

Documento Gráfico //

Propiedades, características, ventajas y desventajas del sistema bicapa de ciclododecano y Paraloid® B-72, a partir de un caso práctico sobre un grabado de Giovanni Battista Piranesi.

Este artículo presenta una parte del estudio realizado como Trabajo Final de Grado de la ESCRBCCC sobre el ciclododecano, un compuesto orgánico volátil con usos en el campo de la conservación-restauración desde 1995. En la especialidad de Conservación y Restauración de Documento Gráfico se utiliza en procedimientos de fijación de elementos sustentados solubles en agua, gracias a su capacidad hidrófuga e impermeabilizante, y a una baja toxicidad. La propiedad química de sublimar gradualmente en condiciones de temperatura ambiente le confiere una reversibilidad requerida en intervenciones de patrimonio cultural.

Cristina Gallego Galan. Graduada en Estudios Artísticos Superiores de Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la especialidad de Documento Gráfico por la ESCRBCCC. Licenciada en Periodismo por la Universidad Autónoma de Barcelona. Máster en Conservación y Restauración de Patrimonio Fotográfico por la ESCRBCCC. Conservadora-restauradora de obra gráfica, material de archivo y fotografía.
crisgallego07@gmail.com / www.incrisart.com

Palabras Clave: ciclododecano, CDD, Paraloid® B-72, fijación, solubilidad, elementos sustentados.

Fecha de recepción: 14-XII-2022 > **Fecha de aceptación:** 20-XII-2022

INTRODUCCIÓN

El interés por el tema del Trabajo Final de Grado (TFG) surgió al ver un grabado pendiente de intervención en el laboratorio de tercer curso de la especialidad de Conservación y Restauración de Documento Gráfico, en el marco de la asignatura *Teoría y práctica de la conservación y restauración del documento gráfico* de la ESCRBCCC (durante el año académico 2020-2021). Se trataba de una estampa de gran formato con una vista arquitectónica clásica, firmada "Cavalier Piranesi F." La atracción inicial de aquella escena eran unas figuras pequeñas pintadas de color rojo que resaltaban sobre la densidad y oscuridad de la tinta de impresión negra. La intervención se realizó bajo la supervisión de la profesora M. Àngels Balliu Badia.

Entre los objetivos principales de este artículo se encuentra conocer la finalidad del proceso de fijación de elementos sustentados. Por un lado, se quiere destacar cuáles son los principales riesgos de la limpieza húmeda en obras con elementos gráficos solubles en agua y, específicamente, saber cuáles son los riesgos que conlleva el proceso de fijación de estos elementos sustentados.

Asimismo, nos centramos en las propiedades del ciclododecano (hidrocarburo cíclico saturado), partiendo de la hipótesis de que el ciclododecano es un producto que se utiliza ampliamente en conservación-restauración de documento gráfico como fijativo: en situaciones de solubilidad en agua de los elementos sustentados, ante la necesidad de realizar una limpieza húmeda. Desde los inicios de su utilización en conservación (descubierto por Hangleiter, Jägers y Jägers en 1995), el ciclododecano continúa planteando nuevas posibilidades y usos en diferentes especialidades de intervención del patrimonio. Se trata de una sustancia versátil



en sus usos y que cumple el requisito de la reversibilidad. También se estudia su uso en el sistema bicapa de ciclododecano y Paraloid® B-72 (polímero acrílico), con sus ventajas e inconvenientes.

¹ TACÓN CLAVAIN, J. *La restauración en libros y documentos. Técnicas de intervención*. Madrid: Ollero y Ramos, 2009, p. 92-93.

² BANIK, G.; BRÜCKLE, I. *Paper and Water: A Guide for Conservators*. Múnich: Siegl, 2018, p. 385.

³ *Ibid.*, p. 97.

⁴ *Ibid.*, p. 385.

⁵ CRESPO, C; VIÑAS, V. *La Preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices*. París: UNESCO, 1984. Programa General de Información y UNISIST. Disponible en línea en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000063519_spa> [Consulta: 6 mayo 2022].

⁶ *Ibid.*, p. 58.

⁷ BAGAN, R. “El ciclododecà i les seves aplicacions en conservació-restauració”. *Unicum* (2008), nº 7, p. 150-155.

⁸ GRUPO ESPAÑOL DE CONSERVACIÓN DEL IIC. *Ciclododecano*. [En línea]. <<https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/proteccion-temporal-o-final/ciclododecano/>> [Consulta: 10 diciembre 2022].

La metodología empleada en el trabajo estuvo compuesta por diversas líneas de trabajo: una revisión bibliográfica general sobre el uso del ciclododecano en aplicaciones de conservación-restauración y una específica sobre el sistema bicapa de ciclododecano y Paraloid® B-72. Además, una búsqueda de fuentes directas de información a partir de una encuesta realizada en talleres de conservación-restauración y de una entrevista personal al impulsor del sistema bicapa, un especialista a nivel nacional en el sistema de fijación como es Salvador Muñoz Viñas, catedrático en conservación y restauración de la Universitat Politècnica de València. También se hizo una revisión del uso del ciclododecano a lo largo de diez años en la asignatura *Teoría y práctica de la conservación y restauración del documento gráfico* de la ESCRBC.

EL PROCESO DE FIJACIÓN DE LOS ELEMENTOS SUSTENTADOS

La fijación es un proceso que tiene como finalidad “estabilizar” los elementos sustentados para poder realizar algún proceso de restauración posterior. Se contempla la fijación, por ejemplo, cuando las tintas, elementos gráficos o procedimientos pictóricos presentes en la obra a intervenir son solubles en agua y se considera necesario hacer una limpieza húmeda. Si se decide seguir con el procedimiento, hay que plantearse un proceso de fijación previo para evitar la disolución o el desvanecimiento del elemento sustentado durante la limpieza húmeda. En estos casos, la fijación supone una estabilización temporal, ya que hay que contemplar su reversibilidad una vez realizada la limpieza.

La limpieza acuosa de los soportes celulósicos tiene efectos positivos como la eliminación de la acidez presente en el papel (debido a su envejecimiento químico y a la afectación de contaminantes y de suciedad sobre el soporte) así como el restablecimiento de los enlaces entre las cadenas de celulosa que confieren mayor flexibilidad estructural al papel.¹

Aun así, el proceso de limpieza húmeda es un procedimiento intervencionista y se debe estar muy seguro de que es indispensable para mantener la integridad futura del bien. Para poder disolver los componentes que afectan a la estabilidad del bien, es necesario que la actuación del agua se haga de manera uniforme y con un nivel correcto de humectación y absorción por parte del sustrato celulósico. De esta manera, los tratamientos de limpieza y de desacidificación darán resultados satisfactorios.²

La limpieza acuosa siempre implica cambios en la constitución del soporte y de los elementos sustentados, debidos a variaciones dimensionales de expansión (al mojarse) y de contracción (al secarse). En el libro *Paper and Water*, la autora Irene Brückle revisa los efectos del agua sobre la estructura del papel a muchos niveles.³ Entre otros:

- A escala molecular, establece enlaces entre el hidrógeno y la celulosa.
- A escala de microfibras y paredes celulares, produce inflamamiento, lo que hace aumentar su flexibilidad.
- Y, finalmente, al llegar a niveles micro y macro estructurales del papel, permite que las fibras se desplacen y aumente su capacidad de alargarse.

Hay diferentes tratamientos de limpieza acuosa aplicables en obras en soporte celulósico, en función de su fragilidad y/o solubilidad de los elementos sustentados. Podemos

hablar, a grandes rasgos, de tratamientos de limpieza por inmersión, por flotación o por contacto con un material absorbente.⁴ Cada uno incorpora técnicas, materiales y metodologías de aplicación diversas.

