



El ciclododecà i les seves aplicacions en conservació-restauració

L'ús de nous productes en conservació-restauració comporta una adquisició constant de coneixements sobre les seves característiques i resultats. Aquest article pretén donar a conèixer les propietats i les possibilitats d'utilització del ciclododecà (CCD) –emprat a Alemanya des de mitjans de la dècada dels noranta–, un fixatiu i consolidant temporal volàtil aplicable en tractaments de diverses especialitats.

Ruth Bagan Pérez. Diplomada en Conservació i Restauració de Pintura per l'ESCRBCC. ruth.bagan@gmail.com

DESCRIPCIÓ DEL PRODUCTE

Químicament, el ciclododecà és una substància orgànica, un hidrocarbur cíclic saturat (tots els enllaços carboni-carboni són simples), que pertany a la família dels cicloalcans. Els cicloalcans són hidrocarburs simples en els quals els àtoms de carboni estan units formant un anell, per tant de cadena tancada. Es tracta d'un dels més estables de la seva família. La seva fórmula és la següent: C₁₂ H₂₄.

Es tracta d'una substància sòlida i blanquinosa, en forma de cristalls, d'aspecte cerós, químicament estable i inert. La principal característica i el que el fa més atractiu com a fixatiu i consolidant temporal és la seva capacitat de sublimar (passar d'estat sòlid a gas sense passar per líquid) a temperatura ambient, gràcies a la seva elevada pressió de vapor. Les propietats fisicoquímiques es detallen a continuació:

Punt de fusió:	58 – 61° C
Punt d'ebullició:	60 – 90° C
Pressió de vapor:	0,073 h Pa (20° C)
Pes específic:	0,83 kg/dm ³
Solubilitat:	soluble en dissolvents apolars insoluble en aigua, etanol, acetona i d'altres substàncies mitjanament polars

La seva aplicació sobre qualsevol superfície comporta que s'hagi d'escalfar prèviament per fondre'l, o bé dissoldre'l en alguna substància no polar. El seu punt de fusió, que ronda els 60° C, el fa aplicable a nombroses obres d'art. Un cop aplicat es refreda ràpidament, formant una capa més o menys opaca d'aspecte cerós, la qual desapareix a mesura que sublima el material (el temps de sublimació varia en funció de la dissolució, del mètode d'aplicació, de la porositat del substrat i de les condicions ambientals).

El ciclododecà es pot adquirir en dues presentacions: de forma sòlida en envasos d'un kg (substància sòlida granulada) i en aerosol (esprai de 400 ml). L'empresa que el comercialitza per al seu ús en conservació-restauració és Kremer Pigmente.¹

HISTÒRIA DEL PRODUCTE

La idea d'usar el ciclododecà en tractaments de conservació-restauració va sorgir el 1995 a Alemanya, de la mà de Hans Michael Hangleiter, juntament amb Elisabeth i Erhard Jägers. La recerca d'un agent que es pogués aplicar com a consolidant i protector temporal durant certes intervencions i que fos fàcilment reversible, els va conduir a una família de productes, els hidrocarburs cíclics.

El ciclododecà forma part d'un grup de substàncies anomenades *volatile binding media* (consolidants temporals volàtils), entre les quals es troba també el camfè, el camfè triciclè i el mentol. Totes elles tenen en comú que són hidrocarburs cíclics inerts amb la consistència d'una cera, tenen un punt d'ebullició entre 35 i 65° C, una elevada pressió de vapor i, per tant, la capacitat de sublimar a temperatura ambient, no deixant pràcticament residus al substrat. Totes aquestes característiques els fan adients com a protectors i fixatius volàtils per a processos de conservació-restauració d'obres d'art, o bé durant transports i altres manipulacions eventuals; tanmateix, no tots ells han resultat ser òptims per a aquesta finalitat. Hans Michael Hangleiter, Elisabeth i Erhard Jägers² van dur a terme un estudi comparatiu dels quatre productes.

