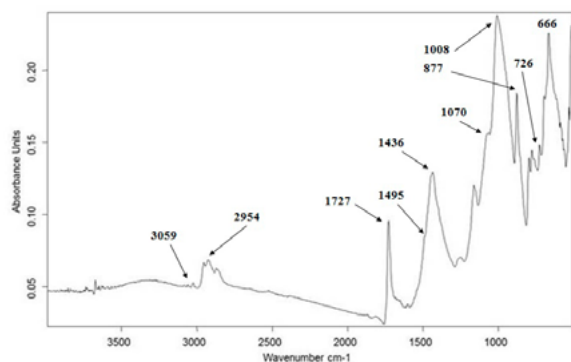


Figura 2. Espectro FTIR-ATR obtenido de la muestra extraída de la imprimación Gesso Acrílico Vidal® donde se detallan las bandas de absorción más significativas.

Tabla 2: Asignación de bandas detectadas en el espectro IR de la imprimación de Gesso Acrílico Vidal® y de Acrylic Studio Blanco Titanio de Vallejo®

Asignación de bandas	Número de onda (cm ⁻¹)	
	Gesso Acrílico Vidal®	Acrylic Studio Blanco Titanio de Vallejo®
C-H y -C=C-tensión	3087 3059 3025 2954 2926 2871 2853s	2952 2927 2902s 2871 2850s
CO ₃ ²⁻	2515 1800	
-C=O tensión grupo éster	1727	1723
Anillo aromático tensión	1601	
Carboxilatos metálicos		1561
Aditivo tipo PEG		1476s
CO ₃ ²⁻	1436	
-C-H flexión		1447 1383
-C-O y -C-C-tensión	1248 1160 1070 1008	1272 1236 1159 1144
Aditivo tipo PEG		1115 1067
-C-O y -C-C-tensión		990
Aditivo tipo PEG		957 844
CO ₃ ²⁻	877 725	
Anillo aromático balanceo	795 775 765 695 666	

Las bandas de absorción a 3087, 3059 y 3025 cm⁻¹ observadas en el espectro infrarrojo obtenido para la imprimación Gesso Acrílico Vidal® se asocian a las vibraciones de tensión de los enlaces C-H aromáticos, mientras que las bandas identificadas a 2954, 2926, 2871 y 2853 cm⁻¹ se adscriben a vibraciones de tensión del enlace C-H alifático, y a 1727 cm⁻¹ a la vibración de tensión del enlace C=O del grupo carbonilo, características espectroscópicas asociadas a una resina de tipo estireno-acrítica⁷. Asimismo, las bandas de absorción identificadas a 2515, 1800, 1436, 877 y 725 cm⁻¹ pueden asignarse a las vibraciones de tensión y flexión, respectivamente, del carbonato cálcico (CaCO₃), posiblemente adicionado como carga inerte.

La caracterización química mediante Espectroscopía FTIR de las pinturas para artistas Acrylic Studio de Vallejo® (**Figura 3**), revela que el aglutinante es una resina del tipo BA/MMA (acrilato de butilo/metacrilato de metilo) atendiendo a las bandas identificadas correspondientes a las vibraciones de tensión de los enlaces C-H alifáticos (2952, 2927, 2902, 2850 cm⁻¹), vibración de tensión del enlace C=O del grupo éster (1723 cm⁻¹), vibraciones de flexión del enlace C-H (1447, 1383 cm⁻¹) y vibraciones de tensión de los enlaces C-O y C-C (1272, 1236, 1159, 1144, 1067, 990, 957 cm⁻¹) características de esta tipología de resinas. Por otro lado, también destaca la presencia de bandas de absorción relativas a un aditivo de tipo Polietilenglicol (PEG) (1476, 1115 cm⁻¹)⁴ y la presencia de complejos metal-carboxilato (banda a 1561 cm⁻¹), formados entre los iones metálicos del pigmento y el ácido acrílico o metacrílico presente en la emulsión del aglutinante de la pintura (**Tabla 2**).

En el caso concreto de la probeta con capa de color Acrylic Studio Blanco de Titanio de Vallejo® que se muestra como ejemplo en la **Figura 3**, el incremento de absorción significativo a ≈800 cm⁻¹ es propio del pigmento blanco de titanio (rutilo: PW6)⁷.

