

Estudio radiográfico del dorado a la hoja

Daniel Saulino Bottinelli, Néstor Barrio Lipperheide, Alejandra Gómez Paredes, Sergio Medrano Medrano

RESUMEN

A pesar de su alto peso atómico, el oro de las laminillas aplicadas para crear motivos decorativos en un sinnúmero de pinturas de caballete no es generalmente registrado por los rayos X, debido a su escaso espesor o bien por carecer de una preparación subyacente que contenga metales pesados.

El método experimental desarrollado en este trabajo permitió observar que el contraste radiológico del oro no sólo depende de su espesor relativo, sino también de otras condiciones experimentales relacionadas con la técnica radiológica utilizada.

La obra “Apacienta mis ovejas”, anónimo potosino del siglo XVIII, se ofrece aquí como un caso de estudio que motivó nuestra experiencia.

Palabras clave: dorado a la hoja, rayos X, análisis de imágenes.

ABSTRACT

Despite its high atomic weight, gold leaf gilding applied to create decorative motifs in countless easel paintings is not usually recorded by X-rays due to its thinness or because of its lack of an underlying layer containing heavy metals.

The experimental method developed for this work allowed the observation of the fact that the radiological contrast of the gold doesn't depend just on its relative thickness, but also on other experimental conditions related to the radiological technique that has been used.

The 18th century work of art “Apacienta mis ovejas”, of an anonymous artist from Potosí, is showed as a case study of our experience.

Key words: gold leaf gilding, X- rays, images analysis

Daniel Alberto Saulino, Profesor en Electrónica y Licenciado en Tecnología, egresado de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), posgraduado en Educación Universitaria de la Universidad Nacional del General San Martín (UNSAM), investigador del Instituto de Investigaciones sobre el Patrimonio Cultural (IIPC) en el área de Análisis de imágenes, profesor de Metodología del examen técnico en la Maestría en Restauración y Conservación del IIPC, profesor de Sistemas de representación gráfica y Teoría de control en la carrera de Ingeniería electrónica de la Escuela de Ciencia y Tecnología (UNSAM).

E-Mail: dsaulino@unsam.edu.ar

Néstor Barrio Lipperheide, Licenciado en Artes Visuales del Instituto Universitario Nacional del Arte, Universidad Nacional del General San Martín (IUNA-UNSAM), profesor titular en carreras de la especialidad en grado y posgrado del IUNA-UNSAM, director del Centro de Producción e Investigación en Restauración y Conservación Artística y Bibliográfica (Ceircab-Tarea) de la UNSAM (2008-2011), investigador en proyectos PIP-CONICET y PICT-ANPCT, director de la carrera de Especialización en Conservación de Bienes Culturales y decano del Instituto de Investigaciones sobre el Patrimonio Cultural (IIPC-UNSAM).

E-Mail: nestor_barrio@yahoo.com

María Alejandra Gómez Paredes, Profesora Universitaria de Artes Visuales, Instituto Universitario Nacional de Arte, Universidad Nacional del General San Martín (IUNA-UNSAM), profesora adjunta de la especialización en Conservación y Restauración en el Instituto de Investigaciones del Patrimonio Cultural (IIPC-UNSAM), restauradora y conservadora de Arte Moderno y Contemporáneo del IIPC.

E-mail: alegomezparedes2@yahoo.com.ar

Sergio Rodrigo Medrano, Licenciado en Conservación-Restauración de Bienes Culturales, investigador del Instituto de Investigaciones del Patrimonio Cultural (IIPC) de la Universidad Nacional del General San Martín (UNSAM) en el área de Escultura Policromada.

E-Mail: sergiomedranoar@yahoo.com.ar

INTRODUCCIÓN

Al estudiar esta obra de mediados del siglo XVIII observamos un dispar e interesante resultado en las imágenes de rayos X obtenidas de la misma.

