



El ciclododecano y sus aplicaciones en conservación-restauración

El uso de nuevos productos en conservación-restauración comporta una adquisición constante de conocimientos sobre sus características y resultados. Este artículo pretende dar a conocer las propiedades y las posibilidades de utilización del ciclododecano (CCD) –utilizado en Alemania desde mediados de la década de los noventa–, un fijativo y consolidante temporal volátil aplicable en tratamientos de diversas especialidades.

Ruth Bagan Pérez. Diplomada en Conservación y Restauración de Pintura por la ESCRBC. ruth.bagan@gmail.com

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Químicamente, el ciclododecano es una sustancia orgánica, un hidrocarburo cíclico saturado (todos los enlaces carbono-carbono son simples), que pertenece a la familia de los cicloalcanos. Los cicloalcanos son hidrocarburos simples en los que los átomos de carbono están unidos formando un anillo, por tanto de cadena cerrada. Se trata de uno de los más estables de su familia. Su fórmula es la siguiente: $C_{12}H_{24}$.

Se trata de una sustancia sólida y blanquecina, en forma de cristales, de aspecto ceroso, químicamente estable e inerte. La principal característica y lo que lo hace más atractivo como fijativo y consolidante temporal es su capacidad de sublimar (pasar de estado sólido a gaseoso sin pasar por líquido) a temperatura ambiente, gracias a su elevada presión de vapor. Las propiedades fisicoquímicas se detallan a continuación:

Punto de fusión:	58 – 61° C
Punto de ebullición:	60 – 90° C
Presión de vapor:	0,073 h Pa (20° C)
Peso específico:	0,83 kg/dm ³
Solubilidad:	soluble en disolventes apolares insoluble en agua, etanol, acetona y otras sustancias medianamente polares

Su aplicación sobre cualquier superficie comporta que deba calentarse previamente para fundirlo, o bien disolverlo en alguna sustancia no polar. Su punto de fusión, que ronda los 60° C, lo hace aplicable sobre numerosas obras de arte. Una vez aplicado se enfría rápidamente, formando una capa más o menos opaca de aspecto ceroso, que desaparece a medida que sublima el material (el tiempo de sublimación varía en función de la disolución, del método de aplicación, de la porosidad del sustrato y de las condiciones ambientales).

El ciclododecano se puede adquirir en dos presentaciones: de forma sólida en envases de un kg (sustancia sólida granulada) y en aerosol (spray de 400 ml). La empresa que lo comercializa para su uso en conservación-restauración es Kremer Pigmente.¹

HISTORIA DEL PRODUCTO

La idea de usar el ciclododecano en tratamientos de conservación-restauración surgió en 1995 en Alemania, de la mano de Hans Michael Hangleiter, junto con Elisabeth y Erthard Jägers. La búsqueda de un agente que se pudiera aplicar como consolidante y protector temporal durante ciertas intervenciones y que fuera fácilmente reversible, les condujo a una familia de productos, los hidrocarburos cíclicos.

El ciclododecano forma parte de un grupo de sustancias llamadas *volatile binding media* (consolidantes temporales volátiles), entre las cuales se

encuentra también el canfeno, el canfeno triciclono y el mentol. Todas ellas tienen en común que son hidrocarburos cíclicos inertes con la consistencia de una cera, tienen un punto de ebullición entre 35 y 65° C, una elevada presión de vapor y, por tanto, la capacidad de sublimar a temperatura ambiente, no dejando prácticamente residuos en el sustrato. Todas estas características los hacen adecuados como protectores y fijativos volátiles para procesos de conservación-restauración de obras de arte, o bien durante transportes y otras manipulaciones eventuales; sin embargo, no todos ellos han resultado ser óptimos para esta finalidad. Hans Michael Hangleiter, Elisabeth y Erthard Jägers² llevaron a cabo un estudio comparativo de los cuatro productos.

Todos ellos pueden aplicarse puros (fundidos) o bien disueltos en disolventes no polares (como los hidrocarburos saturados, los hidrocarburos halogenados o los éteres de petróleo). La sublimación, en todos ellos, se puede retardar si se escoge un disolvente con un punto de fusión elevado, si se aplica el producto fundido, o bien protegiendo el objeto de la exposición a altas temperaturas.