Así, cuando se decide proceder a la fijación de los elementos sustentados, se tiene que hacer un estudio de los productos adecuados y decidir la metodología que se querrá aplicar. En esta decisión hay que revisar los disolventes que la afectan (en relación con su solubilidad a la limpieza húmeda) y hacer pruebas de su eficacia. Se debe poder comprobar que su aplicación no dañará el bien a corto o largo plazo, que tendrá un buen envejecimiento y que resultará inocua durante el proceso de limpieza húmeda posterior.⁵

RIESGOS QUE CONLLEVA LA FIJACIÓN DE LOS ELEMENTOS SUSTENTADOS

Hay diferentes efectos secundarios que pueden alterar la pieza. Algunos pueden ser inmediatos, en cuanto se inicia la aplicación: oscurecimiento, brillos o pasmado (sobre los elementos sustentados o sobre el soporte), así como cambios de textura (por ejemplo, en dibujos realizados con procedimientos en seco, como el pastel o el carboncillo, y que afectan a las características propias de los pigmentos). También se pueden producir efectos a medio y largo plazo, como el levantamiento de las grafías o el envejecimiento y consecuente amarilleamiento debido a la oxidación del soporte celulósico.⁶

Otro efecto negativo sobre el que hay que extremar las precauciones es la permanencia de suciedad en las zonas fijadas. Al aplicar el producto, las zonas protegidas no se limpian ni se elimina la acidez soluble y, por lo tanto, quedan zonas donde se aprecian los restos de suciedad sobre el soporte. Habrá que valorar su posible afectación estética antes de cada intervención.

EL CICLODODECANO

A continuación, se revisan las características del producto. El ciclododecano es una sustancia orgánica, un hidrocarburo alifático cíclico que pertenece al grupo funcional de los cicloalcanos, con fórmula química C₁₂H₂₄. Se encuentra dentro del grupo de sustancias llamadas consolidantes temporales volátiles (*volatile binding media*), junto con el mentol, el canfeno o el tricliceno, que se utilizan en el campo de la conservación.⁷

Se trata de una sustancia insoluble en disolventes polares (como el agua, el etanol o el metanol) y soluble en muchos disolventes apolares (como el tolueno, el xileno, el hexano, el tricloroetileno o la acetona).⁸ Es sólido a temperatura ambiente y de color blanquecino-transparente con una consistencia parecida a la parafina (del grupo de los hidrocarburos alcanos). Su punto de fusión se encuentra entre los 58 y los 61 °C y su punto de ebullición se sitúa en los 247 °C.

Su propiedad fundamental es la de sublimar gradualmente en condiciones de temperatura ambiente, característica de la que hablaremos más adelante. También hay que destacar sus capacidades hidrófugas (por su insolubilidad en sustancias polares como el agua) e impermeabilizantes (gracias a la capa sólida, en forma de película, que crea sobre el soporte al cual protege).

Los hidrocarburos son compuestos que contienen átomos de carbono y de hidrógeno. Su clasificación como hidrocar-

buro saturado hace referencia a la no existencia de dobles o triples enlaces entre sus átomos de carbono. A este grupo pertenecen los alcanos (de cadena abierta) y los cicloalcanos (de cadena cerrada).

La nomenclatura de los cicloalcanos se forma igual que la de los alcanos, pero añadiendo el prefijo “ciclo-” delante (para indicar que se trata de una cadena cerrada). Así, el nombre cicloalcanos tiene una raíz que hace referencia a su número de átomos de carbono “-dodec-” (12) y un sufijo final común para todos los alcanos, “-ano”. Su nombre en inglés es *Cyclododecane*.⁹

Estructuralmente, el grupo de los cicloalcanos (también llamados alcanos cíclicos o hidrocarburos cíclicos) presenta enlaces químicos simples entre átomos de carbono en forma cerrada de anillo. Cada uno de los átomos forma unión con cuatro átomos (de carbono o de hidrógeno) y su fórmula general es C_nH_{2n} . **1** y **2** [pág.123] El cicloalcanos (CDD, en sus siglas abreviadas) es considerado un compuesto muy estable químicamente gracias a esta estructura.

TOXICIDAD DEL CDD

Desde su presentación como producto para la fijación y consolidación en el campo de la conservación-restauración, se ha considerado que su toxicidad es baja y que no presenta ningún peligro para la salud de los usuarios.¹¹ Sin embargo, han aparecido sospechas sobre los riesgos en la salud después de su utilización, y su supuesta inocuidad ha sido cuestionada. David Vernez y coautores citan un caso de 2009 en la Universidad de Ciencias Aplicadas de Berlín, a partir del cual desarrollan un pequeño estudio para caracterizar las condiciones de exposición a los vapores y a los aerosoles del CDD.¹² Llegan a las siguientes conclusiones: la concentración a la exposición al producto aumenta en espacios cerrados; la sublimación del CDD se realiza de manera lenta y emitiendo una exposición retrasada a los vapores y, por lo tanto, hay que vigilar cómo se guardan las piezas arqueológicas tratadas con CDD.

En la ficha de seguridad del cicloalcanos¹³ se dan indicaciones respecto a la exposición del usuario al polvo del producto, que podría provocar irritación de los ojos, la nariz y de las vías respiratorias. Por ello, se recomienda el uso de equipos de protección individual adecuados para la protección de la respiración (mascarilla FFP2), de las manos y los ojos (guantes y gafas) y su uso en espacios con buena ventilación. También dice que el producto no requiere “la clasificación y etiquetaje como producto peligroso, según la CLP/GHS”.¹⁴

El tema fue objeto de debate en la conferencia *Volatile Binding Media in Heritage Conservation*, en Cambridge en 2015 (recogida en una publicación de 2018).¹⁵ La presentación de Martin Adlem, químico y asesor en salud y seguridad, restaba relevancia a las críticas sobre la peligrosidad del CDD y confirmaba que ningún test habitual de toxicidad había podido concluir en que afectara a la seguridad personal o al medio ambiente. También justificaba su opinión profesional en el hecho de que el CDD, por su estructura química de cadena de hidrocarburos cerrada, no contiene grupos funcionales activos y, por tanto, no es reactivo. Esta sería la gran diferencia a nivel molecular que lo hace destacar sobre otros compuestos volátiles empleados en conservación-restauración, como el mentol y el canfeno, con grupos activos y con clasificación de riesgos para la salud.¹⁶

LA PROPIEDAD DE LA SUBLIMACIÓN. LA REVERSIBILIDAD

La sublimación es la acción de sublimar y, según la acepción física del término, hace referencia a: “pasar directamente del estado sólido al de vapor”.¹⁷ O “paso del estado sólido al estado gaseoso (e inversamente) sin pasar por el estado líquido”.¹⁸

En el caso del CDD, su sublimación se produce de manera lenta y a temperatura ambiente (a una presión de vapor de 0,07 hPa a 20 °C).¹⁹ La presión de vapor o volatilidad indica su evaporación en un tiempo concreto sin dejar ningún tipo de residuo. Los estudios iniciales situaban el índice de sublimación en los 0,03 mm a las 24 horas (en una capa gruesa).²⁰

Se han realizado estudios sobre el índice de sublimación del CDD en función de las características del papel. Una investigación científica de la conservadora de Colecciones Especiales de la *Harvard Library* en EEUU, Kelli Piotrowski, analizaba los efectos en diferentes tipos de papel y los métodos de aplicación del CDD respecto a su índice de sublimación. A partir de muestras con residuos de CDD se hicieron análisis gravimétricos para monitorizar el decrecimiento de su masa en el tiempo. Una vez transcurridas 48 horas desde que las muestras habían vuelto a su peso inicial (y visualmente ya no se observaban restos), se analizaron con instrumental de cromatografía de gases. Las medidas obtenidas muestran una sublimación completa: de entre el 99,95 y el 100 %.²¹

Piotrowski llega a la conclusión de que el tipo de papel y el método de aplicación no afecta realmente a las variaciones en la tasa de sublimación y que los parámetros que más afectan son el volumen o el grosor de materia aplicada y las condiciones ambientales (la temperatura, la humedad relativa y la ventilación). Los resultados indican que, con el tiempo suficiente, la sublimación sobre el papel es comple-

⁹ Los nombres de los compuestos químicos parten de una nomenclatura sistematizada por la IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*). Ver más información en: IUPAC. *Nomenclature*. [En línea]. <<https://iupac.org/what-we-do/nomenclature/>> [Consulta: 20 marzo 2022].