“Apacienta mis ovejas” representa a Jesús entregando las llaves del reino de los cielos a San Pedro (San Marcos 16,18); como así también el posterior y reiterado mandato de Jesús al apóstol sobre la responsabilidad de cuidar su “rebaño”. (Apacienta mis corderos, San Juan 21,16) fue ejecutada mediante una técnica mixta en óleo para las carnaciones, temple para el paisaje y decoraciones realizadas en dorado a la hoja, sobre un soporte de 121 x 137 cm (Foto 1).

Analizando detenidamente las superficies doradas encontramos que tanto el nimbo de Cristo como el de San Pedro, las ornamentaciones de los ropajes y el báculo, presentes en la obra, muestran un fuerte contraste radiográfico, no así las llaves que sostiene Cristo en su mano izquierda que desaparecen en la radiografía, sin producir el más mínimo contraste (Foto 2).

De estos resultados, podríamos inferir la presencia de pigmentos con contenido de plomo en el sustrato inferior de las figuras doradas, lo que produciría el contraste

Foto 1: La obra estudiada “Apacienta mis ovejas”, anónimo potosino del siglo XVIII

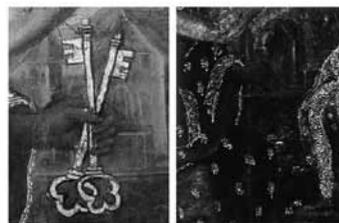


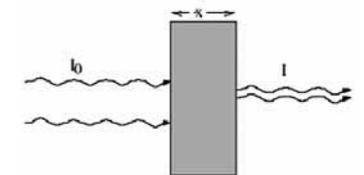
Foto 2: A la izquierda, en luz visible, observamos las llaves doradas. A la derecha su imagen radiográfica; se destaca la desaparición de las llaves doradas (técnica utilizada: 25 KiloVolt pico-800 miliAmper-segundo).

radiográfico. Y por otro lado inferir la carencia de ese elemento en las llaves que se mostraban invisibles.

Es habitual, según las técnicas tradicionales de dorado sobre soporte de tela, que la lámina de oro se asiente sobre una sustancia adhesiva o “mordiente” al aceite; con más resistencia que el dorado al agua, ya que el soporte flexible no resultaría el adecuado para ser bruñido. Generalmente esta mezcla, o mixtión, está compuesta por aceite de lino cocido al que se le incorporan resinas y algunas cargas, como minio (óxido de plomo rojo¹) o litargirio (monóxido de plomo). Estas cargas son utilizadas también con el fin de acelerar el tiempo de secado y otorgar un cromatismo que realce la calidez del metal dorado.

Para estudiar las posibles causas que obstaculizan las observaciones radiológicas de las láminas de oro nos propusimos:

- Estudiar, en el marco de la Ley de Beer-Lambert, la interacción de la radiación X con la materia que nos ocupa.
- Desarrollar el equipamiento necesario para poner en marcha un método radiológico que permita observar láminas de oro delgadas.
- Fijar los parámetros radiológicos y establecer un proceso de fijación y revelado controlado², que permita garantizar la calidad de las placas radiográficas obtenidas.



Esquema 1: Ley de Beer-Lambert.
 I_0 : Intensidad del haz incidente.
 I : Intensidad del haz transmitido.
 x : Espesor de la muestra.

MARCO TEÓRICO

En el fenómeno de absorción el haz de rayos X interacciona con la materia y la energía de los fotones es transferida a ésta. Intervienen en este fenómeno varios factores: la absorción fotoeléctrica, la difusión inelástica de Compton y la difusión elástica de Thompson. Pero podemos considerar que en nuestro experimento el rango de energía es inferior a 100 Kiloeléctron-Volt (KeV), entonces el proceso de absorción es dominado por el efecto fotoeléctrico (Esquema 1).

Este proceso provoca la atenuación del haz de rayos X, que aumenta proporcionalmente a la longitud del camino que transita la radiación a través de la materia. Una descripción cuantitativa de este comportamiento es descrito por la Ley de Beer-Lambert que vincula la relación de intensidades (I/I_0) con el espesor de la materia atravesada (x) según: Fórmula 1.