La velocidad de sublimación depende de la estructura molecular de cada uno de ellos: el ciclododecano y el mentol subliman bastante lentamente (0,04 mm/24 h), mientras que el canfeno y el triciclono tienen una presión de vapor elevada y subliman rápidamente, en pocas horas (0,4 mm/24 h), hecho que no los hace adecuados en aquellas ocasiones en las que se requiere un mayor tiempo de manipulación.

Por otro lado, una desaparición total del producto sólo se puede garantizar cuando no contienen aditivos. En este sentido, el canfeno, al no ser tan estable como el ciclododecano –es sensible a reacciones de oxidación–, se tiene que usar con un estabilizante. Este hecho comporta que ya no es del todo puro y, por tanto, no se puede asegurar que el sustrato quede libre de residuos una vez el producto ha sublimado.

Estas sustancias son fácilmente solubles en disolventes no polares, e insolubles en sustancias polares (etanol, isopropanol, agua y acetona), de ahí que sean adecuados como hidrofugantes y protectores durante algunos tratamientos como pueden ser ciertos procesos de limpieza. De todos ellos, el mentol es el que posee una estructura más polar, lo que lo hace parcialmente soluble en alcohol y otros disolventes polares, y por tanto, no es tan hidrofugante como los otros. Sin embargo, el mentol es el que tiene un poder adhesivo más elevado.

Por todos estos motivos, el estudio de Hangleiter y de Elisabeth y Erthard Jägers concluye que el ciclododecano es el más apropiado como fijativo y protector temporal para tratamientos de conservación-restauración. Además, éste es más fácil de obtener que otros cicloalcanos. De hecho, ha sido usado durante mucho tiempo en la industria química como aditivo para fragancias y para ceras sintéticas.

Desde ese primer estudio se han realizado pruebas de laboratorio sobre numerosos materiales para profundizar en el conocimiento de este producto, por lo que se refiere a sus posibilidades de aplicación, la formación de la capa y características de ésta, el tiempo de sublimación, el grado de penetración en el sustrato y la cantidad de residuos que deja.

POSIBILIDADES DE APLICACIÓN

El ciclododecano se puede aplicar directamente sobre la superficie del objeto a proteger aplicando una o varias capas de producto mediante el aerosol, sin necesidad de manipulación previa. La capa formada es como un polvo blanco, con la apariencia de nieve, que no penetra prácticamente en el sustrato –a excepción que éste tenga importantes fisuras o grietas. La principal ventaja de este sistema es que, como el producto se deposita en forma de polvo, no requiere contacto con el sustrato, hecho que lo hace muy adecuado en casos de levantamientos, pulverulencia, superficies con escamas, etc.

Cabe recordar también que la capacidad de sublimación del CCD hace innecesaria cualquier intervención posterior para retirar el producto una vez la obra ya ha sido trasladada o tratada. El ciclododecano también se puede aplicar puro, calentado previamente al baño María, con la ayuda de una espátula, un pincel o con algún tipo de instrumento adaptado que permita su fusión a medida que se lleva a cabo la aplicación. Un tercer método de aplicación es la disolución en disolventes no polares.

FORMACIÓN DE LA CAPA³

La manera como el CCD forma un film es comparable con un proceso de cristalización, aunque no forma una capa completamente uniforme, ni en el caso del aerosol, ni en el del CCD puro fundido, ni en el de una disolución saturada. Forma cristales en forma de agujas, de tamaño variable y más o menos próximos entre sí en función de la aplicación (aerosol, CCD puro fundido, CCD puro fundido con adición de disolvente, disolución saturada).

Así pues, hay que diferenciar entre los filmes formados a partir del producto aplicado con aerosol, el producto aplicado puro fundido y los filmes formados a partir de disoluciones. De la misma manera, la capa tendrá unas características específicas en función de diferentes factores: el método de aplicación, el tipo de disolvente escogido, la temperatura ambiente y las características del sustrato.

Como norma general hay que tener en cuenta que cuando más lento sea el descenso de la temperatura de la capa una vez aplicada, más distintiva y heterogénea será la red de cristales formada. En cambio, un enfriamiento más rápido tendrá como resultado un film homogéneo y más denso.