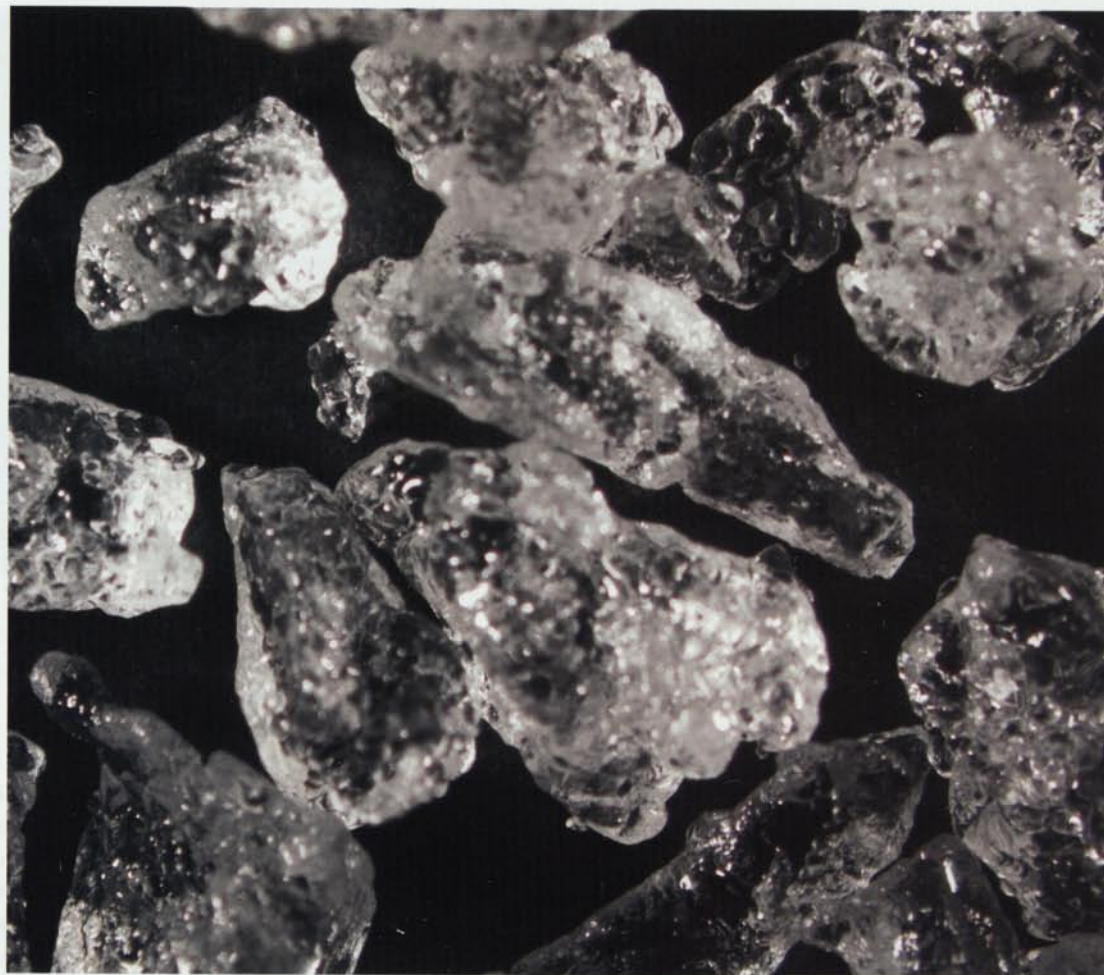
Tots ells poden aplicar-se purs (fosos) o bé dissolts en dissolvents no polars (com els hidrocarburs saturats, els hidrocarburs halogenats o els èters de petroli). La sublimació, en tots ells, es pot retardar si es tria un dissolvent amb un punt de fusió elevat, si s'aplica el producte fos, o bé protegint l'objecte de l'exposició a altes temperatures.

La velocitat d'evaporació depèn de l'estructura molecular de cadascun d'ells: el ciclododecà i el mentol sublimen bastant lentament (0,04 mm/24 h), mentre que el camfè i el triciclè tenen una pressió de vapor elevada i sublimen ràpidament, en poques hores (0,4 mm/24 h), la qual cosa no els fa adients en aquelles ocasions en les que es requereix un major temps de manipulació.

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

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

1. Cristalls de CCD
(Fotografia: Ruth Bagan).



Per altra banda, una desaparició total del producte només es pot garantir quan no contenen additius. En aquest sentit, el camfè, al no ser tant estable com el ciclododecà –és sensible a reaccions d'oxidació–, s'ha d'usar amb un estabilitzant. Aquest fet comporta que ja no és del tot pur i, per tant, no es pot assegurar que el substrat quedi lliure de residus un cop sublimat el producte.