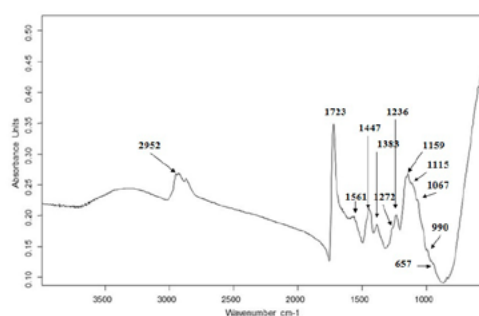


Figura 3. Espectro FTIR-ATR obtenido de la muestra extraída de la capa de color Acrylic Studio Blanco Titanio de Vallejo®.

Caracterización de las probetas tras envejecimiento mediante ciclos térmicos (Cold-check test)

El estudio comparativo de las probetas antes y después de los ensayos de envejecimiento puso de relieve el diferente comportamiento exhibido por las mismas dependiendo del tipo de pigmento de la capa pictórica.

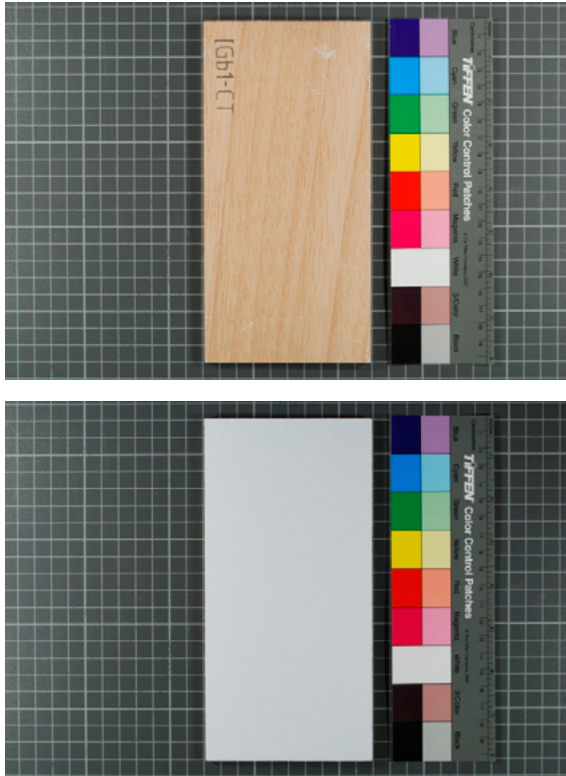


Figura 4. Probeta Gb1-CT después del ensayo de envejecimiento mediante ciclos térmicos, donde no se aprecian cambios visibles en la superficie pictórica ni en el soporte del tablero contrachapado.

Por un lado, es destacable que los espectros infrarrojos obtenidos para las muestras extraídas de las probetas Gb-CT (imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Blanco de Titanio de Vallejo®), antes y después de estar sometidas a un ensayo de choque térmico, no revelan cambios composicionales significativos tal y como se puede observar en la **Figura 5**, donde las pequeñas variaciones de las intensidades de absorción observadas pueden asociarse a ligeras diferencias texturales de la superficie de los estratos pictóricos.

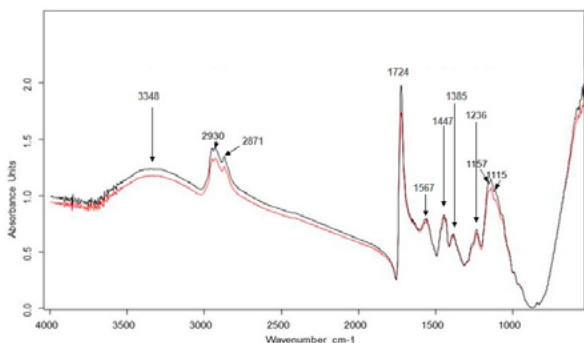


Figura 5. Espectro FTIR-ATR obtenido de la muestra extraída después del envejecimiento mediante ciclos térmicos. La muestra contiene una imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Blanco Titanio de Vallejo®.

En el caso de las probetas Ga-CT (imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Azul

Ftalocianina de Vallejo®), cuyos espectros infrarrojos se muestran en la **Figura 6**, se puede observar cómo la exposición a ciclos térmicos extremos ha dado lugar a un incremento de la intensidad relativa de la banda de absorción a 1557 cm^{-1} asociada a la presencia de complejos ión metálico-ácido acrílico/ácido metacrílico de la emulsión acrílica, así como una disminución de la intensidad relativa de las bandas de absorción a 2893 , 1342 , 1109 , 963 y 842 cm^{-1} correspondientes a los aditivos de tipo PEG.