En las fotografías 4,5,6 y 7 se puede observar la diferencia entre la capa de cristales formada a partir del CCD en aerosol, con aspecto de polvo blanco; la capa formada a partir del producto puro fundido, una capa de aspecto ceroso y amorfo, sin cristales distinguibles; la capa de CCD con isoocetano (disolución saturada), con pequeños cristales y red cerrada; y finalmente la capa resultado de la aplicación del CCD con *white spirit* (disolución saturada), de cristales bastante más grandes que la anterior y trama más abierta.

TIEMPO DE SUBLIMACIÓN

El tiempo de sublimación está directamente relacionado con las características del film formado y con las condiciones ambientales que rodean la obra. Así pues, una capa de CCD puro fundido tardará más en desaparecer que una de CCD en disolución, y todavía más que la de aerosol. Mientras que sobre un sustrato nada poroso y en condiciones normales (a 20° C y sin corrientes de aire) una capa de 1 mm de CCD puro puede tardar 30 días en sublimar, una de aerosol puede sublimar en tan sólo 2 días. Aún así, existen métodos para controlar y retardar este proceso. Hay que sellar la superficie sobre la que se ha aplicado el CCD para evitar el contacto con el aire y así evitar la sublimación.

Esta operación se puede hacer metiendo el objeto dentro de una bolsa de plástico (aunque no cierre herméticamente también retardará la sublimación) si las dimensiones de la obra lo permiten, o bien sellando la superficie con algún tipo de papel metálico (de estaño o de aluminio) adherido al CCD. En el caso contrario, si se desea acelerar el proceso de sublimación, se puede hacer aumentando la temperatura, la ventilación o bien utilizando disolventes.

APLICACIÓN DEL CCD EN SPRAY

El aerosol que se comercializa se puede aplicar sobre prácticamente cualquier superficie: textiles, papel, madera, vidrio, metal, plástico, superficies barnizadas, etc. La principal ventaja de esta aplicación es que se evita cualquier contacto con la obra. La distancia desde la que se rocía es importante. A causa de la rápida velocidad de evaporación

del disolvente utilizado, el CCD precipita en un estado sólido amorfo bastante rápido (se usa como propulsor una mezcla de metano-butano, ambos extremadamente volátiles), que acumulado, construye la capa. Por este motivo, es recomendable que la distancia entre el spray y la superficie del objeto sea lo más corta posible, de esta manera se obtendrá un film lo más denso posible. Para conseguir un film que no se desprenda por rozamiento o fricción, la distancia tiene que ser de unos 3 o 4 cm. Con una distancia de 6 a 10 cm se obtiene una capa suave, a más distancia los filmes obtenidos se desprenden fácilmente. Sin embargo, si la obra presenta levantamientos, no será posible mantener esta distancia, ya que se corre el riesgo de desprendimientos durante la aplicación. En este caso quizás será más útil recorrer a aplicaciones sucesivas y desde una mayor distancia.

Existen dos tipos de boquillas de salida para el spray. La estándar que acompaña las latas permite rociar una franja de unos 15 mm a una distancia de 6 cm. Pero hay otra boca para rociar áreas, que permite graduar el ángulo de salida de producto; en este caso, a una distancia de 6 cm se puede rociar una franja de unos 50 mm. Se ha calculado que un envase de aerosol de 400 ml es suficiente para cubrir un metro cuadrado de superficie.

Mediante este método de aplicación se asegura que el producto no penetra en el sustrato, a diferencia de los otros métodos mencionados anteriormente. Pero esta característica también implica que el film no consolida en absoluto, sino que trabaja únicamente como protector o fijativo temporal. Aquí se obtiene un film altamente poroso, cuya solidez mecánica depende de la distancia desde la que se rocía, aunque nunca se obtiene la densidad y solidez del CCD puro fundido. Éste es resistente al agua y ofrece suficiente protección mecánica. Sin embargo, no protege de los disolventes polares.

En el caso de querer acelerar la sublimación, la eliminación de la capa con disolventes o con el uso de una pistola de aire caliente es rápida y efectiva. La eliminación con disolventes se puede realizar aplicando nafta con spray o con paletina. Sin embargo también se pueden utilizar otros disolventes como el isoocetano o el Exxsol 100-140® (Esso).

