

PARALOID® B-72, RESINES *EPOXY* I SOL-GELS.
COMPARATIVA DE PRODUCTES PER A LA
RESTAURACIÓ I CONSERVACIÓ DE VIDRE

Autor: Natalia Benítez García

Treball Final de Grau

Grau de Conservació-Restaureció de Béns Culturals

Tutor: Cecília Sabadell Noguera

Curs:2022-2023

Agraïments

Agraeixo, en primer lloc, a la conservadora-restauradora Marta Golobardes, per la dedicació, el temps i tots els coneixements que m'ha regalat. Per donar-me idees i facilitar-me l'accés als productes que han sigut necessaris per a la realització del petit assaig que complimenta aquesta investigació.

Agraeixo també a la meva tutora Cecilia Sabadell, pels seus consells, per tot el temps que m'ha dedicat i per la seva paciència a l'hora de resoldre'm tots i cadascun dels dubtes que m'assaltaven.

Agraeixo a l'empresa Vitalls Bonet, per brindar-me un espai segur i equipat per a poder portar a terme també el breu assaig experimental, a més de facilitar-me altres dels productes emprats en aquest.

Agraeixo, per acabar, a Michele Cecchini (Siltea) i Martin Kilo (Fraunhofer ISC) per facilitar-me la informació dels seus productes i resoldre'm amb tanta rapidesa els diferents dubtes al respecte.

Vidre / Paraloid® B-72 / Resines epoxídiques / Productes sol-gel / Comparativa

Davant de la gran varietat de productes disponibles per a la conservació-restauració de vidre, es qüestiona quin d'aquests presenta millors característiques i és més idoni per a l'adhesió, consolidació i reintegració del material. La resolució d'aquesta problemàtica es fa partint de quatre dels productes més emprats (el Paraloid® B-72, l'Araldite® 2020, l'Epo-Tek® 301-2 i el HTXAL-NYL) i de tres dels sol-gels més recents dissenyats específicament per a materials vitris (ORMOCER® G, SIOX-5 RE20C i Cloisil A18). De cadascun d'ells es valora la seva compatibilitat amb el vidre i es fa un recull d'altres característiques relacionades amb la seva preparació i aplicació. Finalment, els resultats de l'estudi i de l'experimentació es recullen en una taula comparativa. A partir d'aquesta s'arriba a la conclusió que el Paraloid® B-72 és, en general, el millor producte per a la restauració de vidre, tot i que davant de vidres especialment transparents l'Araldite® 2020 seria més idoni i per a la protecció i consolidació el SIOX-5 RE20C presenta millors resultats.

Keywords

Glass / Paraloid® B-72 / Epoxy Resins / Sol-gel products / Comparison

Abstract

In front of the huge variety of products available for glass conservation and restoration, in this research it has been questioned which one of them has better characteristics and which one is more appropriate for adhesion, consolidation and volumetric reintegration. The problem resolution has been based on four of the most common products (Paraloid® B-72, Araldite® 2020, Epo-Tek® 301-2 and HTXAL-NYL) and three of the newest sol-gels designed specifically for glassy materials (ORMOCER® G, SIOX-5 RE20C and Cloisil A18). The glass compatibility with each product has been evaluated, as well as other features related to its preparation and application. Lastly, the results of the study have been shown in a comparative table format. Overall, the research suggests that Paraloid® B-72 is the best product for glass restoration. However, Araldite® 2020 is the most appropriate substance for adhesion and reintegration of especially transparent glasses and SIOX RE20C shows better results for protection and consolidation of glass.

ÍNDEX

1. Introducció	8
1.1. Objectius	9
1.2. Metodologia	9
2. El vidre com a material	11
2.1. Agents d'alteració i degradacions	13
2.2. Tractaments	14
3. Paraloid® B-72	15
3.1. Compatibilitat amb el vidre	15
3.2. Preparació i aplicacions	16
4. Les resines epoxídiques	20
4.1. Araldite® 2020	20
4.1.1. Compatibilitat amb el vidre	21
4.1.2. Preparació i aplicacions	22
4.2. Epo-Tek® 301-2	25
4.2.1. Compatibilitat amb el vidre	25
4.2.2. Preparació i aplicacions	26
4.3. HXTAL NYL-1	28
4.3.1. Compatibilitat amb el vidre	28
4.3.2. Preparació i aplicacions	29
5. Productes sol-gel	31
5.1. ORMOCER® G	31
5.1.1. Compatibilitat amb el vidre	32
5.1.2. Preparació i aplicacions	33
5.2. SIOX-5 RE20C	36
5.2.1. Compatibilitat amb el vidre	36
5.2.2. Preparació i aplicacions	37
5.3. Cloisil A18	39
5.3.1. Compatibilitat amb el vidre	39
5.3.2. Preparació i aplicacions	40

6. Comparativa dels productes	43
7. Conclusions finals	48
8. Referències bibliogràfiques.....	51
9. Annexos	62
9.1. Annex 1. Tècniques de modelat de vidre	62
9.2. Annex 2. Assaig experimental: Productes sol-gel com a material reintegrador	64
9.2.1. Materials i mètodes	64
9.2.2. Procediment	65
9.2.3. Resultats	68
9.2.4. Conclusions	71

1. Introducció

Els productes utilitzats per a la conservació i restauració de béns culturals sempre estan en constant estudi i renovació. És mitjançant aquesta investigació i posada a prova de cadascun d'ells com es podrà garantir que, en aplicar-los, realment compliran amb les principals característiques que el definirien com a idoni: compatibilitat amb l'original, reversibilitat i estabilitat.