Aquestes substàncies són fàcilment solubles en dissolvents no polars, i insolubles en substàncies polars (etanol, isopropanol, aigua i acetona), d'aquí que siguin adients com a hidrofugants i protectors durant alguns tractaments com poden ser certs processos de neteja. De tots ells, el mentol és el que posseeix una estructura més polar, la qual cosa el fa parcialment soluble en alcohol i altres dissolvents polars, i per tant, no es tant hidrofugant com els altres. Tanmateix, el mentol és el que té un poder d'adhesió més elevat.

Per tots aquests motius, l'estudi de Hangleiter i d'Elisabeth i Erhard Jägers conclou que el ciclododecà és el més apropiat com a fixatiu i protector temporal per a tractaments de conservació-restauració. A més a més, aquest és més fàcil d'obtenir que altres cicloalcans. De fet, ha estat usat durant molt de temps a la indústria química com a additiu per a fragàncies i per ceres sintètiques.

D'ençà d'aquell primer estudi s'han realitzat proves de laboratori sobre nombrosos materials per aprofundir en el coneixement d'aquest producte, pel que fa a les seves possibilitats d'aplicació, la formació de la capa i característiques d'aquesta, el temps de sublimació, el grau de penetració al substrat i la quantitat de residus que deixa.

POSSIBILITATS D'APLICACIÓ

El ciclododecà es pot aplicar directament sobre la superfície de l'objecte a protegir aplicant una o varies capes de producte mitjançant l'aerosol, sense necessitat de manipulació prèvia. La capa formada és com una pols blanca, amb l'aparença de neu, que no penetra pràcticament en el substrat –a excepció que aquest tingui importants fissures o esquerdes. El principal avantatge d'aquest sistema és que, com que el producte es diposita en forma de pols, no requereix contacte amb el substrat, fet que el fa molt adient en casos d'aixecaments, pulverulència, superfícies escamades, etc.

Cal recordar també que la capacitat de sublimació del CCD fa innecessària qualsevol intervenció posterior per retirar el producte un cop l'obra ja ha estat traslladada o tractada. El ciclododecà també es pot aplicar pur, escalfat prèviament al bany maria, amb l'ajut d'una espàtula, un pinzell o amb algun tipus d'instrument adaptat que permeti la seva fusió a mesura que es du a terme l'aplicació. Un tercer mètode d'aplicació és la dissolució en dissolvents no polars.



2. Capa de CCD pur un cop solidificat, on es pot apreciar l'aspecte cerós (Fotografia. Ruth Bagan).

FORMACIÓ DE LA CAPA³

La manera com el CCD forma un film és comparable amb un procés de cristallització, tot i que no forma una capa completament uniforme, ni en el cas de l'aerosol, ni en el del CCD pur fos, ni en el d'una dissolució saturada. Forma cristalls amb forma d'agulles, de mida variable i més o menys propers entre sí en funció de l'aplicació (aerosol, CCD pur fos, CCD pur fos amb l'addició de dissolvent, dissolució saturada).

Així, doncs, cal diferenciar entre els films formats a partir del producte aplicat amb aerosol, el producte aplicat pur fos i els films formats a partir de dissolucions. De la mateixa manera, la capa tindrà unes característiques específiques en funció de diferents factors: el mètode d'aplicació, el tipus de dissolvent triat, la temperatura ambient i les característiques del substrat.

Com a norma general s'ha de tenir en compte que quan més lent sigui el descens de la temperatura de la capa un cop aplicada, més distintiva i heterogènia serà la xarxa de cristalls formada. En canvi, un refredament més ràpid tindrà com a resultat un film homogeni i més dens.

A les fotografies 4,5,6 i 7 es pot observar la diferència entre la capa de cristalls formada a partir del CCD en aerosol, amb aspecte de pols blanca; la capa formada a partir del producte pur fos, una capa d'aspecte cerós i amorf, sense cristalls distingibles; la capa de CCD amb isooctà (dissolució saturada), amb petits cristalls i xarxa tancada; i finalment la capa resultat de l'aplicació del CCD amb *white spirit* (dissolució saturada), de cristalls bastant més grans que l'anterior i trama més oberta.