Estos cambios sugieren la formación de nuevos complejos metálicos y, fundamentalmente, la descomposición de los aditivos tipo PEG.

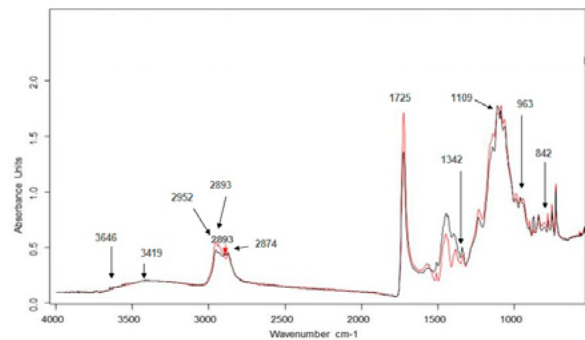


Figura 6. Espectro FTIR-ATR obtenido de la muestra extraída después del envejecimiento mediante ciclos térmicos. La muestra contiene una imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Azul Ftalocianina de Vallejo®.

Más significativas son las alteraciones observadas en las probetas Gs-CT (imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Sombra Tostada de Vallejo®) tras los ciclos térmicos. Los principales cambios observados al comparar los espectros IR obtenidos de las muestras extraídas de las probetas antes y después de la exposición a choque térmico se representan en la **Figura 7** y consisten en un incremento de la intensidad de absorción relativa de la banda a 1557 cm^{-1} , correspondiente a la formación de complejos ión metálico-ácido acrílico/ácido metacrílico de la emulsión acrílica y una disminución de la intensidad relativa de las bandas de absorción a 2886 , 1342 , 1105 , 962 y 842 cm^{-1} correspondientes a los aditivos de tipo PEG y a $1300\text{-}900\text{ cm}^{-1}$ correspondientes a las vibraciones de tensión de los enlaces -C-C y -C-O de la resina acrílica.

Estos cambios sugieren una degradación de la resina acrílica de la pintura (por escisión de enlaces y formación de complejos metálicos) y fundamentalmente la descomposición de los aditivos tipo PEG⁴.

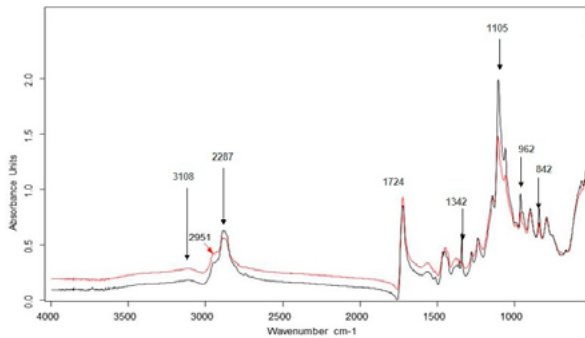


Figura 7. Espectro FTIR-ATR obtenido de la muestra extraída después del envejecimiento mediante ciclos térmicos. La muestra contiene una imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Sombra Tostada de Vallejo®.

Caracterización de las probetas tras envejecimiento mediante alta humedad

El estudio comparativo de las probetas antes y después del envejecimiento mediante alta humedad, ha evidenciado nuevamente que el sistema de imprimación-capa de color con el pigmento blanco de titanio es el que presenta una mayor estabilidad (**Figura 8**).



Figura 8. Probeta Gb1-AH después del ensayo de envejecimiento por alta humedad donde se aprecian ligeras manchas de moho tanto en la superficie pictórica como por el soporte de tablero contrachapado.

El principal cambio observado al comparar los espectros IR de las muestras extraídas de las probetas Gb-AH (imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Blanco de Titanio de Vallejo®) que se representan en la **Figura 9**, es un incremento de la

intensidad de las bandas de absorción a 3307 cm^{-1} y a $\approx 1650\text{ cm}^{-1}$, cambios que sugieren una incorporación de agua al polímero.