La recerca d'un producte adequat per al material a restaurar, però, no sempre s'ha desenvolupat tant eficientment en uns àmbits com en d'altres. Aquest seria el cas del vidre, on la naturalesa fràgil del material i la seva característica brillantor i transparència (en la major part dels casos) han dificultat al llarg de la història la seva restauració. És un exemple, la utilització de materials opacs com a adhesius, com serien la goma laca, les ceres o el guix, malgrat no respectar el valor estètic de l'original (Davison, 1989, p.11-12). Aquests productes es van emprar fins a finals de la Segona Guerra Mundial, quan es van introduir al mercat resines més idònies gràcies al desenvolupament de materials sintètics dins de la indústria química de polímers (Davison, 1984, p.191).

Entre l'aparició de tots aquests nous productes utilitzats per la restauració de materials vitris en destacà el Paraloid® B-72, una resina acrílica que, tot i els inconvenients descoberts a partir de la seva contínua investigació (els quals contrarien els avantatges que li van donar la fama, com seria la creença d'una gran estabilitat enfront l'envelliment), fins avui dia és estesa recomanada i utilitzada dins d'aquest àmbit. Davant d'aquesta contraposició, llavors, em qüestiono si realment és correcta la seva utilització i si n'hi ha d'alternatives millors per a la restauració de vidre, material del qual en tinc poc coneixement i que m'interessa investigar de cara a l'ampliació de la meva formació professional.

En conseqüència a la gran quantitat de productes trobats com a alternatives durant l'inici de la meva recerca, però, decideixo obrir l'enfocament del treball i no centrar-me només en el Paraloid®, sinó en **l'estudi i la comparativa dels diversos productes actualment disponibles per a la restauració de vidre**, amb la finalitat d'identificar quin d'ells es podria considerar més adient per a aquest tipus de material.

1.1. Objectius

A partir de la temàtica establerta, llavors, especifico quins són els objectius concrets que vull resoldre:

- Recopilar els productes més comunament utilitzats a l'actualitat per a l'adhesió, consolidació i reintegració de vidre.
- Fer una recerca dels nous productes dissenyats per a la conservació-restauració de vidre.
- Investigar les propietats dels productes recopilats i, consegüentment els seus avantatges i inconvenients.
- Concretar quin seria el producte més adient per a la adhesió, consolidació i reintegració de vidre.

1.2. Metodologia

Per a poder resoldre els objectius, s'inicia el treball d'investigació amb una breu **introducció al vidre**, la qual recull la seva definició com a material, l'origen i les característiques. Aquesta es veu complimentada amb els agents d'alteració als quals es veu més comunament exposat i els seus consegüents tractaments, a partir dels quals es dona peu als diferents productes utilitzats per a l'adhesió de fragments, la consolidació del material i la reintegració de les pèrdues.

Per a la selecció dels productes a comparar parteixo d'aquells recomanats per l'expert Stephen Koob al seu llibre *Conservation and Care of Glass Objects* (2006), pilar de les referències bibliogràfiques que conformen la investigació. Així doncs, es comença amb l'anàlisi del **Paraloid® B-72** i de les **resines epoxídiques** HXTAL NYL-1, Epo-Tek® 301-2 i Araldite® 2020, i es tancarà el llistat amb els productes **sol-gel**: ORMOCER® G, SIOX-5 RE20C i Cloisil A18.

Com en tota intervenció de restauració, abans de la utilització d'un producte cal tenir en compte les seves propietats fisicoquímiques, ja que caldrà que aquestes siguin compatibles amb les del material original. És per això, llavors, que l'estudi de cada producte comença amb la seva definició i, seguidament, amb l'anàlisi de la seva compatibilitat química, estètica i física amb el vidre. Les diverses propietats es recullen en taules comparatives, les quals seran creades amb dades extretes de diferents fitxes tècniques passades a una mateixa unitat: composició, color, índex de refracció, densitat, duresa, elasticitat i resistència a la tracció.

A partir d'aquí es comenten altres característiques del producte que també s'hauran de tenir en compte abans de la seva aplicació: com es comercialitza, el seu preu, el mètode de preparació, la viscositat, la temperatura de transició vítria, la toxicitat, les aplicacions, el temps d'enduriment, la reversibilitat i l'envelliment.

Davant de la manca d'informació dels productes sol-gels respecte a l'aplicació com a materials reintegradors, es decideix fer un breu assaig experimental per a comparar el comportament d'aquests amb aquells productes més tradicionalment emprats (Paraloid® B-72, HXTAL NYL-1 i Araldite® 2020). Els resultats extrets es veuran exposats breument a l'apartat corresponent del material, mentre que els detalls de l'experimentació es trobaran recollits a l'annex.

Un cop es té complerta la recerca, es realitza la **comparativa dels diferents productes** valorant els seus *pros* i *contres* respecte a la informació recollida al llarg del cos del treball. Es tanca l'estudi donant resposta als diferents objectius plantejats i exposant les possibles línies d'investigacions amb les quals es podria continuar.