La constante μ , característica del material, se denomina coeficiente de atenuación lineal. Como este coeficiente depende de la densidad del material (ρ), por conveniencia, normalizamos esta constante dividiéndola por la densidad del elemento o compuesto. Este cociente μ/ρ se denomina coeficiente de atenuación másico y se mide en [cm^2/g]. Entonces la primera expresión quedaría como: Fórmula 2

Fórmula 1.

$$I = I_0 \exp(-\mu x) \quad (1)$$

Fórmula 2.

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{\mu}{\rho}\rho x\right) \quad (2)$$

1 Minio de plomo (color rojo saturno): tetróxido de plomo (Pb_3O_4).
 2 Bushong, 2006: p. 188.



Foto 3: La muestra constituida por una escala de espesores de láminas de oro sobre un soporte de Mylar de 200 µm.



Foto 4: Montaje experimental. A la izquierda imagen de la instalación. A la derecha diagrama esquemático.

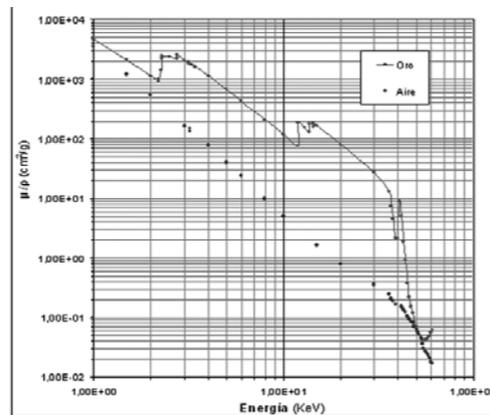


Gráfico 1: Variación del coeficiente de absorción másico para diferentes energías, correspondientes al oro (en trazo gris) y al aire seco (en punteado).

Adaptación de datos tomados de <http://www.nist.gov> [5 enero 2011]. (cita 3).

Como vemos, este fenómeno depende de varios parámetros relacionados con el material: el espesor; la densidad y también el número atómico; pero también de la energía del haz de radiación X. Por este motivo contamos con tablas³ que suministran los valores de μ/ρ , de cada elemento o compuesto, en función de la energía de los fotones incidentes. En el Gráfico 1 representamos esta relación para el oro en el rango de energías de nuestro experimento. En esta figura se destacan los cantos o bordes de absorción que caracterizan las energías de ionización de los enlaces electrónicos en el interior del átomo. Pero también vemos que en el rango de las técnicas radiográficas de baja energía el valor μ/ρ para el oro es elevado, pero similar a los valores del plomo (Gráfico 1).

MÉTODO EXPERIMENTAL

Para evaluar el comportamiento de las láminas de oro diseñamos un dispositivo que permitió obtener imágenes radiográficas en vacío; eliminada la influencia de la columna de aire que interfiere la trayectoria del haz, desde la fuente de radiación X hacia el conjunto objeto-placa radiográfica. Por otro lado, preparamos una muestra de espesores crecientes tipo escalera, también denominada “penetrómetro”⁴, con el objeto de obtener una escala de contraste claramente observable. Esta herramienta la construimos con ocho escalones, apilando en secuencia láminas de oro: una para el primero; dos para el segundo; y luego, en secuencia de a dos, llegamos a catorce láminas para el escalón octavo (Foto 3).

a) Montaje del experimento

Para obtener las imágenes radiográficas evitando la absorción del aire construimos una cámara de vacío de geometría tronco-cónica, con una altura fija de 55 cm (que determina la distancia foco-objeto); construida con una chapa de hierro de un espesor tal que resistiera la tensión mecánica provocada por el vacío (Foto 4).

La carga de la placa radiográfica, del tipo Structurix D4 de AGFA⁵, y los objetos a radiografiar se efectuó a través de la base mayor, sellada mediante un anillo de goma. Por el otro lado, la base menor, se selló mediante una ventana de Mylar con el objeto de preservar el vacío y minimizar la atenuación del haz. Por último, la cámara fue evacuada mediante una bomba mecánica que permitió sostener un vacío dinámico suficiente.