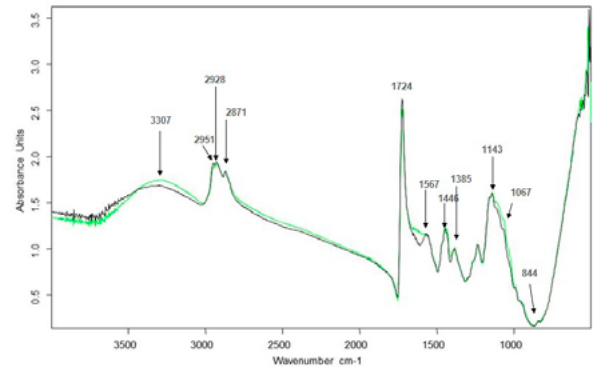


Figura 9. Espectro FTIR-ATR obtenido de la muestra extraída después del envejecimiento mediante alta humedad. La muestra contiene una imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Blanco Titanio de Vallejo®.

Un grado de alteración mayor es el que han experimentado las probetas Ga-AH (imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Azul Ftalocianina de Vallejo®), cuyos espectros se muestran en la **Figura 10**, donde se observa un incremento de la intensidad de las bandas a 3435 y 1650 cm^{-1} relativas a agua de absorción, y una disminución de la intensidad relativa a las bandas de absorción 2886 , 1335 , 1111 , 962 y 841 cm^{-1} correspondientes a los aditivos tipo PEG, resultados que sugieren la descomposición de los aditivos y una incorporación de agua al polímero.

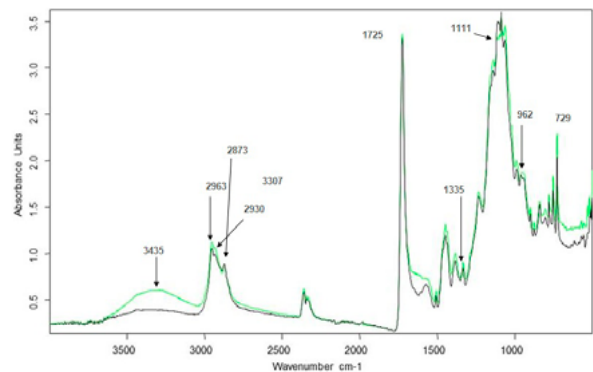


Figura 10. Espectro FTIR-ATR obtenido de la muestra extraída después del envejecimiento mediante alta humedad. La muestra contiene una imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Azul Ftalocianina de Vallejo®.

Las probetas Gs-AH (imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Sombra Tostada de Vallejo®) son las que han experimentado unos cambios más relevantes, como se puede observar en la **Figura 11**, donde se superponen los espectros infrarrojos de las muestras antes y después de haber sido sometidas al envejecimiento. Por una parte se aprecia un incremento de la intensidad de la banda a $\approx 3300\text{ cm}^{-1}$ y un ensanchamiento de la banda a $\approx 1650\text{ cm}^{-1}$, una disminución de la intensidad relativa a las bandas

de absorción a 2889, 1342, 1105, 963 y 842 cm^{-1} correspondientes a los aditivos tipo PEG, un incremento de la intensidad de la banda a 1567 cm^{-1} correspondiente a la formación de complejos ión metálico-ácido acrílico/ácido metacrílico y una disminución de la intensidad relativa de las bandas de absorción correspondientes a las vibraciones de tensión de los enlaces $-\text{C}-\text{C}$ y $-\text{C}-\text{O}$ a 1300-900 cm^{-1} .

Todos estos cambios sugieren una degradación de la resina acrílica de la pintura (por ruptura de enlaces y formación de complejos metálicos) y, fundamentalmente, la descomposición de los aditivos tipo PEG y la incorporación de agua al polímero⁴.

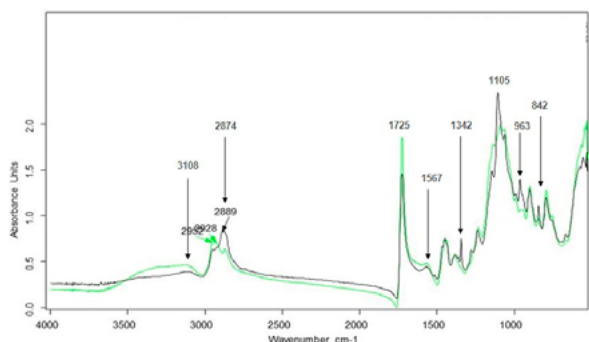


Figura 11. Espectro FTIR-ATR obtenido de la muestra extraída después del envejecimiento mediante alta humedad. La muestra contiene una imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Sombra Tostada de Vallejo®.