2. El vidre com a material

Segons l'Enciclopèdia Online de Materials d'Art i de Conservació (CAMEO, 2022a), el vidre és un **material inorgànic dur, trencadís i amorf, format principalment per sílice**. Aquest es forma a partir de l'exposició de material petri silícic a elevades temperatures, fet que es dona de manera natural durant activitats volcàniques, impactes de raigs al sòl o col·lisions de meteorits. A partir d'aquests fenòmens resulta la formació dels minerals vitris coneguts com a obsidiana, fulgurita o tectita respectivament (imatges 1, 2 i 3).



Imatge 1 Obsidiana, per Mineral Education Coalition, s.d..



Imatge 2 Fulgurita, per Vives de la Cortada, s.d.



Imatge 3 Tectita, per Vives de la Cortada, s.d.

La major part del vidre amb el qual entrem en contacte avui dia, però, és creat per l'home de manera artificial. Tot i que es desconeix com es va donar exactament el seu descobriment, l'**origen** de la manufactura succeí durant del tercer mil·lenni abans de Crist, possiblement derivat d'un temprà intent del vidratge de ceràmica o del processament de minerals metàl·lics, ja que aquests també s'elaboren a partir de sílice exposada a altes temperatures (Koob, 2006, p. 11).

Amb el pas dels segles la tècnica de l'**elaboració de vidre** ha anat evolucionant, donant com a resultat l'arribada fins a l'actualitat d'objectes o peces de vidre amb composicions molt diverses. Tot i que per a la creació de vidre es parteix de l'òxid de sílice (SiO_2), obtingut a partir de sorra, sílex, quars o altres petits trossos de vidre (CAMEO, 2022a), a la Mediterrània i a Europa de l'est tradicionalment se li afegia tant òxid de sodi (Na_2O) per a disminuir el seu punt de fusió (que passava de 1600-1713 a 800°C) com cal viva (CaO) a manera d'estabilitzador, en una proporció 70-20-10, aproximadament. D'altra banda, a altres parts d'Europa durant l'època medieval i en vitralls venecians d'entre els segles XVI i XIX se substituïa l'òxid de sodi per carbonat de potassi

(K_2CO_3), donant així com a resultat un vidre alcalí menys estable i més propens a la degradació (Koob, 2006, p. 11-12). Altrament, a partir del segle XVII també es comença a elaborar el conegut com a “cristall de plom”, un vidre amb un mínim del 20% d’òxid de plom (II) (PbO) que li aporta una major brillantor (Corning Museum of Glass, s.d.).

Dintre de la composició del vidre, però, també cal tenir en compte la possible presència d’impureses, colorants i/o decolorants afegits durant el seu procés de fabricació, els quals podrien veure’s vinculats amb la velocitat d’envelliment del material o els diferents tipus d’alteracions que es puguin donar.

Tanmateix, independentment de la composició, la fosa dels diferents productes dona com a resultat un material mal·leable en calent que es pot treballar mitjançant diverses tècniques, d’entre les quals en serien un exemple el vidre bufat, el colat, el flotant, el premsat o el rodat (CAMEO, 2022a) (vegeu annex 1). A partir d’aquest es podran obtenir tant vidres plans com vidres amb volum, una de les classificacions més utilitzades per als materials vitris dintre de l’àmbit de la conservació-restauració.

Un cop refredat, el material endureix i perd el to vermell candent fins a adoptar un aspecte transparent, incolor i brillant en el seu estat pur, tot i que, com s’ha mencionat abans, se li poden afegir additius que poden alterar el color o l’opacitat. Pel que fa a altres **característiques** fisicoquímiques, el vidre finalment adopta una densitat d’entre els 2,4 i els 2,8 g/mL i un índex de refracció d’entre l’1,47 i l’1,70, dada que serà essencial per a l’elecció d’un producte restauratiu estèticament compatible. El vidre com a tal és insoluble en tots els dissolvents, excepte en àcid fluorhídric. També en destaca per ser higroscòpic i tenir un tipus de fractura concoidal (imatge 4) (CAMEO, 2022a).



Imatge 4 Fractura concoidal, per
FDMinerals, s.d.

2.1. Agents d'alteració i degradacions

Tal com explica van Giffen al blog del Corning Museum of Glass (2011), aquestes característiques del vidre es poden veure alterades per **l'aigua**, un dels seus principals agents d'alteració. Aquesta dissol el component alcalí, sigui l'òxid de sodi o el carbonat de potassi (sent aquest últim molt més soluble i més propens l'alteració), i dóna, en conseqüència, la degradació comunament anomenada *weathering* o “corrosió del vidre”. Davant d'una prolongada exposició a la humitat, llavors, l'aigua dissol els òxids metàl·lics i el vidre es corroeix formant petites plaques d'àcid silícic. Aquestes, alternades amb capes d'aire, doten al material d'un aspecte iridescent o, en cas que l'alteració es trobi molt avançada, d'un aspecte opac i incolor (imatge 5).



Imatge 5 Conjunt d'ampolles arqueològiques amb *weathering*, per van Giffen, 2011.