¹⁰ SAN ANDRÉS, M.; DE LA VIÑA, S. *Fundamentos de química y física para la conservación y restauración*. Madrid: Editorial Síntesis, 2004, p. 191-197.

¹¹ HANGLEITER, H.M.; JÄGERS, E.; JÄGERS, E. “Flüchtige Bindmittel”. *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung* (1995), nº 2, p. 385-392.

¹² VERNEZ, D. [et al.]. “Cyclododecane exposure in the field of conservation and restoration of art objects”. *The International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2011, nº 84 (4), p. 371-374.

¹³ KREMER PIGMENTE. *Safety Data Sheet Cyclododecane*. [En línea]. <https://www.kremerpigmente.com/elements/resources/products/files/87100_SDS.pdf> [Consulta: 8 mayo 2022].

¹⁴ Ver más información en: EUROPEAN COMMISSION. *Classification and labelling (CLP/GHS)*. [En línea]. <https://ec.europa.eu/growth/sectors/chemicals/classification-and-labelling-clpghs_en> [Consulta: 26 marzo 2022].

¹⁵ ADLEM, M. “Cyclododecane: how dangerous is it?”. En: ROZEIK, C. (coord.). *Subliming Surfaces: Volatile Binding Media in Heritage Conservation*. Cambridge: University of Cambridge Museums, 2018, p. 69-72.

¹⁶ *Ibid*, p. 71.

¹⁷ RAE. *Sublimar*. [En línea]. <<https://dle.rae.es/sublimar>> [Consulta: 28 noviembre 2021].

¹⁸ ENCICLOPÈDIA.CAT. *Sublimació*. [En línea]. <<https://www.enciclopedia.cat/ec-gdlc-e00129169.xml>> [Consulta: 28 noviembre 2021].

¹⁹ VERNEZ, D. [et al.]. “Cyclododecane...”, p. 371.

²⁰ HANGLEITER, H.M.; JÄGERS, E.; JÄGERS, E. “Flüchtige Bindmittel...”, p. 385-392.

²¹ PIOTROWSKI, K. “The effect of several paper characteristics and application methods on the sublimation rate of cyclododecane”. En: ROZEIK, C. (coord.). *Subliming Surfaces: Volatile Binding Media in Heritage Conservation*. Cambridge: University of Cambridge Museums, 2018, p. 39-52. Disponible en línea en: <<https://doi.org/10.17863/CAM.34060>> [Consulta: 10 diciembre 2022].

ta. Recomienda también, para evitar cualquier emisión nociva de gases desprendidos durante el proceso de sublimar, que el objeto se sitúe bajo una campana extractora hasta una semana después de que el CDD ya no sea visible.²²

Esta propiedad convierte al CDD en un producto muy interesante en el mundo de la conservación, ya que la ausencia de residuos al finalizar la sublimación facilita la tarea al conservador-restaurador, quien no ha de añadir ningún proceso mecánico o químico extra para retirar la posible sustancia restante. Resultaría, por lo tanto, un material de fijación totalmente reversible.

EL CDD EN LA FIJACIÓN DE ELEMENTOS SUSTENTADOS

Actualmente, el CDD se comercializa por Kremer Pigmente en formato sólido granulado, en recipientes de 80 g, de 500 g, de 10 kg y de 25 kg.²³ Se recomienda su almacenaje en la bolsa de plástico hermética y en su contenedor metálico de venta, bien cerrado para evitar que el producto vaya sublimando en contacto con el aire.²⁴ También se vende en formato de espray (en recipiente de 400 ml).²⁵

La función del CDD como fijador temporal de elementos sustentados se debe a sus propiedades hidrófugas (de insolubilidad en el agua) y, por tanto, también impermeabilizantes, y a su reversibilidad según la propiedad de sublimar.

Al escoger el CDD como producto fijativo, hay que tener en cuenta algunas consideraciones importantes en la aplicación de esta sustancia orgánica, como indican Nichols y Mustalish en su recopilación de testimonios en la reunión anual del AIC (*American Institute for Conservation*) de 2002:²⁶

- Se tiene que evitar su aplicación sobre materiales sensibles a disolventes apolares (como elementos sustentados con base de cera, látex o pintura acrílica).
- También hay que evitar su aplicación sobre elementos o sustratos sensibles al calor.

Como característica principal del CDD se encuentra la formación de una capa de protección en forma de película que funciona como barrera entre el elemento sustentado (y su soporte), y el medio disuelto. Esta capa presenta diferencias en función de la metodología de aplicación, y no suele ser homogénea.²⁷ [pág.125] La capa o film presenta diversidad de formas en cuanto a densidad y medida de la red de cristales que la conforman.²⁷

Otro factor de importancia es la temperatura. Según Salvador Muñoz Viñas, catedrático en conservación y restauración de la Universidad Politécnica de Valencia, está relacionada con la eficacia de la capacidad impermeabilizante, por una relación directa entre los dos factores: a temperatura más alta (90 °C), más líquido es el CDD, y más penetra entre los poros del papel. En cambio, otra consecuencia directa es la dificultad en su aplicación controlada. Por contra, a temperaturas más bajas, el CDD se enfría y se solidifica antes,

facilitando el control y la precisión en la zona aplicada, pero disminuyendo su función impermeabilizante.²⁸

En cuanto a las metodologías de aplicación del CDD hay tres tipos: el producto en formato sólido disuelto en un disolvente, el producto fundido, y finalmente como aerosol en espray. Se detallan a continuación algunas características, resumidas en la siguiente tabla.²⁹ **TABLA 1**

Características de las metodologías de aplicación del CDD:

CDD DISUELTO	<p>Con disolventes apolares (hidrocarburos aromáticos o alifáticos), habitualmente aplicado por impregnación con pincel.</p> <p>La capa de CDD que se consigue es muy fina y poco homogénea y requiere de la aplicación de varias capas.</p> <p>La sublimación es más rápida.</p>
CDD FUNDIDO	<p>La aplicación del material sólido (en gránulos) se hace con la incorporación de calor para fundir el CDD (a una temperatura superior a 60 °C).</p> <p>La película obtenida al aplicar el producto fundido por impregnación es más gruesa, densa y homogénea.</p> <p>La sublimación es más lenta que en disolución.</p>
CDD EN ESPRAY	<p>La aplicación en aerosol forma una capa muy fina de cristales globulares, con una densidad a medio camino entre la que proporciona el CDD fundido y en disolución.³⁰</p> <p>El disolvente presente en la composición disuelta es un propelente volátil que determina las propiedades de la capa.³¹</p> <p>Para acelerar la sublimación se pueden añadir disolventes como la nafta o el isoctano.³²</p>

³⁰ MUROS, V.; HIRX, J. "The Use of Cyclododecane...", p. 77.

³¹ KREMER PIGMENTE. *Cyclododecane-spray*. [En línea]. <<https://www.kremer-pigmente.com/elements/resources/products/files/87099e.pdf>> [Consulta: 8 mayo 2022].

³² BAGAN, R. "El ciclododecà i les seves...", p. 153.

²² PIOTROWSKI, K. "The effect of several paper...", p. 51.

²³ KREMER PIGMENTE. *Cyclododecane*. [En línea]. <<https://www.kremer-pigmente.com/en/shop/mediums-binders-glues/87100-cyclododecane.html>> [Consulta: 8 mayo 2022].

²⁴ NICHOLS, K.; MUSTALISH, R. "Cyclododecane in Paper Conservation Discussion". *The Book and Paper Group Annual*. Vol. 21 (2002), p. 84. Disponible en línea en: <<https://cool.culturalheritage.org/coolaic/sg/bpg/annual/v21/bpga21-17.pdf>> [Consulta: 10 diciembre 2022].

²⁵ KREMER PIGMENTE. *Cyclododecane-spray*. [En línea]. <<https://www.kremer-pigmente.com/en/shop/mediums-binders-glues/cyclododecane-volatile-binders/87099-cyclododecane-spray.html>> [Consulta: 8 mayo 2022].