TEMPS DE SUBLIMACIÓ

El temps de sublimació està directament relacionat amb les característiques del film format i amb les condicions ambientals que envolten l'obra. Així, doncs, una capa de CCD pur fos trigarà més a desaparèixer que una de CCD en dissolució, i encara més que la d'aerosol. Mentre que sobre un substrat gens porós i en condicions normals (a 20° C i sense corrents d'aire) una capa d'1 mm de CCD pur pot tardar 30 dies en sublimar, una d'aerosol pot sublimar en tant sols 2 dies. Tot i així, existeixen mètodes per controlar i alentir aquest procés. Cal segellar la superfície on s'ha aplicat el CCD per tal d'evitar el contacte amb l'aire i així evitar la sublimació.

Aquesta operació es pot fer posant l'objecte dins una bossa de plàstic (encara que no tanqui hermèticament també retardarà la sublimació) en el cas que les dimensions de l'obra ho permetin, o bé segellant la superfície amb algun tipus de paper metàl·lic (d'estany o d'alumini) adherit al CCD. En el cas contrari, si es desitja accelerar el procés de sublimació, es pot fer augmentant la temperatura, la ventilació o bé emprant dissolvents.

APLICACIÓ DEL CCD EN ESPRAI

L'aerosol que es comercialitza, es pot aplicar sobre pràcticament qualsevol superfície: tèxtils, paper, fusta, vidre, metall, plàstic, superfícies envernissades, etc. El principal avantatge d'aquesta aplicació és que s'evita qualsevol contacte amb l'obra. La distància des de la qual es ruixa és important. A causa de la ràpida velocitat d'evaporació del dissolvent emprat, el CCD precipita en un estat sòlid amorf bastant ràpid (s'usa com a propulsor una mescla de metà-butà, ambdós extremadament volàtils), que acumulat, construeix la capa. Per aquest motiu, és recomanable que la distància entre l'espri i la superfície de l'objecte sigui el més curta possible, d'aquesta manera s'obtindrà un film el més dens

³ <http://cyclododecane.net>

possible. Per aconseguir un film que no es desprengui per fricció, la distància ha de ser d'uns 3 o 4 cm. Amb una distància de 6 a 10 cm s'obté una capa suau, a més distància els films obtinguts es desprenen fàcilment. Tanmateix, si l'obra presenta aixecaments, no serà possible mantenir aquesta distància, ja que es corre el risc de desprendiments durant l'aplicació. En aquest cas potser serà més útil recórrer a aplicacions successives i des de major distància.

Existeixen dos tipus de boques de sortida per l'esprai. L'estàndard que acompanya les llaunes permet ruixar una franja d'uns 15 mm a una distància de 6 cm. Però hi ha una altra boca per ruixar àrees, que permet graduar l'angle de sortida del producte; en aquest cas, a una distància de 6 cm es pot espraïar una franja d'uns 50 mm. S'ha calculat que un pot d'aerosol de 100 ml és suficient per cobrir un metre quadrat de superfície.

Mitjançant aquest mètode d'aplicació s'assegura que el producte no penetra en el substrat, a diferència dels altres mètodes smentats. Però aquesta característica també implica que el film no consolida en absolut, sinó que treballa únicament com a protector o fixatiu temporal. Aquí s'obté un film altament porós, la solidesa mecànica del qual depèn de la distància des de la qual es ruixa, tot i que mai s'obté la densitat solidesa del CCD pur fos. Aquest és resistent a l'aigua i ofereix suficient protecció mecànica. Tanmateix, no protegeix dels dissolvents polars.

En el cas de voler accelerar la sublimació, l'eliminació de la capa amb dissolvents o amb l'ús d'una pistola d'aire calent és ràpida i efectiva. L'eliminació amb dissolvents es pot realitzar aplicant nafta amb esprai o amb paletina. Tanmateix també es poden utilitzar altres dissolvents com l'isooctà o l'Exxsol 100-140® (Esso).

APLICACIÓ DEL CCD PUR FOS

A l'hora de manipular el CCD pur, cal tenir en compte que el seu comportament és similar al d'una cera. Així, doncs, caldrà escalfar-lo prèviament per aconseguir que es fongui per sobre dels 60° C. Es pot fondre al bany maria, aplicant-lo amb una espàtula o pinzell, tot i que caldrà augmentar la temperatura per evitar que es refredi i es solidifiqui abans que hagi arribat a l'obra. També es poden adaptar algunes eines, com una mena de llapis calent que permeti una aplicació controlada (en el cas del seu ús per protegir tintes sobre paper), o bé pistoles d'aire calent per espraïar, sempre que l'orifici de sortida mantingui una temperatura de 80° C.