El *weathering*, és una alteració que es dóna especialment en el vidre arqueològic (conservat sota terra), ja que és aquest el que es pot trobar permanentment exposat a ambients humits, sobretot si es troben sota terres argiloses o entre sorres on es filtra aigua amb més facilitat.

En canvi, els vidres històrics, moderns o contemporanis no arqueològics exposats a humitats ambientals pateixen d'un altre tipus d'alteració coneguda com a “corrosió atmosfèrica” o “malaltia del vidre”. En conseqüència, el vidre adquireix un aspecte opac per la condensació interna d'aigua (*weeping*) que pot derivar en petites microfractures (*crizzling*) (imatge 6). Aquestes es veuen accentuades davant d'una elevada proporció d'àlcali en la composició (Blog Corning Museum of Glass, 2011).



Imatge 6 Superfície amb *crizzling* d'una copa, pel Corning Museum of Glass, 2011.

Paral·lelament, altre agent d'alteració comú en el material vitri és **l'aplicació de forces externes** sobre l'objecte (caigudes, impactes, aplicació de pes, etc.), ja que provoquen fractures i, consegüentment, la possible pèrdua de material original.

També **la pols i la brutícia** (que a més d'alterar l'aspecte estètic absorbeixen humitat) o **els canvis bruscos de temperatura** (que poden provocar fractures i pèrdues volumètriques) són altres factors que participen en l'alteració del vidre.

2.2. Tractaments

Tot i ser el *weathering* una de les alteracions més comunes del vidre arqueològic, no hi ha cap tractament que el pugui revertir, ja que l'eliminació de les noves capes d'àcid silícic suposarien també la retirada de part del material original. Malgrat això, segons la nova fragilitat que hagi adquirit del material, es pot valorar l'aplicació d'un **consolidant** que aturi la seva lixiviació, encara que molts professionals recomanen evitar aquest tipus d'intervenció en tractar-se d'una tècnica molt invasiva i poc reversible.

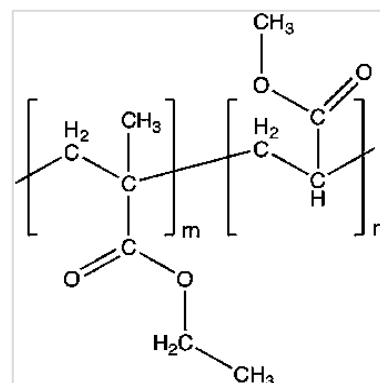
D'altra banda, en les primeres fases de la corrosió atmosfèrica com seria el *weeping*, una **neteja** de la peça la retornaria al seu estat original. Un cop avança l'alteració, però, aquesta també es torna irreversible (Corning Museum of Glass, 2011).

Pel que fa a la presència de fractures i pèrdues volumètriques, és comuna **l'adhesió dels diferents fragments** i la posterior **reintegració** de les llacunes. Igual que en el cas de les consolidacions, per a la realització d'aquests tractaments s'utilitzaria un producte adhesiu compatible amb el material original, reversible i estable davant l'envelliment.

En l'actualitat hi ha al mercat una àmplia gamma de productes destinats a l'adhesió, reintegració i consolidació de vidre. Entre aquests en destaquen com els més emprats el Paraloid® B-72 i les resines epoxídiques, a més dels productes sol-gel que també comencen a guanyar terreny dintre de la restauració.

3. Paraloid® B-72

El Paraloid® B-72, també conegut com a Acryloid® B-72 als Estats Units, és una resina acrílica, és a dir, un material termoplàstic creat a partir de la polimerització de monòmers de vinil amb grups de carbonils o nitrils (CAMEO, 2022b). Aquesta és estesa utilitzada dintre del món de la conservació-restauració de vidre per a l'adhesió de fragments, la consolidació de superfícies i la reintegració de pèrdues volumètriques (CAMEO, 2022c).



Imatge 7 Estructura química del Paraloid® B-72, per Baglioni, Raudino, Berti., Keiderling, Bordes, Holmberg i Baglioni, 2014.

La primera aparició del producte al mercat va ser sota el nom de Perspex®, impulsat per l'Institut de Societats d'Inversió® (ICI) l'any 1930. No va ser fins més tard, però, que l'empresa de Rohm & Haas® va presentar l'actualment conegut com a Paraloid® B-72, un copolímer de metacrilat d'etil i d'acrilat de metil que, finalment es comercialitzà el 1978 en proporcions al 70 i 30%, respectivament, valors que donaven al producte un aspecte transparent i incolor (G-IIC, s.d.).

3.1.1. Compatibilitat amb el vidre

PROPIETATS	VIDRE ¹	PARALOID® B-72
Composició	Silicat	Copolímer EMA
Color	Variable	Incolor i transparent
Índex de refracció	1,47-1,70 ²	1,487 ³
Densitat	2500 kg/m ³	660 kg/m ³ ⁴
Duresa (a escala de Mohs)	6	0-1 ⁴⁻⁵
Elasticitat (Mòdul de Young)	6,6 · 10 ¹³ Pa	6036 Pa ⁶
Resistència a la tracció	4 · 10 ⁷ Pa	2 · 10 ⁷ - 1,5 · 10 ⁸ Pa ⁷

¹ (Vitralba, s.d.)