APLICACIÓN DEL CCD PURO FUNDIDO

A la hora de manipular el CCD puro, hay que tener en cuenta que su comportamiento es similar al de una cera. Así pues, hay que calentarlo previamente para conseguir que se funda, por encima de los 60° C. Se puede fundir al baño María, aplicándolo con una espátula o pincel, aunque habrá que aumentar la temperatura para evitar que se enfríe y se solidifique antes de que haya llegado a la obra. También se pueden adaptar algunas herramientas, como una especie de lápiz caliente que permita una aplicación controlada (en el caso de su uso para proteger tintas sobre papel), o bien pistolas de aire caliente para rociar, siempre que el orificio de salida mantenga una temperatura de 80° C.

A veces puede interesar calentar el sustrato sobre el que se aplicará el CCD, es decir la obra, consiguiendo una mejor penetración del producto. Pero en este caso, hay que tener en cuenta que el tiempo de sublimación aumentará. De hecho, la sublimación en el caso del CCD puro ya es considerablemente superior al de las capas hechas a partir de disoluciones, y en el caso de querer retirar el producto antes de esperar a que haya desaparecido por sí solo, mediante aire caliente y el uso de disolventes, el proceso resultará lento y costoso.

En líneas generales, la capa formada a partir del CCD puro fundido es bastante densa y sin cristales distintivos, ya que el enfriamiento, y por tanto la solidificación, se produce muy rápido. La capa obtenida es muy resistente a la presión y a la abrasión, y ofrece una buena protección frente al agua, al etanol, al isopropanol y a la acetona.

APLICACIÓN DEL CCD CON DISOLVENTE

El CCD se puede disolver en disolventes no polares para su aplicación. Se trata de llegar a una disolución saturada, y para ello, el uso de un agitador magnético es muy útil. De esta manera, cada disolución tendrá una concentración diferente en función del disolvente escogido:⁴ en xileno llegará a una concentración del 120 % en peso, en hexano del 140 %, mientras que en Shellsol OMS® (SOL 71) será del 80 %.

Una vez hecha la disolución, ya podrá ser aplicada con pincel, con pistola pulverizadora, etc. Hay que recordar que el film formado a partir de este método tendrá menos grosor que el de CCD puro. En este caso, si el disolvente escogido se evapora lentamente, la red formada será más abierta y heterogénea, con cristales más grandes y distintivos, ya que el disolvente da al CCD tiempo suficiente para cristalizar. En cambio, si la evaporación es rápida, la red de cristales será más homogénea y el film resultante tendrá cristales más pequeños y será más denso.

En este caso, las propiedades mecánicas son inferiores a las de las capas de CCD puro fundido, aunque es bastante resistente a la presión y a la abrasión. Las capas así obtenidas son más porosas que las de CCD puro, sin embargo ofrecen una buena protección frente al agua, pero insuficiente si a ésta se le añade un agente humectante (etanol, isopropanol o acetona).

Cabe remarcar que no es práctico pretender aplicar una capa de disolución saturada de CCD en sustratos muy porosos, porque lo único que se conseguirá es la penetración de una gran cantidad de material en el objeto; y para la obtención de un film con un mínimo de grosor serán necesarias aplicaciones consecutivas. Esto comporta que hay que esperar a que se haya efectuado la evaporación del disolvente antes de aplicar una nueva capa para conseguir un film. El uso de disolventes con un punto de ebullición bajo asegura que el producto no penetre tanto en el sustrato. Es recomendable el uso de disoluciones saturadas en isooctano y en pentano.

La sublimación será más rápida en este caso que en el del CCD puro, y en el caso de querer acelerarla, la eliminación de la capa con disolventes o con el uso de una pistola de aire caliente es muy efectiva.

También se puede escoger la adición de disolvente al CCD puro fundido (un 10 % aproximadamente), sin necesidad de llegar a la disolución saturada. De esta manera la aplicación no será tan costosa y la capa formada será bastante similar a la de CCD puro (hay que tenerlo en cuenta por lo que se refiere al tiempo de sublimación). Sobre una superficie nada absorbente se obtendrá inicialmente un tejido de cristales; mientras que sobre una superficie absorbente, se obtendrá un film muy denso. En este caso, las características mecánicas no son tan buenas como las del film formado a partir del CCD puro fundido, aunque la capa es bastante resistente a la presión y a la abrasión, ofreciendo también una buena protección frente al agua, al etanol, al isopropanol y a la acetona.