Tabla 1: Características de las láminas de oro

Pureza	Proporción	Densidad	Formato	Peso	Espesor Medio
22 K	91,7% Au /7,3% Ag	18,5 gr./cm ³	8 cm x 8 cm	12 gr c/1000 hojas	0,1 µm

b) Preparación de la muestra

Para preparar la muestra se depositaron los 8 espesores de oro diferentes sobre una hoja de Mylar⁶ de 200 µm, transparente a la radiación X empleada. Cada uno de estos espesores se constituyó superponiendo las delgadas láminas de oro.

El oro es un metal dúctil y maleable, pesado y blando, brillante, que puede extenderse en finísimas láminas traslúcidas denominadas “panes”. Para aplicaciones en arte su espesor se aproxima a 0,001 mm⁷. En la actualidad la calidad 24K⁸ se comercializa en formatos de 80 x 80 mm y puede alcanzar espesores de aproximadamente 100 nm⁹; las características de los panes de oro que utilizamos, según datos del proveedor, son:

La muestra se preparó a partir de las siguientes secuencias de procedimiento:

1. Limpieza de la lámina de Mylar con un papel “tissue” embebido en alcohol isopropílico.
2. Diseño de una grilla incisa sobre la lámina, compuesta de cuadrados de 20 x 20 mm separados en 5 mm. Esta grilla permitió adherir el metal en forma organizada y sin mediar sustancia adhesiva alguna a los efectos de no alterar la homogeneidad de cada escalón. De esta manera las pequeñas secciones de oro quedaron adheridas entre sí por una ligera presión.
3. Numeración de las secciones (ocho en total) y fijación de la muestra dentro de un marco de doble “passe partout” que permitió su manipulación, estableciendo un posicionamiento sistemático dentro de la cámara.

La muestra terminada se superpuso sobre una película radiográfica, y por último, este conjunto, constituido por la muestra y película, se colocó dentro de la cámara con el laboratorio a oscuras para eliminar la posible interferencia ocasionada por el sobre de la película.

3 Adaptación de datos recuperados del National Institute of Standards and Technology (NIST) <http://www.nist.gov>. [26 enero 2011].

4 Eastman Kodak Company, 1980: p.98.

5 General Electric, 2008: p. 14.

6 Marca registrada por DuPont de Nemours & Co. (Tereftalato de polietileno).

7 González-Alonso, 1997: p. 320.

8 Karat: medida de pureza de metales preciosos, equivale a 24 *(Masa de metal puro en el material / Masa total del material).

9 Información suministrada por Giusto Manetti, Batiloro de Florencia y Kremer Gold de Alemania.

c) Marcha del experimento

El proceso de exposición radiográfica es complejo, ya que intervienen en su desarrollo múltiples variables. Por este motivo, caracterizamos la técnica radiográfica utilizada fijando la diferencia de potencial aplicada al tubo de rayos X (KVp), la corriente que lo circula (mA) y el tiempo de exposición¹⁰ de la placa.

Pero también debemos considerar: la distancia entre el punto focal y la película (que, como dijimos, en este experimento queda fijado por la altura de la cámara cónica); la materia que interactúa con el haz (procesos de difusión en el aire, la muestra y la placa); el espesor y densidad del material radiografiado (muestra) y, por último, la calidad del proceso de revelado.

Para poder controlar estos parámetros desarrollamos la experiencia siguiendo la siguiente secuencia operativa:

1. Selección del rango de la técnica radiográfica.

Para irradiar las muestras utilizamos un equipo Dermopan de la empresa Siemens de "técnica fija"; esta característica obligó a utilizar el valor 10 KVp¹¹ para obtener mínima penetración. No obstante, con este equipo, dispusimos de un rango variable de exposición conformado por una corriente variable de 5 a 15 mA y un tiempo de irradiación continuamente ajustable de dos segundos hasta dos horas.