²⁶ NICHOLS, K.; MUSTALISH, R. "Cyclododecane in Paper...", p. 82.

²⁷ MUROS, V.; HIRX, J. "The Use of Cyclododecane as a Temporary Barrier for Water-Sensitive Ink on Archaeological Ceramics during Desalination". *Journal of the American Institute for Conservation*. Vol. 43 (2004), nº 1, p. 75-89. Disponible en línea en: <<https://doi.org/10.2307/3179852>> [Consulta: 21 noviembre 2022].

²⁸ MUÑOZ VIÑAS, S. [et al.]. "The Influence of Temperature on the Application of Cyclododecane in Paper Conservation". *Restaurator*. Vol. 37 (2016), nº 1, p. 44. Disponible en línea en: <<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/res-2015-0013/html>> [Consulta: 21 noviembre 2022].

²⁹ NICHOLS, K.; MUSTALISH, R. "Cyclododecane in Paper...", p. 82.

EL SISTEMA DE DOBLE CAPA DE CDD Y PARALOID® B-72

Durante la realización del TFG se pudo profundizar en un mejor conocimiento del sistema bicapa gracias a una entrevista personal con su impulsor: Salvador Muñoz Viñas.

La comprobada capacidad hidrófuga del CDD queda comprometida cuando se producen grietas o craquelados en el material los cuales permiten que el agua se filtre y llegue al soporte que se ha de proteger. Al aplicar una capa gruesa de producto, y debido a la flexibilidad del papel y su expansión al humectarse, se pueden producir tensiones en el soporte y la capa de fijativo puede sufrir fragmentaciones o pequeñas roturas. ⁴ [pág.126]

Es por eso que Muñoz Viñas comenzó a experimentar en la combinación del CDD con otro producto que aportara la impermeabilización necesaria. Tenía que ser una sustancia flexible e impermeable, y que cubriera la superficie del CDD, aplicado fundido. El Paraloid® B-72 cumplía estos requisitos. ³³

La función del sistema bicapa es la de intervenir de manera segura y proteger los elementos sustentados solubles con riesgo de pérdida, frente a procesos de limpieza acuosa. La combinación del sistema permite unos resultados muy positivos en comparación con otros productos con función de fijativos que también se utilizan en el campo de la conservación-restauración. Por ejemplo, el Paraloid® B-72 por sí solo da problemas de reversibilidad y brillos en la superficie, así como la ciclometicona D5, que impermeabiliza la zona fijada, pero su aplicación no se puede realizar de forma precisa, ya que el producto tiende a expandirse por el soporte. ³⁴

Según Muñoz Viñas, se trata de una técnica sencilla que “combina la capacidad de impermeabilización del Paraloid® B-72 con la perfecta reversibilidad del CDD”, partiendo de la aplicación de una doble capa con las dos sustancias. ³⁵ Como se puede observar gráficamente, ⁵ [pág.127] la metodología de aplicación consiste en una primera capa gruesa de CDD (de unos 0,5 a 1 mm de grosor) sobre la cual, una vez seca, se aplica una capa fina de Paraloid® B-72. La aplicación del Paraloid® B-72 por impregnación con pincel se realiza dejando un pequeño margen (de unos 1-2 mm) respecto al contorno de la base de CDD, sin sobrepasar la capa de CDD. La película de Paraloid® B-72 formada tiene capacidad impermeabilizante aun siendo muy fina. ³⁶

Este procedimiento de protección localizada puede realizarse tanto por el anverso como por el reverso de la obra. De esta forma puede asegurarse que el agua no entre en contacto con los elementos gráficos o pictóricos solubles por la capilaridad del papel. ³⁷

En cuanto a la retirada de los dos productos, una vez realizado el proceso de limpieza húmeda, es sencillo. Cuando la capa de CDD ya ha empezado a evaporarse y a sublimar, la capa exterior de Paraloid® B-72 se desprende sola y la película formada se puede retirar sin dificultad.

Desde sus estudios iniciales de 2006 presentando las características del sistema bicapa, Muñoz Viñas ha continuado investigando sobre este método de fijación para llegar a conocer mejor su funcionamiento y prestaciones. ³⁸ Con la intención de refinar la técnica, el autor llevó a cabo un experimento con 300 probetas, donde se probaron proce-

dimientos de fijación por impregnación aplicando: CDD fundido, CDD disuelto en tricloroetileno, CDD disuelto en tricloroetileno y Paraloid® B-72 disuelto en acetona, Paraloid® B-72 disuelto en acetona, y finalmente el sistema bicapa de CDD fundido y Paraloid® B-72 en acetona. ³⁹ Los resultados de la fijación durante la inmersión en agua confirmaron la superioridad del sistema bicapa de CDD fundido y Paraloid® B-72 frente a otros procedimientos, en cuanto a protección e impermeabilidad de los elementos fijados. ⁴⁰

La conclusión final que se extrae es que el sistema bicapa es muy eficaz y fiable en su papel como fijativo, si se tiene en cuenta la aplicación correcta de las dos capas: es muy importante llegar a controlar bien la temperatura de aplicación del CDD y la capa de Paraloid® B-72 no ha de sobrepasar la superficie del CDD al que protege. Si la sobrepasa, puede adherirse al soporte y complicar su retirada, afectando a la integridad de la obra.

Se pueden resumir algunas ventajas e inconvenientes:

TABLA 2

Relación de ventajas e inconvenientes del sistema bicapa:

VENTAJAS	<p>Resuelve el problema de la impermeabilización de los elementos sustentados, ya que el Paraloid® B-72 sella las posibles fisuras que se crean en la capa de CDD.</p> <p>La aplicación del Paraloid® B-72 sobre el CDD, realizada de manera correcta, hace que su retirada sea segura.</p> <p>Una vez el CDD sublima, la capa fina de Paraloid® B-72 se separa del soporte con facilidad.</p>
INCONVENIENTES	<p>Su aplicación puede ser dificultosa en ciertos soportes o zonas de dimensiones muy reducidas, contribuyendo a que la aplicación de la bicapa no se realice correctamente.</p> <p>El principal problema del Paraloid® B-72, si no se aplica bien, es su poca reversibilidad. Si sobrepasa la capa de CDD, el producto puede penetrar y adherirse a las fibras de papel. Además, la capa de Paraloid® B-72 confiere un brillo a la superficie que se ha de acabar retirando (mecánicamente o con disolventes) con riesgo de daño para el bien. ⁴¹</p> <p>Otro inconveniente es la rigidez de la capa gruesa de CDD, que puede producir tensiones en el soporte durante la limpieza y secado posterior, ya que la zona fijada no es higro-expansiva como el resto de papel humedecido. ⁴²</p>

³³Declaraciones de Salvador Muñoz Viñas en la entrevista realizada por la autora de este artículo en febrero de 2022.

³⁴MUÑOZ VIÑAS, S. *La restauración del Papel*. Madrid: Editorial Tecnos, 2018, p. 224-226.

³⁵*Ibid*, p. 225.

³⁶MUÑOZ VIÑAS, S. “A Dual-Layer Technique for the Application of a Fixative on Water-Sensitive Media and Paper”. *Restaurator*. Vol. 28 (2007), nº 2, p. 86.

³⁷MUÑOZ VIÑAS, S. *La restauración...*, p. 226.

³⁸MUÑOZ VIÑAS, S.; AURÍA, T. “La impermeabilización bicapa de ciclododecano y Paraloid: una nueva técnica para la protección de tintas solubles durante tratamientos acuosos”. En: *Actas del XVI Congreso Internacional de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*. Valencia: Editorial UPV, 2006, p. 551-559.

³⁹MUÑOZ VIÑAS, S. “A Dual-Layer Technique...”, p. 82.

⁴⁰*Ibid*, p. 91.

⁴¹*Ibid*, p. 79.

⁴²*Ibid*, p. 91.