² (Cameo, 2022b)

³ (GE-IIC, s.d.)

⁴ (Rohm and Haas, 2007)

⁵ Aproximació feta del pas de 10-11 de l'escala de Knoop a la de Mohs, segons Kobrick, Street i Klaus, 2011, p. 3.

⁶ (Schmidt, Shugar i Ploeger, 2017)

⁷ (Russel i Strilisky, 2016)

Taula 1 Comparativa de les propietats fisicoquímiques del vidre i del Paraloid® B-72.

Natalia Benítez Garcia - Paraloid® B-72, Resines Epoxy i Sol-gels. Comparativa de productes per a la restauració i conservació de vidre

Treball Final de Grau, Grau de Conservació-Restauració de Béns Culturals, Facultat de Belles Arts, Universitat de Barcelona, curs 2022-2023

A partir de les dades recollides a la taula 1, observem que material i producte tenen una **composició** compatible, ja que el silicat no es veu alterat pels copolímers etil metils acrílics.

El mateix succeeix amb l'aspecte estètic de tots dos materials perquè l'adhesiu és **incolor i transparent**, però també pot tenyir-se per a aconseguir un to més proper al del vidre original. A més, l'**índex de refracció** coincideix en ambdós: aquell del Paraloid® B-72 (1,487) és pràcticament el mateix que aquell dels vidres amb menys índex de refracció (1,47). Aquests valors baixos indiquen que la llum que traspasa el material es desvia lleugerament i, per tant, no presenta una transparència completament neta.

Per una altra part, la **densitat** de la resina (660 kg/m^3) és menor a la del vidre (2500 kg/m^3), la qual cosa indica que el seu pes és inferior i, en conseqüència, aportarà menys tensions i forces sobre la peça.

Tot i això, la baixa **duresa** del producte (0-1) podria suposar una alta facilitat de degradació enfront de rascades i erosions les zones on s'ha aplicat, en comparació amb les zones de vidre original de major duresa (6).

Pel que respecta a l'**elasticitat**, la baixa resistència a la deformació de la resina davant de dues forces oposades o contràries (només fins a 6036 Pa), podria aportar certa mobilitat al vidre restaurat. Així doncs, aquest fet podria evitar una nova fractura a la zona on s'ha aplicat el Paraloid® B-72 sigui com a adhesiu o com a reintegració.

Per acabar, la **resistència a la tracció** ens indica que el vidre aguanta millor una força axial en sentit contrari al seu centre (fins a $4 \cdot 10^7 \text{ Pa}$, potser inferior en vidres arqueològics) que no pas la resina acrílica ($2 \cdot 10^7$ - $1,5 \cdot 10^8 \text{ Pa}$). Per la qual cosa, no hi hauria cap perill al fet que el material original es trenqués durant la contracció produïda per l'assecatge del producte afegit.

3.1.2. Preparació i aplicacions

En l'actualitat, la **comercialització** del Paraloid® B-72 es dona principalment en forma de perles transparents a un **preu** que gira entorn els 3 i 5 € els 100 g, segons l'empresa i la quantitat de producte que es compri (Químics Dalmau, 2022). Tot i que és un producte que es pot trobar en el mercat llest per al seu ús, es recomana comprar-ho en aquest format sòlid per a poder ajustar la dissolució a les necessitats del tractament.

Segons la informació recollida al llibre de Stephen Koob (2006, p. 50), la **preparació** del Paraloid® B-72 és tan senzilla com fer una bosseta de gasa i fil de cotó amb 25 g de resina sòlida i, un cop llesta, ficar-la en un pot de vidre tocant la superfície dels 50 g d'acetona vessats prèviament. Després de 12-16 h aquesta ja s'haurà dissolt i només caldrà remenar-la per al seu ús.

Abans de la utilització del producte, però, cal tenir en compte altres característiques importants per a escollir el mètode i el moment d'aplicació, com seria la **viscositat**. En el cas d'aquesta resina, l'elaboració pròpia de la dissolució en permet ajustar aquesta viscositat a les necessitats de la intervenció, mitjançant l'ajustament de la seva concentració. A tall d'exemple, per a l'adhesió de fragments peça a peça caldrà un adhesiu més viscos, és a dir, amb una concentració més alta, mentre que per a adhesions per capil·laritat caldrà un producte més diluït i, per tant, més fluid (Koob, 2006, p. 52). És necessari tenir en compte, però, que la concentració augmentarà a mesura que el dissolvent s'evapori, fet que es donarà a una major velocitat enfront climes càlids.

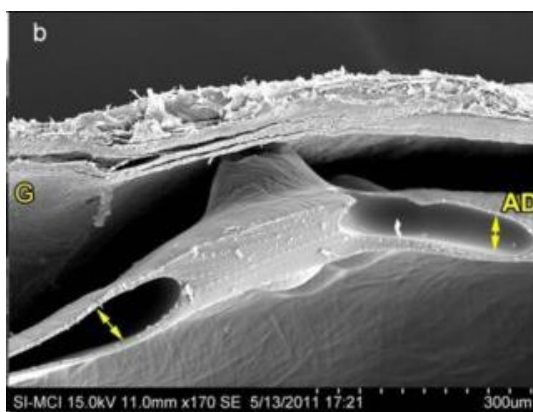
Tanmateix, altra propietat per a la qual també cal tenir en compte la temperatura ambiental en el moment d'aplicar l'adhesiu és la **temperatura de transició vítria (T_g)**, que en el cas del B-72 és de 40°C (Rohm and Haas, 2007). A partir d'aquesta temperatura el producte adopta un estat tou i gomós permanent, tot i haver solidificat prèviament.