Estudio mecánico

En la Tabla 3 se exponen los valores obtenidos en el ensayo de resistencia a flexión, es decir, el esfuerzo o carga total que han soportado las probetas en crudo y después del envejecimiento a alta humedad antes de que se rompan o agrieten, y los resultados del módulo de elasticidad o módulo de Young.

Los valores promedio del módulo de elasticidad (MOE) y del módulo de ruptura (MOR) de las probetas en crudo (**Tabla 3**), muestran que la resistencia mecánica de las probetas de tablero contrachapado aumenta a medida que su contenido de humedad disminuye. La diferencia en el contenido de humedad entre las probetas estudiadas y los valores obtenidos, permite explicar las variaciones en los resultados: para las probetas en crudo en condiciones ambientales normales se obtienen valores promedio de 4,318 MPa (MOE) y de 29,53 MPa (MOR), mientras que en condiciones de alta humedad se obtienen valores promedio de 4,270 MPa (MOE) y de 28,94 MPa (MOR).

En cuanto al módulo de elasticidad (MOE) de las probetas con una imprimación de Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Blanco Titanio de Vallejo®, presenta ligeras diferencias en cuanto a los valores promedio: 2,869 MPa (MOE) y 29,84 MPa (MOR).

Tabla 3: Tabla resumen con los resultados del ensayo a flexión.

En la columna de la izquierda se muestran los resultados de las probetas de tablero contrachapado en crudo bajo condiciones de laboratorio, en la columna central después de estar sometidas a alta humedad y en la columna de la derecha se observan los cambios de las probetas compuestas por tablero contrachapado y las capas pictóricas después del ensayo a alta humedad.

Probetas	Tablero Contrachapado: Condiciones normales		Tablero Contrachapado: Después envejecimiento a AH		Tablero Contrachapado y Capas pictóricas: Después envejecimiento a AH	
	Resistencia Flexión (MOR) (MPa)	Módulo de elasticidad (MOE) (MPa)	Resistencia Flexión (MOR) (MPa)	Módulo de elasticidad (MOE) (MPa)	Resistencia Flexión (MOR) (MPa)	Módulo de elasticidad (MOE) (MPa)
1	35,60	4,878	25,83	4,090	27,74	2,784
2	27,32	3,913	32,83	4,453	31,79	2,831
3	27,62	4,035	28,62	4,239	29,36	2,980
4	22,49	3,716	26,06	4,009	29,26	2,795
5	32,32	4,850	31,34	4,815	29,92	2,713
6	31,82	4,519	28,95	4,014	30,97	3,113
Media	29,53	4,318	28,94	4,270	29,84	2,869
D.E.	4,65	0,498	2,79	0,316	1,42	0,148
C.V.	15,74	0,011	9,65	0,007	4,75	0,005
Media +2,00 DE	38,82	5,315	34,52	4,901	32,68	3,166
Media -2,00 DE	20,23	3,321	23,36	3,639	27,01	2,573
Mínimo	22,49	3,716	25,83	4,009	27,74	2,713
Máximo	35,60	4,878	32,83	4,815	31,79	3,113

Flexión tablero contrachapado, UNE-EN 310
 Tipo de interfaz: 5500
 Veloc. cruceta: 20,0000 mm/min.
 Segunda velocidad: 0,0000 mm/min.
 Tercera velocidad: 0,0000 mm/min.
 Frec. Muestreo (pto/s): 50,0000
 Temperatura: 23°C
 Humedad relativa (%): 50
 Dimensión 4: 0,0000
 D. entre rodillos: 80,0000 mm.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de las muestras extraídas de las probetas y estudiadas mediante Espectroscopía FTIR, muestran en general que son muy resistentes a los ensayos de envejecimiento simulado. Sin embargo, mostraron ciertas alteraciones de foto-degradación de los aditivos y una degradación asociada a las cadenas del polímero (ruptura de enlaces) y formación de jabones metálicos.

1.- La caracterización mediante Espectroscopía FTIR de las muestras analizadas, ha permitido extraer las siguientes conclusiones:

La imprimación Gesso Acrílico Vidal® (G) contiene una resina sintética de tipo estireno-acrítica como medio aglutinante y carbonato cálcico como principal carga inerte.