⁴³ Encuesta realizada por la autora del artículo para su TFG en la que se seleccionó a 20 profesionales del sector pertenecientes a instituciones (de ámbito público y privado), a talleres de restauración privados, y profesionales autónomos. La mayoría de participantes eran de Cataluña (12), pero también hubo participación a nivel estatal (5) e internacional (3).

⁴⁴ La estampa intervenida forma parte de la serie *Vedute di Roma*, formada por ciento treinta y cinco planchas. En la edición trilingüe del catálogo razonado de Ficacci aparece con el número 953. Ver: FICACCI, L. *Giovanni Battista Piranesi. Catálogo completo de grabados*. Colonia: Taschen, 2001, p. 731.

USO DEL CDD EN CONSERVACIÓN-RESTAURACIÓN DE DOCUMENTO GRÁFICO

ENCUESTA A PROFESIONALES DE LA CONSERVACIÓN-RESTAURACIÓN DE DOCUMENTO GRÁFICO

En enero de 2022 se realizó una encuesta sobre el uso del sistema bicapa de CDD y Paraloid® B-72 a diferentes talleres de conservación-restauración de documento gráfico.⁴³ Su finalidad era averiguar si conocían el CDD y si utilizaban el sistema bicapa como consolidación temporal. El dato que más sorprendió fue que el uso del sistema bicapa estaba menos extendido de lo que previamente se había pensado, y que la principal razón para no utilizarlo era, en gran medida, porque los profesionales encuestados no realizaban habitualmente tareas de fijación de elementos sustentados solubles.

Una de las razones para no aplicar el sistema bicapa era el desconocimiento de la técnica (35% de las respuestas), seguido de otros motivos como: no disponer de tiempo para probarlo (14%), no haber tenido necesidad de usarlo, no disponer de CDD en el taller, o haber obtenido resultados negativos (en dos de los encuestados). Los resultados negativos, en sus experiencias, se centran en que se trataba de un proceso lento, y que en alguna ocasión se habían producido fisuras sobre la bicapa, empeorando la problemática de la solubilidad del elemento sustentado; y que no gustaba el resultado final de la zona protegida en relación con la zona adyacente.

REVISIÓN DE CASOS PRÁCTICOS EN LA ESPECIALIDAD DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE DOCUMENTO GRÁFICO EN LA ESCRBC

Desde el año 2011, el CDD es uno de los productos con los que se ha experimentado para la fijación de elementos solubles en agua en procesos posteriores de limpieza acuosa, en la asignatura *Teoría y práctica de la conservación y restauración del documento gráfico* de tercer curso de la ESCRBC, tanto en probetas de prácticas como en intervenciones de obra real en soporte celulósico.

Uno de los ejercicios del currículum de la asignatura es la práctica del proceso de fijación mediante unas probetas en las que se ensayan los siguientes productos: Paraloid® B-72 al 5% en acetona; bicapa de CDD y Paraloid® B-72 al 25% en acetona; ciclotimona D5; y ciclotimona D5 y capa de KSG® 350 Z. Una vez escogidos, se efectuaron las correspondientes pruebas de solubilidad.

En la práctica realizada durante el curso 2020-2021, se comprobó que todos funcionaban en limpiezas acuosas, pero con ciertas diferencias respecto a efectividad y reversibilidad: **TABLA 3**.

En estas probetas, el sistema de fijación que más convenció fue el formado por la bicapa de CDD con Paraloid® B-72 al 25% en acetona.

INTERVENCIONES ENTRE 2011 Y 2020

Encontramos diferentes experiencias respecto al uso del CDD detalladas a continuación: **TABLA 4**.

INTERVENCIÓN DEL GRABADO DE PIRANESI (AÑO 2021)

Una vez realizadas las probetas de fijación (con la elección del sistema bicapa de CDD con Paraloid® B-72 al 25% en acetona), y habiendo revisado las experiencias anteriores, se procedió a intervenir la siguiente obra: Registro de taller DG/3/03/906. Obra del artista y grabador italiano Giovanni Battista Piranesi (1720-1778), una estampa realizada con la técnica del aguafuerte (técnica de grabado calcográfico de acción indirecta) de gran formato (dimensiones 51,2 x 71,2 cm). Representa una imagen arquitectónica con el título "Veduta interna del Pronao del Panteon" (vista interna del pronaos del Panteón) y un texto descriptivo en italiano del edificio de Roma.⁴⁴ La obra pertenece a la colección personal del profesor Jordi Vila Colldeforns. **6** y **7** [pág.130]

En cualquier procedimiento de restauración, lo primero que se ha de tener en cuenta es el criterio de la mínima intervención: el tratamiento ha de ser el mínimo y necesario para favorecer a la estabilidad del bien y su posterior conservación. Un reconocimiento inicial exhaustivo sobre la obra sirve para valorar los posibles riesgos en la intervención, y también las ventajas derivadas de ella.

Después de la revisión del grabado y del correspondiente examen organoléptico y las pruebas físico-químicas realizadas, se decide que la obra requiere ser intervenida para poderla estabilizar a nivel físico-químico (para evitar procesos de oxidación y acidificación del soporte y de los elementos sustentados) y también a nivel físico-mecánico, para reforzar las zonas del soporte dañadas. La obra se caracteriza por la presencia de elementos sustentados coloreados solubles en agua, que plantean la necesidad de su fijación antes de realizar la limpieza húmeda.

Los pasos previos de la propuesta de intervención que se siguen son: retirada de una cinta de papel con adhesivo en la parte central del reverso (con goma xantana, gel Vanzan® NF-C al 4% en agua desionizada); limpieza mecánica en seco (con pincel y goma vulcanizada Art Sponge® y esponja de maquillaje suave); y corrección de pliegues y dobleces (con plegadora de hueso y espátula de bambú).

Detallamos los pasos que conforman la fijación y posterior limpieza de la obra en la **TABLA 5**.

El resto de pasos de la intervención son los siguientes: **TABLA 6**.

TABLA 3

Resumen de los resultados de las probetas de fijativos previas a la intervención del grabado:

PARALOID® B-72	CDD	CICLOMETICONA D5
Fija los elementos sustentados después de aplicar muchas capas, pero no es reversible, ya que deja la superficie brillante.	Totalmente efectivo en cuanto a fijación y reversibilidad, pero necesita ser complementado con una capa de Paraloid® B-72 para reforzar la impermeabilización del CDD (para que no se craquele).	No fija por sí sola todos los elementos sustentados y requiere de la aplicación de una capa de silicona gelificada KSG® 350Z por encima.

TABLA 4

Resumen de resultados de las intervenciones del taller de tercer curso de la especialidad de Documento Gráfico de la ESCRBC:



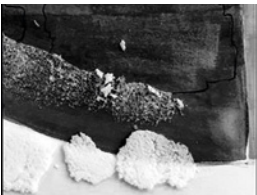

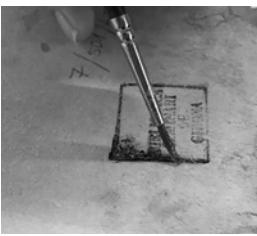




ELEMENTO SUSTENTADO	OBRA	SISTEMA DE LIMPIEZA / MÉTODO DE APLICACIÓN	RESULTADO
<p>a. Carboncillo</p> 	<p>Obra DG/3/3/700 Retrato a carboncillo de los años 60 intervenido por la alumna Carolina González (curso 2011-2012). Presenta alteraciones estéticas de color, manchas y oxidación debido a la degradación y envejecimiento de la goma laca que protege los elementos sustentados.</p>	<p>Aplicación de CDD en spray en reservas en las zonas de carboncillo más intensas.</p> <p>Limpieza de la goma laca por polvorización de alcohol sobre mesa de succión.</p>	<p>Positivo: Protege los elementos sustentados.</p> <p>El producto en spray sublima bien.</p>
<p>b. Sello en diploma</p> 	<p>Obra DG/3/3/728 Diploma de la colección del <i>Arxiu Diocesà de Girona</i> intervenido por la alumna Anna Ferran (curso 2013-2014). Se protegen los restos de adhesivo de un sello de papel del anverso del diploma con el sistema bicapa de CDD y Paraloid® B-72.</p>	<p>Aplicación por impregnación con sistema bicapa de CDD y Paraloid® B-72 al 25% en acetona.</p> <p>Limpieza húmeda por inmersión.</p>	<p>Negativo: Buena limpieza y correcta sublimación del CDD, pero el adhesivo queda polvorizado sobre el soporte.</p>
<p>c. Litografía</p> 	<p>Obra DG/3/3/737 Litografía coloreada con acuarela (o gouache) y zonas con pinceladas de goma para aportar brillo a la obra. Intervenida por la alumna Aurora Pérez (curso 2013-2014), y presentación del TFG en 2016: "Les Femmes Cosmopolites".</p>	<p>Aplicación del CDD en spray y por impregnación con sistema bicapa de CDD y Paraloid® B-72 al 25% en acetona.</p> <p>Diversas pruebas con sistemas de limpieza por humectación.</p>	<p>Negativo: Resultados buenos de la acuarela en inmersión, pero no se fijan las pinceladas de goma. En la obra original no se aplicó CDD.</p>
<p>d. Sello en grabado</p> 	<p>Obra DG/3/3/763 Grabado de la colección del <i>Museu de Terrassa</i> intervenido por la alumna Regina Heinz (año 2015). Sello con tinta azul soluble en agua situado en el centro del reverso del grabado.</p>	<p>Aplicación por impregnación con sistema bicapa de CDD y Paraloid® B-72 al 25% en acetona.</p> <p>Limpieza húmeda por inmersión.</p>	<p>Negativo: Aplicación incorrecta de la capa de Paraloid® B-72 sobre el CDD. La mancha de suciedad se hace evidente por el anverso.</p>
<p>e. Sello en grabado</p> 	<p>Obra DG/3/3/862 Grabado intervenido por la alumna Anna Herrezuelo (curso 2019-2020). Sello soluble en agua en el reverso de la obra.</p>	<p>Aplicación por impregnación con capa de CDD al 10% en isoctano, combinado con capa de Paraloid® B-72 al 25% en acetona.</p> <p>Limpieza acuosa por capilaridad con Sontara®.</p>	<p>Positivo: La tinta del sello se protege durante la limpieza por humectación y no sufre ninguna alteración.</p>

TABLA 5

Procedimiento de fijación con el sistema bicapa de CDD y Paraloid® B-72, y de limpieza del grabado:

FIJACIÓN DE ELEMENTOS SUSTENTADOS SOLUBLES:	
<p>Procedimiento: Por impregnación, localizado en el anverso y reverso sobre los colores rojo, verde y amarillento.</p> <p>Materiales y productos utilizados: Pinceles, CDD (hidrocarburo cíclico saturado) y Paraloid® B-72 al 25% en acetona. Melinex® para proteger el soporte.</p>	
<p>Se recortan unas ventanas en la hoja de Melinex® alrededor de los elementos sustentados solubles donde se aplicará la fijación por impregnación del sistema bicapa.</p> <p>Se prepara la zona de trabajo con una lámpara de luz de tungsteno de 3200 K (a 30 °C) para mantener la temperatura ambiente más alta y que el CDD no solidifique tan rápido al aplicarlo sobre el soporte. El CDD se mantiene fundido en un recipiente, dentro de un aparato de baño termoestático, alrededor de los 65 °C. Su aspecto es ceroso, y crea una capa bastante gruesa, que se seca muy rápido. Se empieza por el reverso, para crear una barrera física y evitar que el agua penetre por debajo y solubilice las tintas solubles durante la limpieza por humectación. A continuación, se aplica la capa de Paraloid® B-72 sobre el CDD.</p> <p>Se tapa el reverso con Melinex® y metacrilato y al día siguiente se realizan los mismos pasos en el anverso del grabado (en este caso se aumenta la temperatura del CDD fundido a 70 °C). A mayor temperatura, el producto no se seca tan rápido sobre el pincel y, al ser más líquido, la aplicación parece más fácil. Una vez aplicado el CDD, se procede a pincelar por encima el Paraloid® B-72, intentando también no sobrepasar los márgenes de la capa de base de CDD. Es difícil porque hay zonas de aplicación muy pequeñas (figuras de color rojo).</p>	
RELAJACIÓN DEL GRABADO POR NEBULIZACIÓN EN MESA DE BAJA PRESIÓN:	
<p>Metodología de humectación para relajar el soporte y evitar tensiones antes de la limpieza húmeda por capilaridad-difusión. La obra se sitúa en el centro de la mesa, sobre una madera para evitar movimientos, y sobre un soporte elevado (una rejilla de fluorescente). Se delimita con plásticos la zona de trabajo para hacer succión. Al cerrar la cúpula se genera un espacio con humedad relativa controlada: se inicia a 50% de HR y se sube hasta 75%-80%. Se deja un tiempo total de 40 minutos.</p>	
LIMPIEZA CON HUMECTACIÓN:	
<p>Procedimiento: Por capilaridad-difusión con Sontara® de Dupont (tejido no tejido absorbente), en posición inclinada.</p> <p>Materiales y productos utilizados: Con <i>buffer</i> de citrato sódico a pH 6 con la conductividad ajustada a la conductividad del documento máximo 10x.</p>	
<p>La estampa se coloca en posición horizontal en la parte central de la bayeta de Sontara® (previamente la bayeta se ha humectado por vaporización con Dahlia® con el mismo <i>buffer</i> de citrato sódico a pH 6). El líquido pasará de la cubeta superior a la inferior por capilaridad, permitiendo que el grabado se limpie sin afectar a las tintas solubles del anverso (previamente fijadas).</p> <p>Se aplican bandas recortadas de Sontara® impregnadas en <i>buffer</i> por el anverso de la obra para ayudar en la limpieza y en la retirada de la acidez del documento. Se comprueba que no perjudican a las tintas del grabado y se elimina suciedad por contacto con el soporte. El proceso de limpieza dura 1 hora 30 minutos y, cuando el líquido pasa por debajo del documento, arrastra la suciedad superficial.</p>	

TABLA 6 Relación de procedimientos realizados en la parte final de la intervención del grabado:

DESACIDIFICACIÓN:	
<p>Por capilaridad-difusión con Sontara® de Dupont (inclinado). Con hidróxido cálcico semi-saturado en H₂O desionizada.</p> <p>El pH de la obra se encuentra a 5,3. La cubeta superior se llena de hidróxido cálcico semi-saturado en H₂O desionizada para que pase a través del Sontara® y de la obra. Se acelera el proceso humectando el metacrilato con una paletina para que el soporte se impregne un poco por el reverso. Se deja actuar durante 2 horas 15 minutos hasta llegar a pH 7.</p>	
SECADO:	
<p>Se retira el Sontara® húmedo lentamente para evitar dañar el soporte y se pone un secante sobre el reverso. Se le da la vuelta con cuidado y se traslada al secador de artes gráficas. Se seca por oreo para que el hidróxido cálcico se transforme en carbonato cálcico en contacto con el oxígeno y quede protegido con una reserva alcalina. Se acelera el secado con un secador con aire frío. Se cambia el secante para evitar tensiones y se deja hasta el día siguiente.</p>	
RETIRADA DE CAPA DE PARALOID® B-72 DEL REVERSO Y DEL ANVERSO:	
	<p>Con bisturí y pinzas de relojero. Se sitúa la obra bajo un foco de luz de tungsteno para ayudar a la sublimación del CDD (se regula la temperatura a unos 30 °C).</p> <p>Primero se retira el Paraloid® B-72 del reverso, la capa es un plástico muy fino y se desprende con facilidad en la mayoría de zonas. Algunas partes requieren del bisturí para retirar fragmentos demasiado adheridos (bordes en los que no hay CDD), y en alguna zona se fuerza un poco la fibra de papel del soporte.</p>
	<p>En el anverso, la retirada de Paraloid® B-72 es muy delicada. La capa es más gruesa en ciertas zonas y se quita con dificultad: se ha adherido al soporte y con el bisturí se dañan algunos detalles gráficos de la estampa. Después de probar la retirada mecánica sin éxito se decide aplicar acetona, por impregnación (previamente se hace una prueba de solubilidad de las tintas). La capa de Paraloid® B-72 adherida se reblandece y se retira con un hisopo con facilidad sin dañar los elementos sustentados ni el soporte.</p>
CONSOLIDACIÓN DEL SOPORTE:	
	<p>Se selecciona el reverso para consolidar desgarros y agujeros. Con engrudo de almidón de trigo a 1/3 en agua desionizada y papeles japoneses: Sekishu Extra Thick de 30 g/m², Sekishu Extra Thin de 10 g/m² y papel filtro teñido.</p>
REINTEGRACIÓN CROMÁTICA:	
	<p>Con lápices de colores acuarelables, acuarelas y pasteles. Se sigue el criterio de mínima intervención, para disimular las pérdidas de color más graves que alteran zonas del centro de la estampa con erosiones del soporte preexistentes, y otras pocas ocasionadas por la retirada mecánica del Paraloid® B-72 de las zonas fijadas con el sistema bicapa.</p>