PRINCIPALES USOS EN CONSERVACIÓN-RESTAURACIÓN

El CCD permite proteger o sellar zonas delicadas de las superficies a tratar durante ciertas intervenciones, como es el caso de los procesos de limpieza. Este uso se puede hacer extensivo a todas las especialidades: pintura mural, pintura sobre tela y sobre tabla, objetos de piedra, etc. De esta manera, por ejemplo, se pueden proteger las áreas limftrofes de los dorados durante un proceso de limpieza con elementos jabonosos; se puede proteger el reverso de una pintura sobre tela antes de retirar el barniz, ya que durante el proceso de limpieza éste puede penetrar a través del craquelado y llegar al soporte, y también es posible proteger una pintura mural durante un tratamiento con inyección de mortero o bien durante el uso de ciertos adhesivos. La aplicación del CCD para proteger las tintas de los documentos gráficos durante limpiezas acuosas ha sido en

ocasiones satisfactoria, aunque hay ciertas variables a tener en cuenta. Una aplicación interesante es el uso del CCD como barrera para realizar moldes de objetos con superficies porosas, las cuales suelen ser fácilmente contaminadas por los residuos de la silicona utilizada para hacer los moldes.

El CCD también puede actuar temporalmente como hidrofugante. Cuando un tratamiento de restauración requiere trabajar con agua sobre la superficie de un objeto, pero no interesa que ésta penetre, hay que proteger el objeto con algún agente hidrofugante. Este es el caso de la limpieza de pinturas murales o de la superficie de objetos de piedra.

Este método no sella absolutamente todos los poros, pero asegura que durante un cierto tiempo el agua no penetrará, generalmente unas horas. Para llevar a cabo este procedimiento se puede usar el CCD puro fundido o bien una disolución saturada. En estos casos es recomendable extender una capa uniforme y acto seguido aplicarle calor (puede ser de una lámpara) para favorecer la penetración del producto.

La consolidación y protección temporal de objetos frágiles para su transporte es otra de las aplicaciones del CCD, por ejemplo para aquellas piezas arqueológicas que tienen que ser trasladadas de la excavación al taller de restauración. En estos casos hay que tener en cuenta la porosidad del sustrato y la capacidad de penetración del producto, especialmente si resulta imprescindible una elevada penetración. En este caso, y sobre todo si se usa el CCD puro fundido, es recomendable calentar previamente el sustrato sobre el cual se aplicará, hecho que favorecerá la penetración. Sin embargo, hay que considerar que esto alargará el tiempo necesario para una completa sublimación. Una consolidación hecha con CCD puro que haya penetrado varios centímetros, puede hacer que el producto tarde años en desaparecer. En cambio, las consolidaciones realizadas con disoluciones saturadas de CCD subliman bastante rápido a temperatura ambiente. Por ejemplo, una consolidación temporal de unos 30 mm de una piedra arenisca tardará unas 6 semanas en sublimar.

FOTOGRAFÍAS

1. Cristales de CCD (Fotografía: Ruth Bagan).
2. Capa de CCD puro una vez solidificado, donde se puede apreciar el aspecto ceroso (Fotografía: Ruth Bagan).
3. Capa de CCD en spray, donde se puede apreciar el aspecto de polvo blanco (Fotografía: Ruth Bagan).
4. Fotomacrografía de la capa formada por el CCD en aerosol (Fotografía: Carles Aymerich, CRBMC).
5. Fotomacrografía de la capa formada por el CCD puro fundido (Fotografía: Carles Aymerich, CRBMC).
6. Fotomacrografía de la capa formada por el CCD disuelto en isooctano (Fotografía: Carles Aymerich, CRBMC).
7. Fotomacrografía de la capa formada por el CCD disuelto en *white spirit* (Fotografía: Carles Aymerich, CRBMC).

NOTAS

¹ KREMER PIGMENTE, D - 88317 Aichstetten. Tel. +49 7565 91120 Fax. +49 7565 1606. www.kremer-pigmente.de

² Hans Michael HANGLER, Elisabeth JÄGERS, Erhard JÄGERS, «Flüchtige Bindemittel», *Zeitschrift für Kunst-technologie und Konservierung*, 2 (1998), p. 385-392.