Abans de la utilització del producte cal ser conscients també de la seva **toxicitat**. Segons la fitxa de dades de seguretat facilitada per l'empresa CTS® (2017a), el Paraloid® B-72 com a tal no es troba classificat com a producte perillós, ja que no té cap efecte negatiu per a la salut ni el medi ambient. Tot i això, cal saber els riscos que presenta el dissolvent amb el qual es barreja i prendre les mesures de seguretat necessàries. En el cas de l'acetona, per exemple, cal saber que és un producte irritatiu i inflamable, a més de poder provocar somnolència o vertigen (CTS®, 2017b).

Pel que fa a l'**aplicació**, aquesta variarà segons la finalitat que es tingui. En cas que es vulgui utilitzar per a l'adhesió de fragments es podrà fer mitjançant dos mètodes:

- Amb la unió peça per peça, aplicant la resina a les vores de cada fragment.
- A partir d'un assemblatge previ de les peces fet amb cinta adhesiva i la posterior aplicació de gotes de l'adhesiu a les juntes, el qual s'estendrà per capil·laritat.

És necessari tenir en compte, però, que en tractar-se d'un producte que endureix a causa de l'evaporació del dissolvent, es poden formar bombolles durant el seu assecatge (imatge 8), les quals podrien ser visibles en fractures netes. És per això, a més del seu baix índex de reflexió, que Stephen Koob només la utilització d'aquest producte en vidres arqueològics o altres d'opacs (Koob, 2006, p.57).



Imatge 8 Exemple de la formació de bombolles en l'aplicació de Paraloid® B-72 com a adhesiu de pell, per Horelick, Mchugh i Madden, 2011.

En canvi, per a utilitzar el producte com a consolidant s'aplica amb un pinzell o una pipeta, tot i que és un tractament poc utilitzat per ser massa invasiu i poc reversible (Koob, 2007, p. 55).

Pel que respecta a les reintegracions, el producte es pot aplicar mitjançant làmines de Paraloid® B-72 creades a partir de motlles oberts on s'aboca el producte en una concentració del 30%. Un cop assecat, el film es manté flexible i permet retallar la forma desitjada per a reintegrar la pèrdua, adherint la nova peça a l'original amb unes gotes més de la mateixa resina (imatge 9) (van Giffen, 2011).



Imatge 9 Retall de la fulla de Paraloid® B-72 per a una reintegració, per van Giffen, 2011.

D'altra banda, també és popular la creació d'aquestes làmines de resina acrílica a partir de paper japonès com a suport, impregnant-lo i deixant-lo endurir. Cal tenir en compte, però, que aquestes reintegracions no suporten pes, per la qual cosa no serien la millor opció per a assegurar l'estabilitat de la peça davant de llacunes grans (Bristow i Cutajar, 2017, p. 193).

Posteriorment a l'aplicació cal tenir en compte el **temps d'enduriment** del producte. En aquest cas, aquest temps varia segons les condicions ambientals amb les quals s'estigui treballant, ja que, tal com s'ha mencionat anteriorment, això influirà en la velocitat d'evaporació del dissolvent. Un cop s'hagi endurit, però, el producte encara es pot dissoldre, per exemple, amb acetona, sent així un producte **reversible**, com a mínim, durant els primers anys des de l'aplicació.

Pel que fa a l'**envelliment** del Paraloid® B-72 un cop aplicat i assecat, aquest es considera un dels metacrilats més estables del mercat, a més de ser resistent a l'oxidació, la hidròlisi i la calor moderada (GEC-IIC, s.d.). D'altra banda, articles publicats recentment confirmen una petita acidificació, pèrdua d'elasticitat i esgrogueïment de la resina acrílica després de 12-27 anys d'envelliment (Down, 2015, p. 53). A altres estudis també s'exposa que aquestes poden tornar-se irreversibles davant de la calor i la llum (Feller, 2008, p.16).

4. Les resines epoxídiques

Les resines *epoxy* són un conjunt de polímers termoestables on grups d'epòxids (compostos orgànics amb un grup funcional de dos carbonis i un oxigen) reaccionen químicament amb l'ajuda d'un catalitzador, donant com a producte un material dur i transparent. Aquestes resines van ser patentades per Pierre Castan a Suïssa l'any 1939, i va ser a partir dels anys 40 i 50 que es van desenvolupar i es va estendre la seva utilització (CAMEO, 2022d).