⁴⁵ CSGI. *Nanorestore Gel® Dry Technical Sheet*. [En línea]. <https://www.csgi.unifi.it/products/downloads/geldry_ts_eng.pdf> [Consulta: 20 noviembre 2022].

⁴⁶ Fichas técnicas y de seguridad con información traducida al inglés del estudio sobre los consolidantes temporales volátiles publicado en alemán en 1995 por HANGLEITER, H.M.; JÄGERS, E.; JÄGERS, E. Disponible en línea en: KREMER PIGMENTE. *Cyclododecane-spray*. [En línea]. <<https://www.kremer-pigmente.com/en/shop/mediums-binders-glues/cyclododecane-volatile-binders/87099-cyclododecane-spray.html>> [Consulta: 8 mayo 2022].

⁴⁷ BRÜCKLE, I. [et al.]. "Cyclododecane: Technical Note on Some Uses in Paper and Objects Conservation". *Journal of the American Institute for Conservation*. Vol. 38 (1999), nº 2, p. 170-172. Disponible en línea en: <<https://cool.culturalheritage.org/jaic/articles/jaic38-02-004.html>> [Consulta: 10 diciembre 2022].

⁴⁸ MUROS, V.; HIRX, J. "The Use of Cyclododecane...", p. 75-89.

⁴⁹ ANSELM, C. [et al.]. "A non-invasive investigation of cyclododecane kinetics in porous matrices by near-infrared spectroscopy and NMR in-depth profilometry". *Journal of Cultural Heritage*. Vol. 16 (2015), p. 151-158.

⁵⁰ DÍAZ-MARIN, C. [et al.]. "Cyclododecane as opacifier for digitalization of archaeological glass". *Journal of Cultural Heritage*. Vol. 17 (2016), p. 131-140.

⁵¹ CHEN, X. [et al.]. "Studies of internal stress induced by solidification of menthol melt as temporary consolidant in archaeological excavations using resistance strain gauge method". *Heritage Science*. Vol. 68 (2020), nº 8. Disponible en línea en: <<https://doi.org/10.1186/s40494-020-00414-y>> [Consulta: 10 diciembre 2022].

⁵² BROWN, M.; DAVIDSON, A. "The use of Cyclododecane to protect delicate fossils during transportation". En: *Journal of Vertebrate Paleontology*. Vol. 30 (2010), p. 300-303. Disponible en línea en: <https://www.researchgate.net/publication/232668417_The_Use_of_Cyclododecane_to_Protect_Delicate_Fossils_During_Transportation> [Consulta: 10 diciembre 2022].

⁵³ PAPINI, G. "Evaluation of the effects of cyclododecane on oil paintings". *International Journal of Conservation Science*. Vol. 9 (2018), nº 1, p. 105-116. Disponible en línea en: <http://ijcs.ro/public/IJCS-18-09_Papini.pdf> [Consulta: 10 diciembre 2022].

⁵⁴ BONNAT, M. *Cyclododecane as temporary protection on distemper wall paintings prior to plaster consolidation: the temple restoration project in Sikkim* [póster]. En: ROZEIK, C. (coord.). *Subliming Surfaces: Volatile Binding Media in Heritage Conservation*. Cambridge: University of Cambridge Museums, 2018.

Después de la experimentación con el sistema bicapa se pueden extraer algunas conclusiones sobre la intervención:

Se comprueba que el CDD sublima en un plazo de cinco semanas y se corrobora que resulta un producto totalmente reversible.

La aplicación del CDD fundido en el anverso (a una temperatura más alta, 70 °C) supuso una mejora en cuanto a facilidad de aplicación: la consistencia era más líquida, y la capa cerosa era más fina. Por contra, su perímetro no era tan visible. Se deduce que la aplicación posterior de Paraloid® B-72 sobre el anverso no resultó correcta. En ciertas zonas muy pequeñas, como las tratadas en esta intervención, la capa de Paraloid® B-72 se aplicó en exceso sobrepasando la superficie de CDD.

En este sentido, la parte más problemática del sistema bicapa radica en la retirada del Paraloid® B-72 (adherido al papel y a los elementos sustentados). Una vez comprobado que la retirada mecánica afectaba al soporte celulósico y erosionaba los elementos gráficos de la estampa, se decidió la eliminación del Paraloid® B-72 con disolvente. ⁸ y ⁹ [pág.135]

Otro efecto no deseado, pero totalmente inevitable, es el de las zonas oscuras visibles en el reverso de la obra, ¹⁰ [pág.135] en las zonas protegidas con el sistema bicapa. Este efecto negativo se ha de tener en cuenta antes de comenzar este tipo de tratamiento para valorar si conlleva un resultado estético demasiado perjudicial para el bien.

Durante el mes de noviembre de 2022 se realizaron pruebas de limpieza del grabado con nano-geles, para intentar mejor-

rar las zonas del reverso donde la limpieza no actuó a causa de la fijación. Se utilizó Nanorestore Gel® Dry (un gel químico con base acuosa con un alto nivel de retención de líquidos, que rebaja los niveles de humectación en obras sensibles a tratamientos acuosos).⁴⁵ Se aplicaron por contacto tres muestras en zonas localizadas, en franjas de tiempo de 10 minutos (hasta llegar a los 30-40 minutos). Se puede observar en una de las zonas de prueba ¹¹ [pág.136] cómo el gel adquiere un color amarillento al absorber la suciedad. ¹² [pág.136] A pesar de la calidad retentiva del gel, en exposiciones largas como las realizadas en este test, hay riesgos como: la creación de nuevas aureolas ¹³ [pág.136] y que la humedad que traspasa por capilaridad hacia el anverso de la obra afecte a los elementos sustentados solubles.

OTROS USOS DEL CDD EN CONSERVACIÓN-RESTAURACIÓN

Sus características como fijativo, con propiedades hidrófugas, inocuo para las obras, compatible con otros materiales, de baja o nula toxicidad, y su capacidad de sublimar a temperatura ambiente, han permitido que el CDD se sitúe entre los consolidantes temporales volátiles más utilizados por los conservadores.⁴⁶

Uno de los primeros usos sobre los que se encuentra bibliografía es en el ámbito arqueológico, en la realización de moldes y réplicas de piezas, para el estudio, la restauración o para museos. Se propuso su aplicación como barrera aislante para evitar las manchas que provocan los aceites de las siliconas de los moldeados sobre substratos porosos.⁴⁷ El uso como barrera temporal en tintas sensibles al agua en cerámicas arqueológicas se puso en práctica a partir de estudios sobre la fijación en papel. A partir de pruebas con apósitos sobre objetos modernos en terracota, el CDD fue efectivo parcialmente.⁴⁸

La investigación científica sobre las propiedades del CDD se ha desarrollado con técnicas de análisis no invasivas como la espectroscopia reflectante de infrarrojos (FT-NIR) y las técnicas NMR.⁴⁹ En arqueología se ha propuesto su uso en la digitalización en 3D de objetos de vidrio, al ser un producto reversible, y que no interfiere en la precisión de las lecturas de los escáneres.⁵⁰