En el caso de las capas de color Acrylic Studio Vallejo®, el aglutinante identificado es una resina acrílica del tipo acrilato de butilo-metacrilato de metilo (BA-MMA). También se identifican aditivos de tipo polietilenglicol (PEG), unos aditivos que son característicos de las pinturas acrílicas en dispersión y que se identifican en varias formulaciones de pinturas para artistas.

2.- En lo que respecta a los cambios experimentados por las muestras como consecuencia de los ensayos, cabe destacar:

Envejecimiento por resistencia al choque térmico (Cold-check test), ciclos de calor/frío (UNE 48025).

En las muestras de tipo Ga (imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Azul Ftalocianina de Vallejo®) se observa una degradación de los aditivos tipo Polietilenglicol y la formación de jabones metálicos. En las muestras tipo Gs (imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Sombra Tostada de Vallejo®) además, se aprecia la degradación de la resina de la pintura (ruptura de enlaces) y en las muestras tipo Gb (imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Blanco Titanio de Vallejo®) no se aprecian cambios significativos.

Envejecimiento por exposición a alta humedad:

En las muestras tipo Gb (imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Blanco Titanio de Vallejo®) se observa una incorporación de agua al polímero; en las muestras tipo Ga (imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Azul Ftalocianina de Vallejo®) se observa además una degradación de los aditivos tipo Polietilenglicol (PEG) y finalmente, en las muestras tipo Gs (imprimación Gesso Acrílico Vidal® y capa de color Acrylic Studio Sombra Tostada de Vallejo®) además, se aprecia la degradación de la resina de la pintura (ruptura de enlaces y formación de complejos metálicos), por lo que son las más degradadas.

Los resultados de caracterización de las muestras mediante Espectroscopía FTIR concluyen que en los procesos de envejecimiento de las probetas, el soporte de tablero contrachapado no ha influido en las mues-

tras testadas. Sin embargo ha quedado demostrado que agentes abióticos como la humedad alteran gravemente la estabilidad material de estas capas pictóricas artísticas. La influencia de la humedad queda reflejada en las propiedades mecánicas donde, en general, las resistencias mecánicas disminuyen al aumentar la humedad, aumentando la plasticidad de los tableros contrachapados. Pero el efecto de la humedad no sólo implica al soporte derivado de la madera, la pérdida o ganancia de humedad provoca tensiones en los diferentes estratos que componen la capa pictórica y puede llevar a causar daños si se supera la fuerza máxima de los materiales.

Por lo tanto se hace necesario conocer el comportamiento de las capas pictóricas y las tensiones heterogéneas de las diferentes capas que componen la capa pictórica. Un estudio que se está llevando a cabo en estos momentos, donde se podrán establecer los cambios dimensionales y los límites permitidos de deformación de la imprimación y capa de color.

El estudio de la caracterización de las propiedades mecánicas de las probetas en su conjunto (imprimación más capa de color) ha mostrado el comportamiento estructural de unas probetas representativas de una pintura sobre tablero contrachapado.

El análisis de las capas pictóricas, la degradación de los aditivos tipo Polietilenglicol (PEG) y su migración a la superficie pictórica, provoca un aclarado generalizado de las superficies pictóricas afectando a la percepción del color, siendo especialmente acentuado este proceso para las capas de color Azul Ftalocianina y Sombra Tostada. Respecto al color, en general se observa un oscurecimiento en la superficie de las probetas con capa de color Blanco Titanio y un aclarado en las probetas con capa de color Sombra y Azul Ftalocianina (siendo éstas las más afectadas), un cambio de color que se verá cuantificado en futuras líneas de investigación.

Por lo tanto, los cambios físicos de las pinturas para artistas acrílicas en dispersión acuosa no sólo comprometen la estabilidad material de las capas pictóricas de las obras de arte contemporáneas, también modifican la percepción del color transformando su apariencia original y cambiando el discurso estético de la obra de arte. Desde un plano conceptual, la pérdida de saturación del color y los cambios de brillo, pueden alterar la lectura y comprensión formal de la obra de arte contemporánea, convirtiendo una pequeña transformación de color en una patología importante que afecta al lenguaje del artista. La conservación del arte contemporáneo no sólo debe abordarse desde la vertiente material de las obras, también el plano conceptual debe ser aprehendido, para determinar en qué momento la condición de la materia afectará a la significación de la obra.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo recoge parte de los resultados de la investigación llevada a cabo en el proyecto “Conservación y Restauración de Arte no Convencional”, fi-

nanciado por el Ministerio de Economía y Competitividad, dentro del Programa Estatal de Investigación Científica y Técnica de Excelencia (2014-2017). Ref: HAR2013-41010-P.