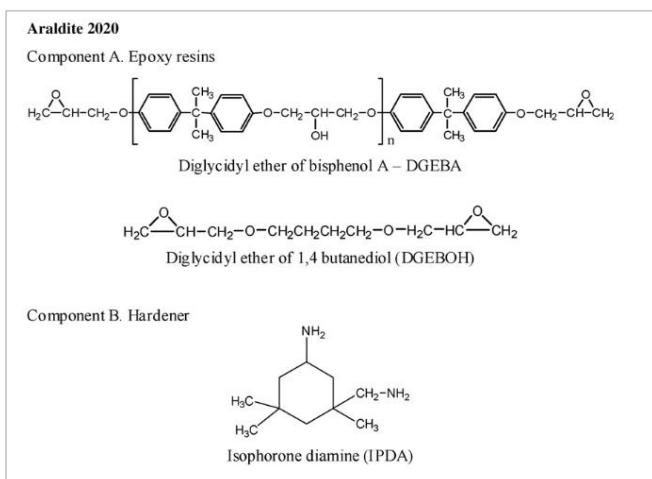
L'aparició d'aquests nous productes va suposar un gran avanç dintre del món de la conservació-restauració, ja que són resines que presenten una força d'adhesió molt més elevada que els productes naturals o les resines acríliques, la qual cosa permet una major estabilitat en la reconstrucció de peces grans i pesades. A més, tal com recull Stephen Koob al seu llibre (2006), l'ús de les *epoxy* també es va veure motivat pel seu elevat índex de refracció, que permet que les intervencions realitzades en vidres totalment transparents siguin quasi imperceptibles a ull nuu.

Tot i que a actualment hi ha un gran nombre de resines epoxídiques comercialitzades, per a la conservació i restauració de vidre Stephen Koob (2006) en destaca tres de les més utilitzades: Araldite® 2020, Epo-Tek® 301-2 i HXTAL NYL-1.

4.1. Araldite® 2020

L'Araldite® 2020 és un producte compost per la barreja de dues resines *epoxy*, un éter diglicídic de bisphenol A i un éster diglicídic de 1,4-butanediol (component A), a més d'un catalitzador format a base d'isoforona diamina (component B) (imatge 10) (Karayannidou, Achilias i Sideridou, 2006, p. 3312).

El producte va ser desenvolupat per Huntsman International LLC, qui va patentar l'Araldite® l'any 1946 a Suècia i qui va comercialitzar diferents variants del mateix producte, entre les quals es troba aquella designada com a "2020" (Araldite®, s.d.).



Imatge 10 Estructura química de l'Araldite® 2020, per Karagiannidou, Achilias i Sideridou, 2006.

4.1.1. Compatibilitat amb el vidre

PROPIETATS	VIDRE ¹	ARALDITE® 2020
Composició	Silicat	Éter diglicídic (A) Isoforona diamina (B) ²
Color	Variable	Incolor i transparent
Índex de refracció	1,47-1,70 ³	1,553 ⁴
Densitat	2500 kg/m ³	1170 kg/m ³ ⁵
Duresa	6 (escala de Mohs)	56-100 (Shore D) ⁶
Elasticitat (Mòdul de Young)	6,6 · 10 ¹³ Pa	9,04 · 10 ⁸ Pa
Resistència a la tracció	4 · 10 ⁷ Pa	2,5 · 10 ⁷ Pa ⁴

¹ (Vitralba, s.d.)

² (Karayannidou, Achilias i Sideridou, 2006, p. 3312)

³ (Cameo, 2022a)

⁴ (dostkimya, s.d.)

⁵ (CTS®, 2017)

⁶ (Samaro®, s.d)

Taula 2 Comparativa de les propietats fisicoquímiques del vidre i del Araldite® 2020

A partir de les dades recollides a la taula 2, s'observa que, respecte a la **composició** i el **color**, hi ha una bona compatibilitat amb el vidre, ja que cap dels seus components reacciona amb el silicat del vidre i, a més, és un producte incolor i transparent. Amb relació a l'**índex de refracció**, aquest és molt elevat (1,533), per la qual cosa és una de les resines més compatible amb els vidres especialment transparents i nous.

Per una altra banda, la **densitat** de l'Araldite® 2020 és molt baixa (1170 kg/m^3), el que significa que aportarà poc pes a la peça amb la seva aplicació.

En el cas de la **duresa**, només s'ha trobat la dada en escala Shore D (56-100), la qual permetrà fer una comparació amb la resta de resines epoxídiques, però no amb el vidre, que es troba mesurat en escala de Mohs.

Per un altre costat, l'**elasticitat** és baixa ($9,04 \cdot 10^8 \text{ Pa}$), per la qual cosa té una elevada resistència a la deformació davant de l'aplicació de forces contràries o oposades. Tot i això, la seva elasticitat continua sent superior a la del vidre ($6,6 \cdot 10^{13} \text{ Pa}$).

A més a més, és un material que té poca **resistència a la tracció** ($2,5 \cdot 10^7 \text{ Pa}$), el que suposa que té més tendència a trencar-se davant d'una força de tracció que no pas el vidre. És per aquest motiu, llavors, que quan es contregui durant el seu enduriment, en comptes de fracturar-se l'original és més probable que ho faci la resina.

4.1.2. Preparació i aplicacions

L'Araldite® 2020, es **comercialitza** separat en dos components: la resina (A) i el catalitzador (B), normalment en estat líquid. És comú també trobar la seva venda juntament amb un aplicador que barreja tots dos components al broquet en el moment de la utilització. Pel que respecta al **preu**, es tracta d'una de les *epoxy* més econòmiques, ja que el seu cost gira entorn dels 15 € els 100 g (Samaro®, s.d).