Actualmente, se utiliza como material de refuerzo en excavaciones arqueológicas, substituyendo a otros materiales como el yeso, polímeros sintéticos o resinas epoxi. El CDD y otros compuestos volátiles como el mentol ocupan esta función debido a la ausencia de residuos.⁵¹ En paleontología resulta apto para el transporte de restos fósiles, ya que protege y estabiliza las piezas de los movimientos. La capa de CDD no sublima hasta días después de su llegada a destino.⁵²

El uso del CDD en conservación-restauración de pintura se aplica a muchos procedimientos. Un estudio sobre el comportamiento físico de las capas de pintura sobre lienzo, evalúa los efectos en pinturas al óleo.⁵³ Un caso de su uso protector se encuentra en la conservación de pinturas murales en templos, para evitar el contacto con las capas de yeso aplicadas para consolidar las estructuras de los muros, dañadas por vibraciones de terremotos.⁵⁴

CONCLUSIONES

Durante los procesos de fijación de elementos sustentados solubles (con el sistema bicapa de CDD y Paraloid® B-72) y de limpieza húmeda utilizada (por capilaridad-difusión con

Sontara®) se comprueba de primera mano la técnica de aplicación de fijativos por impregnación. Los resultados obtenidos confirman los pros y los contras de este procedimiento.

La afirmación sobre la reversibilidad del CDD se cumple. La propiedad de sublimar lo hace un producto adecuado para la conservación-restauración de bienes culturales. Se han revisado sus propiedades y se ha hablado de la polémica cuestión de su toxicidad, concluyendo que una utilización con las correspondientes medidas de seguridad no supone ningún riesgo (aunque este tema sigue pendiente de una revisión más completa).

Por lo que respecta a su versatilidad, el CDD es claramente utilizado en la actualidad en muchas aplicaciones de conservación-restauración de arte, como protección temporal y fijación, en el revestimiento para el transporte de obras, y otros usos en muchas ramas como la arqueología o la pintura, así como en la investigación científica de sus prestaciones e interacciones sobre el material patrimonial.

En la especialidad de Conservación y Restauración de Documento Gráfico, el CDD utilizado como fijativo funciona muy bien, principalmente en elementos sustentados como tintas y procedimientos pictóricos acuosos. No se utiliza para material frágil que se pueda polvORIZAR. El CDD es uno más de los productos fijativos que se utilizan en los talleres de conservación-restauración, pero no el principal. Además, se constata que la mayoría de talleres consultados no suele efectuar procedimientos de fijación, al tratarse de una intervención con riesgos.

Uno de los riesgos ya mencionados es el de la permanencia de la suciedad en la zona fijada (como se ha visto en algunos casos intervenidos en el laboratorio de tercer curso de la especialidad de Conservación y Restauración de Documento Gráfico de la ESCRBC). Independientemente de la reversibilidad del procedimiento utilizado, todo lo que se fija sobre la obra lo hace a todos los niveles.

Es necesario establecer estudios exhaustivos individuales sobre las obras y los procedimientos propuestos, y conocer los materiales que participan en un proceso de intervención. El sistema de limpieza con humectación por capilaridad-difusión utilizado en la intervención del grabado de Piranesi implica la limpieza por contacto desde el reverso. A posteriori, con los resultados de erosión sufridos en algunas zonas de la estampa (debido a la retirada mecánica de los restos de Paraloid® B-72 adheridos sobre el soporte), se podría haber pensado en una opción alternativa en el tratamiento de esta pieza.

Sobre las dificultades encontradas en la experiencia personal con el sistema, se deberían hallar algunas respuestas. La conclusión principal que se extrae del uso del sistema bicapa en la intervención del grabado de Piranesi es que su punto débil radica en la aplicación incorrecta del Paraloid® B-72. Su empleo requiere de experiencia y de un dominio preciso para impregnar el producto sin sobresalir de la capa inferior de CDD.

Se coincide en el hecho de que el CDD es un producto idóneo para este procedimiento. Quizás se debería centrar en él, hacer pruebas de manipulación de una pieza de grandes dimensiones para evitar que el CDD se craquele, o estudiar si se craquele tanto como para provocar el paso del agua, y

requerir del uso del Paraloid® B-72. Un campo de investigación futuro a considerar podría ser el de la incorporación de nuevos tipos de siliconas gelificadas (como el KSG® 350Z), para combinar con el CDD, como opción al Paraloid® B-72.

IMÁGENES

PORTADA Detalle del proceso de fijación de elementos sustentados donde se aprecia la aplicación por impregnación de ciclododecano fundido en el anverso del grabado de Giovanni Battista Piranesi (Fotografía: Cristina Gallego).

1 y **2** Estructura química del ciclododecano en 2D y modelo de estructura química en 3D (Figura: NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. *PubChem Compound Summary for CID 9268, Cyclododecane*. [En línea]. <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Cyclododecane>> [Consulta: 20 noviembre 2022]).

3 Imagen microscópica a 25x y luz polarizada en ángulo de 57°, donde se ven las diferencias en las capas aplicadas con CDD en disolución: en la izquierda, los cristales alargados formados después de la evaporación del disolvente; y a la derecha, red de cristales más uniforme formados en la capa de CDD fundido (Fotografía: BRÜCKLE, I. [et al.]. "Cyclododecane: Technical Note on Some Uses in Paper and Objects Conservation". *Journal of the American Institute for Conservation*. Vol. 38 (1999), nº 2, p. 166. Disponible en línea en: <<https://cool.culturalheritage.org/jaic/articles/jaic38-02-004.html>> [Consulta: 20 noviembre 2022]).

4 Detalle de una capa de CDD fundido craquelada. © Salvador Muñoz Viñas (Fotografía: MUÑOZ VIÑAS, S. "A Dual-Layer Technique for the Application of a Fixative on Water-Sensitive Media and Paper". *Restaurator*. Vol. 28 (2007), núm. 2, p. 80).

5 Representación del sistema bicapa de CDD y Paraloid® B-72. © Salvador Muñoz Viñas (Figura: MUÑOZ VIÑAS, S. *La restauración del Papel*. Madrid: Editorial Tecnos, 2018, p. 225).

6 y **7** Imágenes del anverso y el reverso de la obra, antes de su intervención (Fotografía: Cristina Gallego).

8 y **9** Imágenes del anverso y el reverso de la obra, después de su intervención (Fotografías: Cristina Gallego).

10 Detalle del anverso de la obra, después de su intervención (Fotografía: Cristina Gallego).

11 - **13** Detalles del reverso del grabado durante las pruebas de limpieza con nano-geles realizadas en la ESCRBC. Arriba: fotografía inicial de la zona antes de la aplicación. En el centro, detalle del nano-gel Nanorestore Gel® Dry con suciedad superficial adherida en la zona húmeda donde se aplicó. Abajo, imagen final con la zona tratada: se ha rebajado la intensidad de la suciedad pero, además, se ha creado una nueva aureola (Fotografías: Cristina Gallego).

BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS ELECTRÓNICOS

FICACCI, L. *Giovanni Battista Piranesi. Catálogo completo de grabados*. Colonia (Alemania): Taschen, 2001.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. *PubChem Compound Summary for CID 9268, Cyclododecane*. [En línea].

<<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Cyclododecane>> [Consulta: 28 octubre 2022].

ROZEIK, C. "Volatile binding media: the first 20 years... and beyond". En: ROZEIK, C. (coord.). *Subliming Surfaces: Volatile Binding Media in Heritage Conservation*. Cambridge: University of Cambridge Museums, 2018, p. 1-15. Disponible en línea en: <<https://doi.org/10.17863/CAM.34055>> [Consulta: 9 diciembre 2022].

VIVES PIQUÉ, R. *Guía para la identificación de grabados*. Madrid: Arca/Libros-La Muralla, 2015.

VÍDEOS

Podéis acceder al enlace siguiente con vídeos sobre la retirada del Paraloid® B-72 (mecánicamente y con acetona), y posterior retoque cromático:

<<http://www.incrisart.com/article-unicum>>.