A vegades pot interessar escalfar el substrat sobre el qual s'aplicarà el CCD, és a dir l'obra, aconseguint una millor penetració del producte. En aquest cas però, cal tenir en compte que el temps de sublimació augmentarà. De fet, la sublimació en el cas del CCD pur ja és considerablement superior al de les capes fetes a partir de dissolucions, i en el cas de voler retirar el producte abans d'esperar a que hagi desaparegut per si sol, mitjançant aire calent i l'ús de dissolvents, el procés resultarà lent i costós.

En línies generals, la capa formada a partir del CCD pur fos és bastant densa i sense cristalls distintius, ja que el refredament, i per tant la solidificació, es produeix molt ràpid. La capa obtinguda és molt resistent a la pressió i a l'abració, i ofereix una bona protecció en front l'aigua, l'etanol, l'isopropanol i l'acetona.

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

3. Capa de CCD en esprai, on es pot apreciar l'aspecte de pols blanca (Fotografia. Ruth Bagan).



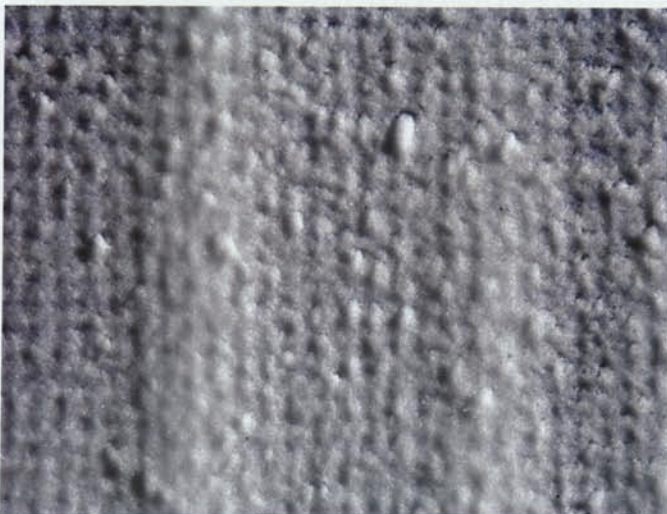
APLICACIÓ DEL CCD AMB DISSOLVENT

El CCD es pot dissoldre en dissolvents no polars per a la seva aplicació. Es tracta d'arribar a una dissolució saturada, per la qual cosa, l'ús d'un agitador magnètic és molt útil. D'aquesta manera, cada dissolució tindrà una concentració diferent en funció del dissolvent triat: en xilè s'arribarà a una concentració del 120 % en pes, en hexà del 140 %, mentre que en Shellsol OMS® (SOL 71) serà del 80 %.

Un cop feta la dissolució, ja podrà ser aplicada amb pinzell, amb pistola polvoritzadora, etc. Cal recordar que el film format a partir d'aquest mètode tindrà menys gruix que el de CCD pur. En aquest cas, si el dissolvent triat s'evapora lentament, la xarxa formada serà més oberta i heterogènia, amb cristalls més grans i distintius, ja que el dissolvent dona al CCD temps suficient per cristal·litzar. En canvi, si l'evaporació és ràpida, la xarxa de cristalls serà més homogènia i el film resultant tindrà cristalls més petits i serà més dens.

En aquest cas, les propietats mecàniques són inferiors a les de les capes de CCD pur fos, tot i que és prou resistent a la pressió i a l'abradió. Les capes així obtingudes són més poroses que les de CCD pur, tanmateix ofereixen una bona protecció en front l'aigua, però insuficient si a aquesta se li afegeix un agent humectant (etanol, isopropanol o acetona).

Cal remarcar que no és pràctic pretendre aplicar una capa de dissolució saturada de CCD en substrats molt porosos, perquè l'únic que s'aconseguirà és la penetració d'una gran quantitat de material a l'objecte; i per a l'obtenció d'un film amb un mínim de gruix caldrà aplicacions consecutives. Això comporta que s'ha d'esperar que s'hagi efectuat l'evaporació del dissolvent abans d'aplicar una nova capa per aconseguir un film. L'ús de dissolvents amb un punt d'ebullició baix assegura que el producte no penetri tant al substrat. És recomanable l'ús de dissolucions saturades en isooctà i pentà.