³ <http://cyclododecane.net>

⁴ Renée STEIN, Jocelyn KIMMEL, Michele MARINCOLA, Friederike KLEMM, «Observations on cyclododecane as a temporary consolidant for stone», *Journal of the American Institute for Conservation*, 39 (2000), p. 355-369.



Materials, paper i caixes per:

- arxiu permanent i
- museus

Materials i Equips per:

- la conservació i la restauració de
 - pintures
 - paper i obra gràfica
 - arqueologia i
 - escultura
 - tècniques artístiques i daurat

* Representacions a :

Catalunya, Balears, Galicia, Andalusia, Madrid, Aragó i la Rioja.
 Enviament de catàlegs a petició amb tota la gamma de productes detallada.

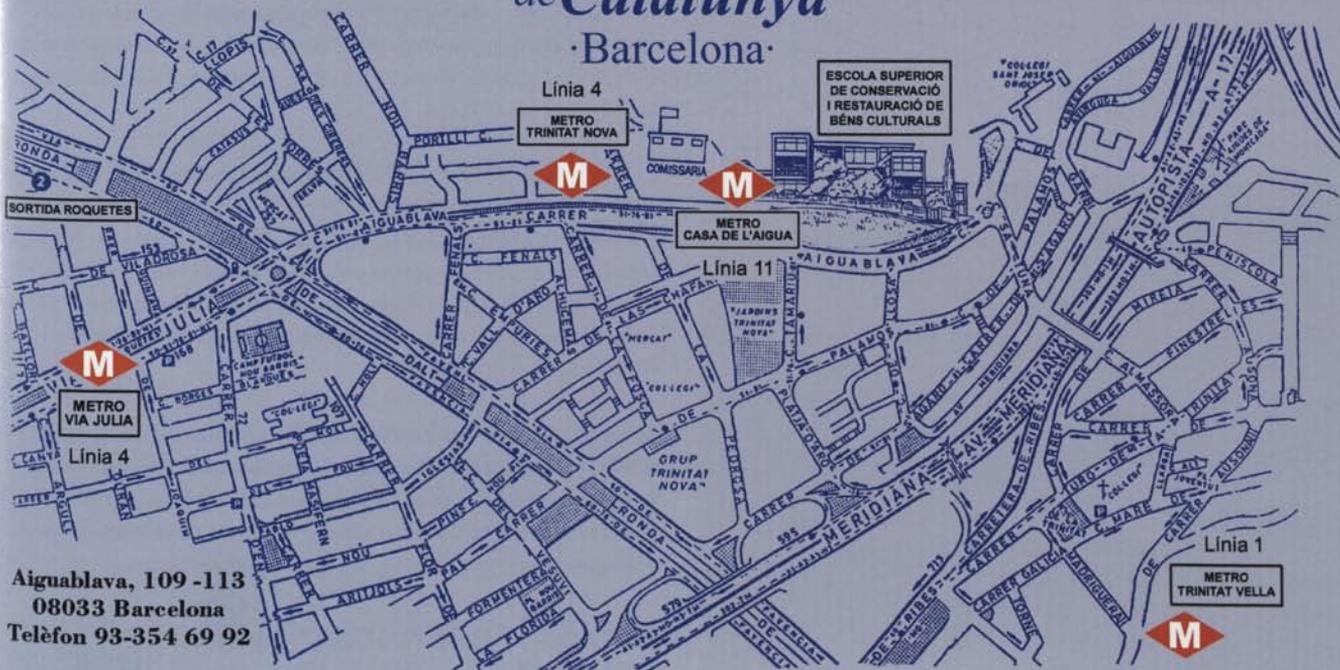
FLUVIA conservación y restauro, s.l.

C/Sant Antoni, 3 – 17176 La Vall de Bas (GI) – Tel. 972691049 – Fax 972690001
 www.mfluvia.com info@mfluvia.com

FLUVIA
 conservación y restauro s.l.

Escola Superior de Conservació i Restauració de Béns Culturals de Catalunya

· Barcelona ·



Aiguablava, 109 -113
 08033 Barcelona
 Telèfon 93-354 69 92