Agradecer a: la Consellería d'Educació de la Generalitat Valenciana la Beca de Personal Investigador de Carácter Predoctoral (FPI) a través de la cual he podido disfrutar de financiación para el desarrollo de la investigación; al Laboratorio del Instituto de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de Valencia y, en especial, a las doctoras M^a Teresa Domènech Garbó y Laura Osete; a D. Vicente Folgado de Tableros Folgado S.A. y, por último, al Instituto del Mueble, Madera, Embalajes y Afines (AIDIMA), en especial a la Dra. Rosa Pérez y Dña. Nùria Domínguez.

REFERENCIAS

1. Althöfer H., (ed), *Restauración de pintura contemporánea. Tendencias, materiales, técnica*. Istmo, **2003**, 9-19.
2. Bratasz, L., *et al.* Allowable thresholds in dynamic changes of microclimates for wooden cultural objects: monitoring in situ and modeling. *ICOM Committee for Conservation, 14th Triennial Meeting*. **2005**, 582-589.
3. Bratasz, L., *et al.* Conservation of the Mazarin Chest: Structural Response of Japanese lacquer to Variation in Relative Humidity. *ICOM Committee for Conservation, 15th Triennial Meeting*. **2008**, 1086-1093.
4. De Sousa Ramos Félix Silva, M. Analytical study of accelerated light ageing and cleaning effects on acrylic and PVAc dispersion paints used in Modern and Contemporary Art. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, diciembre de 2011.
5. Erhardt, D., *et al.* New versus old Wood: Differences and similarities in physical mechanical, and chemical properties. *ICOM Committee for Conservation, 11th Triennial Meeting*. **1996**, 903-910.
6. Huertas, M. *Materiales, procedimientos y técnicas pictóricas I: Soportes, materiales y útiles empleados en pintura de caballete*. Ediciones AKAL S.A.: Madrid, 2010.
7. Learner, T. J. S. *The Getty Conservation Institute Analysis of modern paints*. Conservation Institute: Canada, 2004.
8. Luxfor, N.; Strlic, M.; Thickett, D. Safe display parameters for veneer and marquetry objects: A review of the available information for wooden collections. *Studies in Conservation*. **2013**, 58, 1-12.
9. Llamas, R.; Talamantes, M.C. Estudio técnico y estadístico sobre soportes derivados de la madera utilizados en el arte contemporáneo. *12ª Jornada de Conservación de Arte Contemporáneo*. **2011**, 119-134.
10. Matteini, M.; Moles, A., *Ciencia y Restauración. Método de investigación*. Nerea: San Sebastián, **2008**.
11. Mecklenburg, M.F.; Tumosa, C.S. Mechanical behavior of paintings subjected to changes in temperature and relative humidity. *Art in transit: studies in the transport of paintings*. **1991**, 173-216.
12. Mecklenburg, M.F.; Tumosa, C.S.; Erhardt, D. Structural response of painted wood surfaces to changes in ambient relative humidity. *Painted Wood: History and Conservation*. [Online] **1998**, 464-483.
13. Oliver-Villanueva, J.V.; Benitez-Telles, J.E.; Vivancos-Ramón, M.V.; Grafía-Sales, J.V. Wood Consolidation Assessment by Fundamental Frequency Method. *Cultural Heritage Preservation. Wood Research*. **2012**, 57, 331-338.
14. Peraza, F.; Arriaga, F.; Peraza, J.E. *Tableros de madera de uso estructural*. AITIM: Madrid, **2004**.
15. Peraza, F.; Peraza, J. E. *Guía de la madera (I). Productos básicos y carpintería. Adaptado al C.T.E. y legislación vigente*. AITIM: Madrid, **2010**.
16. Richard, M.; Mecklenburg, M.; Tumosa, C.S. 1998.3 Technical considerations for the transport of panel paintings. *The Structural Conservation of panel Paintings*. [Online] **1998**, 525-556.