4. Fotomicrografia de la capa formada pel CCD en aerosol (Fotografia: Carles Aymerich, CRBMC).

La sublimació serà més ràpida en aquest cas que en el del CCD pur, i en el cas de voler accelerar-la, l'eliminació de la capa amb dissolvents o l'ús d'una pistola d'aire calent és molt efectiva.

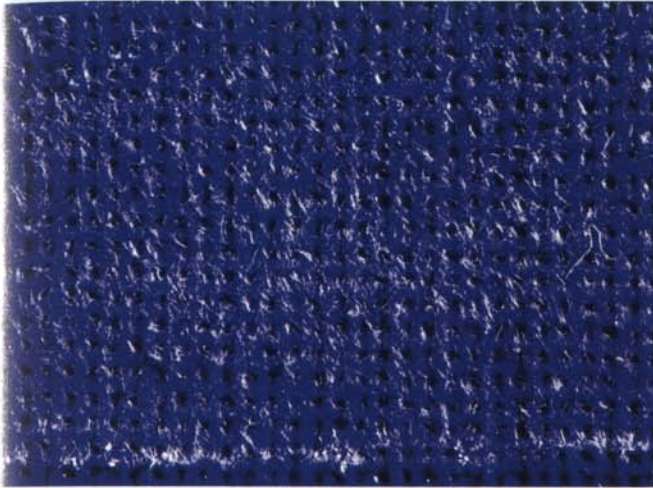
També es pot triar l'addició de dissolvent al CCD pur fos (un 10 % aproximadament), sense necessitat d'arribar a la dissolució saturada. D'aquesta manera l'aplicació no serà tant costosa i la capa formada serà bastant similar a la de CCD pur (cal tenir-ho en compte pel que fa al temps de sublimació). Sobre una superfície gens absorbent s'obtindrà inicialment un teixit de cristalls; mentre que sobre una superfície absorbent, s'obtindrà un film molt dens. En aquest cas, les característiques mecàniques no són tan bones com les del film format a partir del CCD pur fos, tot i que la capa és bastant resistent a la pressió i a l'abradió, oferint també una bona protecció en front l'aigua, l'etanol, l'isopropanol i l'acetona.

PRINCIPALS USOS EN CONSERVACIÓ-RESTAURACIÓ

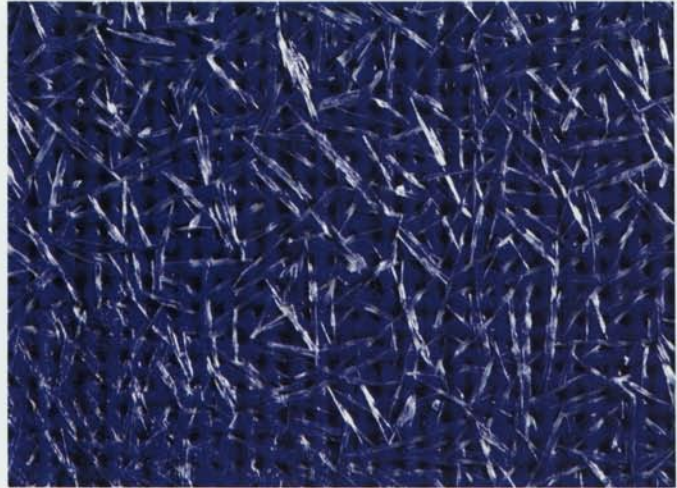
El CCD permet protegir o segellar zones delicades de les superfícies a tractar durant certes intervencions, com és el cas dels processos de neteja. Aquest ús es pot fer extensiu a totes les especialitats: pintura mural, pintura sobre tela i sobre taula, objectes de pedra, etc. D'aquesta manera, per exemple, es poden protegir les àrees limítrofes dels daurats durant un procés de neteja amb elements sabonosos; es pot protegir el revers d'una pintura sobre tela abans de retirar el vernís, ja que durant el procés de neteja aquest pot penetrar a través dels clivellats i arribar al suport; i també és possible protegir una pintura mural durant un tractament amb injecció de morter o bé durant l'ús de certs adhesius. L'aplicació del CCD per protegir les tintes dels documents gràfics durant neteges aquoses ha estat en ocasions satisfactòria, tot i que hi ha certes variables a tenir en compte. Una aplicació interessant és l'ús del CCD com a barrera per realitzar motlles d'objectes amb superfícies poroses, les quals solen ser fàcilment contaminades pels residus de la silicona emprada per fer els motlles.