2. Ajuste de los parámetros radiológicos.

Fijamos un umbral mínimo de ennegrecimiento de las placas controlado por el valor de exposición, obteniendo una secuencia de cinco placas radiográficas de una muestra metálica conocida: constituida por un trozo de alambre para soldadura de plomo/estaño, con un delgado núcleo de resina transparente a la radiación. La primera imagen de calidad que obtuvimos de esta muestra fue obtenida con una técnica básica de 10 KVp con 400 mAs de exposición.

3. Control del proceso de revelado.

Para observar las imágenes latentes se utilizó líquido revelador marca AGFA tipo Structurix G128 y el correspondiente fijador Structurix G328. La preparación de los baños, el tiempo de inmersión y la temperatura fueron ajustados a partir de la observación de sucesivas placas de prueba con el fin de estandarizar el proceso de revelado¹².

4. Irradiación de la muestra de oro.

Con la técnica seleccionada irradiamos la muestra descrita en el ítem "b", obteniendo una placa que permitió estimar el espesor mínimo observable y los contrastes producidos entre escalones (Foto 5).

5. Análisis de la calidad radiográfica de las placas.

Se utilizó un negatoscopio para la evaluación del ennegrecimiento, contraste

10 Cantidad de radiación X emitida por el tubo en un determinado tiempo, se estima en relación al valor de exposición en miliaAmper-segundo (mAs).

11 KVp: KiloVolt pico.

12 Eastman Kodak Company, 1980: p. 95.

y borrosidad de cada una de las imágenes radiográficas obtenidas. Para las determinaciones cuantitativas del ennegrecimiento utilizamos un densitómetro óptico¹³.

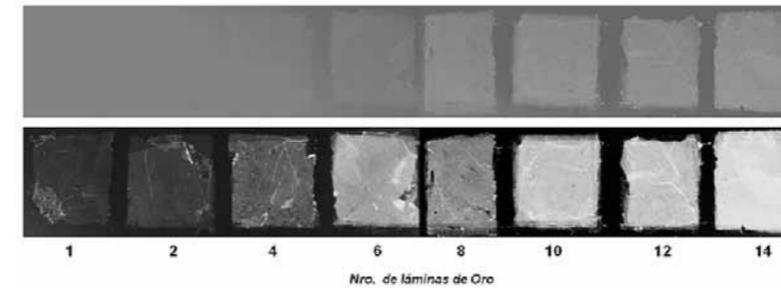


Foto 5: Imagen radiográfica correspondiente a la muestra de la Foto 3. Arriba sin vacío, abajo con vacío. Los números indican la cantidad de láminas utilizadas en cada escalón.

RESULTADOS

Al comenzar el desarrollo de esta experiencia nos propusimos efectuar el ajuste de una técnica radiológica que nos permitiera observar, mediante rayos X, delgadas láminas de oro. A continuación describimos los resultados obtenidos.

Por un lado la irradiación del objeto de prueba, un delgado alambre de soldadura de plomo/estaño con una delgada alma de resina, mostró las imágenes radiográficas, las que se obtuvieron sin vacío y con vacío dentro de la cámara, utilizando una técnica de 10 KVp - 400 mAs (Foto 6).

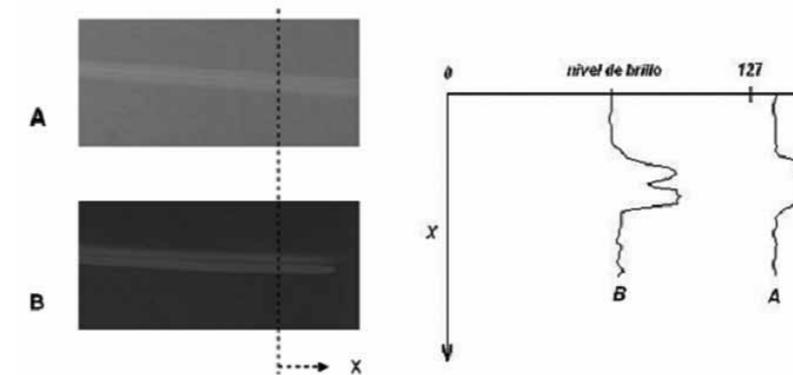


Foto 6: Imagen radiográfica de prueba correspondiente a un alambre de estaño-plomo con núcleo de resina. A) sin vacío. B) con vacío. A la derecha de ellas se observan los perfiles de brillo (técnica; 10 KVp y 400 mAs).