5. Fotomicrografia de la capa formada pel CCD pur fos (Fotografia: Carles Aymerich, CRBMC).



5. Fotomicrografia de la capa formada pel CCD dissolt en isooctà
Fotografia: Carles Aymerich, CRBMC).



7. Fotomicrografia de la capa formada pel CCD dissolt en white spirit
(Fotografia: Carles Aymerich, CRBMC).

El CCD també pot actuar temporalment com a hidrofugant. Quan un tractament de restauració requereix treballar amb aigua sobre la superfície d'un objecte, però no interessa que aquesta penetri, cal protegir l'objecte amb algun agent hidrofugant. Aquest és el cas de la neteja de pintures murals o la superfície d'objectes de pedra.

Aquest mètode no segella absolutament tots els porus, però assegura que durant un cert temps l'aigua no penetrarà, generalment unes hores. Per dur a terme aquest procediment, es pot emprar el CCD pur fos o bé una dissolució saturada. En aquests casos és recomanable estendre una capa uniforme i tot seguit aplicar-hi escalfor (pot ser d'una làmpada) per afavorir la penetració del producte.

La consolidació i protecció temporal d'objectes fràgils per al seu transport és una altra de les aplicacions del CCD, per exemple per aquelles peces arqueològiques que han de ser traslladades de l'excavació al taller de restauració. En aquests casos cal tenir en compte la porositat del substrat i la capacitat de penetració del producte, sobretot si resulta imprescindible una elevada penetració. En aquest cas, i sobretot si s'usa el CCD pur fos, és recomanable escalfar prèviament el substrat on s'aplicarà, la qual cosa afavorirà la penetració. Tanmateix, s'ha de tenir en compte que això allargarà el temps necessari per a una completa sublimació. Una consolidació feta amb CCD pur que hagi penetrat diversos centímetres, pot fer que el producte trigui anys en desaparèixer. En canvi, les consolidacions realitzades amb dissolucions saturades de CCD sublimen bastant ràpid a temperatura ambient. Per exemple, una consolidació temporal d'uns 30 mm d'una pedra sorrenca trigarà unes 6 setmanes en evaporar-se.

BIBLIOGRAFIA

Irene BRÜCKLE, Jonathan THORNTON, Kimberly NICHOLS, Gerry STRICKLER, «Cyclododecane; technical note on some uses in paper and objects conservation», *Journal of the American Institute for Conservation*, 38 (1999), p. 162-175.

Sara CASPI, Emily KAPLAN, «Dilemmas in Transporting Unstable Ceramics: A Look at Cyclododecane», *Objects Specialty Group Postprints*, 8 (2001), p. 116-135 [American Institute for Conservation, 29th Annual Meeting].

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

Daria KEYNAN, Sigrid EYB-GREEN, «Cyclododecane and modern paper: a note on ongoing research», *WAAC Newsletter*, 22 (2000), p.18-21.

Jeffrey P. MAISH, Erik RISSER, «A case study in the use of cyclododecane and latex rubber in the molding of marble», *Journal of the American Institute for Conservation*, 41 (2002), p. 127-137.

Salvador MUÑOZ, Tatiana AURÍA, «La impermeabilización bicapa de ciclododecano y Paraloid: una nueva técnica para la protección de tintas solubles durante tratamientos acuosos», *Actas del XVI Congreso Internacional de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, València, 2006, p. 551-559.

Vanessa MUROS, John HIRX, «The use of cyclododecane as a temporary barrier for water-sensitive ink on archaeological ceramics during desalination», *Journal of the American Institute for Conservation*, 43 (2004), p. 75-89.

Monika NEUNER, Marie-Odile HUBERT, Olivier OMNÈS, «Consolidation et protection temporaire: un exemple de traitement des matériaux vitreux à l'aide de cyclododécane», *Coré*, 10 (2001), p. 18-20.

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