a) Como vemos en la imagen, el perfil de brillo obtenido a lo largo del corte transversal de la imagen "A" muestra elevada borrosidad¹⁴ debida a la radiación secundaria, producida por la difusión de fotones de menor energía a través del aire. Estos fotones débiles no deberían definir una imagen del núcleo de resina; pero, por el contrario, esa imagen se ve extrañamente clara. Probablemente este efecto se debe a que el haz atraviesa una zona de máximo espesor, correspondiente al diámetro, produciéndose una atenuación del dicho haz (Ley de Beer-Lambert, Ec. 2).

13 Densitómetro óptico marca Tobias Inc. Modelo TCX.

14 Borrosidad: difusa apreciación de los bordes de los objetos proyectados en una imagen. Es un factor que permite estimar la calidad radiográfica mediante la evaluación del grado de claridad y exactitud en la apreciación de los detalles, utilizando un escalón que genera dos valores de brillos extremos.

b) Al evacuar la cámara obtuvimos la imagen “B”. En ella percibimos un claro aumento de la resolución ya que podemos distinguir las variaciones de densidad del alma de resina.

Por otro lado, la irradiación de este “penetrómetro” de oro produjo dos placas radiográficas, una obtenida con vacío y la otra sin vacío, obtenidas con una técnica de 10 KVp y 400 mAs.

c) En la imagen que obtuvimos sin vacío observamos que prácticamente no se presenta contraste radiográfico de detalles a lo largo de los ocho escalones. Tampoco es posible distinguir imagen alguna aún con cuatro láminas de oro superpuestas.

d) Sin embargo, al evacuar la cámara observamos un contraste muy bueno que permite resolver todos los espesores de oro (escalones) que componen la muestra; y más aún, los finísimos detalles producidos por la superposición imperfecta de las láminas.

e) Finalmente observamos que el material, cartulina o polietileno, que conformó el envoltorio de la placa, también interactuó con el haz, y aún en vacío, proyectó una imagen de su estructura que interfería con la imagen de la muestra. Por este motivo decidimos montar el conjunto objeto-placa dentro de la cámara sin envoltorio con el laboratorio a oscuras.

CONCLUSIONES

- La interacción del flujo de fotones, que conforman el haz primario, con las moléculas de aire produce radiación secundaria. Esta radiación incide sobre el objeto desde diversas direcciones, excitando a la placa de forma inadecuada, generando borrosidad y perjudicando el contraste según se describe en los resultados analizados en los ítems “a” y “c”.
- Los resultados discutidos en los ítems “b” y “d” fueron obtenidos con la cámara evacuada y una mínima tensión de excitación del tubo (10KVp.), observándose, en las imágenes 5 (“B”) y 6 (“Abajo”), un buen contraste radiográfico.
- Además en vacío, con mínimos espesores, se observa contraste radiográfico. Por ejemplo: se aprecian detalles en el primer y segundo escalón, o sea con espesores inferiores al micrón.
- Con la cámara evacuada observamos imágenes de los envoltorios de la película radiográfica que interferirían, de manera nítida, con la imagen de la muestra. Esta observación sugiere que es posible analizar la estructura de láminas de papel y finas cartulinas; por lo tanto la técnica que describimos puede ser promisoría para el estudio radiológico de pinturas y dorados sobre papel o pergamino.
- Si bien esta experiencia permitió estudiar imágenes radiológicas de pequeñas muestras constituidas por láminas de metales pesados, no fue posible probar

específicamente el origen de la invisibilidad de las llaves presentes en la obra que motivó este trabajo.

- No obstante, en el futuro podría construirse una cámara de vacío similar a la nuestra pero de mayor tamaño, que permita introducir una obra completa. Esta nueva cámara permitiría dilucidar el comportamiento de las láminas de oro aplicadas sobre soportes con diferentes mordientes, por ejemplo en el caso de la obra “Apacienta mis ovejas”.

BIBLIOGRAFÍA

BARRIO, N. 2007. Interpretación de la imagen radiográfica de la pintura. Ponencia presentada en el *Segundo Congreso Argentino y Primer Latinoamericano de Arqueometría*. Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires.

BUSHONG, S. 2005. [1993]. *Manual de radiología para técnicos: física, biología y protección radiológica* (8ª ed.). Madrid: Elsevier. 660 p.

CAMPOS, A. y VIEGENER, P. 2007. ¿“La entrega de las llaves a San Pedro” o “Apacienta mis corderos”? En Museo de Arte Hispanoamericano Isaac Fernández Blanco; Universidad Nacional de General San Martín, *Catálogo de la exposición Las tramas del arte*, (pp. 14-18). Buenos Aires, el Museo.

EASTMAN KODAK COMPANY. 1980. *Radiography in the modern industry*. Rochester: Eastman Kodak. 166 p.

GÁRATE ROJAS, M. 1989. *Fundamentos de la técnica radiográfica*. Barcelona: AGFA – Gevaert. 193 p.

GENERAL ELECTRIC. 2008. *X-Ray Radiographic Film Systems: GEIT 40007EN (10/08)*. Recuperado de: http://www.ge-mcs.com/download/x-ray/film/Film/GEIT-40007EN_ndt-film-brochure.pdf [enero 2012].

GONZÁLEZ-ALONSO, E. 1997. *Tratado del dorado, plateado y su policromía: tecnología, conservación y restauración*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. 320 p.

Fotografías:

1 y 2 (N. Barrio, 2007).

3 (A. Gómez, 2010).

4 (D. Saulino, 2010).

5 (S. Medrano, 2011).

6 (D. Saulino, 2011).

Medios y secativos en la pintura al óleo actual: una revisión de su uso y comportamiento

Rosario Llamas
Amparo Torrente

RESUMEN

El presente trabajo presenta los resultados obtenidos tras realizar un sondeo de opinión a cincuenta artistas contemporáneos de pintura rápida con el fin de concretar cuáles son las sustancias más utilizadas actualmente como aceleradores del secado de las pinturas al óleo contemporáneas. Tras este sondeo se ha podido precisar qué tipo de compuestos se utilizan, cuáles son los métodos de aplicación de los mismos y qué marcas comerciales son las más habituales en el ámbito español. Luego de obtener esta información, se ha llevado a cabo el envejecimiento acelerado del secativo de cobalto, tanto por exposición a ciclos de humedad y temperatura en cámara climática, como por exposición lumínica, todo ello con el fin de estudiar si las transformaciones de las capas pictóricas, debidas al uso de este compuesto químico, pueden llegar a afectar al mensaje de las obras por alterar en exceso la apariencia prístina de las mismas.

Palabras clave: secativos, médiums, pintura contemporánea, entrevistas a artistas, conservación y restauración.

ABSTRACT

The findings obtained after surveying fifty contemporary artists of fast painting are hereby presented in order to define the most frequently used substances today as accelerators for drying contemporary oil paintings. This opinion poll enabled to clearly define the type of compounds used, their methods of application and the commercial brands most frequently used in the Spanish sphere. After obtaining this information, the cobalt siccative was subjected to an accelerated aging process through a cyclical exposure to temperature and humidity in a climatic chamber as well as to light. This was made to determine whether the transformation of the pictorial layers due to the use of this chemical compound, can lead to affect the message of the works of art by excessively altering their pristine appearance.

Key words: siccatives, painting medium, contemporary painting, artists interviews, conservation and restoration.

Doctora Rosario Llamas Pacheco es profesora titular de Universidad en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad Politécnica de Valencia y Miembro del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio.
E-mail: rllamas@crbc.upv.es

Amparo Torrente Casado es licenciada en Bellas Artes de la Universidad Politécnica de Valencia, restauradora e investigadora.
E-mail: amptorr@hotmail.com