En el cas d'aquesta resina, la **preparació** es fa en una proporció de 100:30 en pes (resina:catalitzador) (CTS®, 2017). Aquesta es porta a terme mitjançant l'abocament de la quantitat precisa de cadascun dels components en un got de vidre, on es barrejaran durant 5 minuts. Cal incloure també un interval de repòs a mig procés, el qual assegurarà l'obtenció d'un producte ben homogeni (Koob, 2006, p. 66-67).

Abans de l'aplicació del producte, però, cal tenir en compte que la seva **viscositat** és de 150 cPs (Barbosa et al., 2012). Aquesta és massa elevada perquè l'adhesiu pugui penetrar per capil·laritat.

També és necessari saber que la seva **temperatura de transició vítria (T_g)** és de 49,8 °C (Coutinho et al., 2008, p. 129), per la qual la resina en principi no tindria problemes de solidificació enfront de climes càlids, a excepció de trobar-se amb temperatures massa extremes.

Davant de la **toxicitat** de la resina, la qual és irritativa i corrosiva, cal l'ús d'un EPI (equip de protecció individual) compost per guants, ulleres de protecció i bata blanca, a més de ser necessària una bona ventilació o una campana extractora durant la utilització. En tractar-se també d'un producte nociu per al medi ambient, finalitzat el tractament s'ha d'abocar als contenidors corresponent segons la normativa de residus perillosos (CTS[®], 2017).

Pel que respecta al seu procés d'**aplicació**, la seva elevada viscositat fa que l'adhesió de fragments s'hagi de fer mitjançant la col·locació de l'adhesiu a les cares fracturades de cadascun dels fragments, per tal de remuntar-ho peça per peça.

Amb relació a la consolidació, la seva elevada viscositat no el fa recomanable per a aquest tipus d'intervencions.

En el cas de la reintegració, l'*epoxy* normalment s'aboca a la llacuna on prèviament s'ha col·locat un motlle o suport senzill fet de cera de dentista, cinta adhesiva, plastilina o silicona, entre altres opcions. Es recomana, però, aplicar també una capa de Paraloid[®] B-72 com a revestiment de les vores de la llacuna, assegurant així una millor adhesió de l'Araldite[®] 2020 sense necessitat de polir o rascar l'original (Koob, 2006, p. 76-86).

Un cop aplicat el producte, aquest té un **temps d'enduriment** total de 25 h a una temperatura ambient de 23°C (CTS[®], s.d.), període en el qual s'haurà de procurar no moure la peça i subjectar bé les parts adherides per evitar desplaçaments no desitjats. Així mateix, un cop endurida és **irreversible**, igual que succeeix amb la resta d'*epoxys*.

Segons l'estudi realitzat per Coutinho, Ramos, Lima i Fernanedes (2008), l'Araldite® 2020 presenta certs problemes d'**envelliment**, ja que davant de 300 h d'exposició a la llum s'origina un notable esgrogueïment de la resina (imatge 11), a més d'un augment de la seva rigidesa.



Imatge 11 Resultat de l'exposició a la llum de l'Araldite® 2020 durant 0, 100, 200 i 300 h, d'esquerra a dreta, per *Coutinho, Ramos, Lima i Fernanedes, 2008*.

4.2. Epo-Tek® 301-2

L'Epo-Tek® 301-2 és una resina epoxídica formada per Bisfenol A amb èter glicídic i polioxipropilendiamina com a catalitzador (Epoxy Technology®, 2018).

Aquesta *epoxy* va ser desenvolupada per l'empresa Epoxy Technology, la qual va ser fundada l'any 1966 per Frank W. Kulesza (Epoxy Technology, s.d.). A partir d'aquesta data es van començar a desenvolupar nombrosos tipus d'Epo-Tek® amb diferents propietats fisicoquímiques, entre els quals es troba aquell recomanat pel Koob (2006).

4.2.1. Compatibilitat amb el vidre

PROPIETATS	VIDRE ¹	EPO-TEK® 301-2
Composició	Silicat	Bisfenol A + Èter diglicídic (A) Polioxipropilendiamina (B) ²
Color	Variable	Incolor i transparent
Índex de refracció	1,47-1,70 ³	1,532 ⁴
Densitat	2500 kg/m ³	95000 kg/m ³ ⁵
Duresa (escala de Mohs)	6 (escala de Mohs)	80 (Shore D) ²
Elasticitat (Mòdul de Young)	6,6·10 ¹³ Pa	4,5·10 ⁹ Pa
Resistència a la tracció	4·10 ⁷ Pa	66,63·10 ⁷ Pa ⁶

¹ (Vitralba, s.d.)

² (Epoxy Technology®, 2018)

³ (Cameo, 2022a)

⁴ (Epoxy Technology, 2021)

⁵ (Epoxy Technology®, 2014)

⁶ (Cease, Derwent, Diehl, Fast i Finley, 2006)

Taula 3 Comparativa de les propietats fisicoquímiques del vidre i del Epo-Tek 301-2.

Tal com s'exposa a la taula 3, tant pel que fa a la **composició** com pel que fa al **color** tots dos són materials compatibles, ja que la resina no reacciona amb el silicat del vidre i, a més, és incolora i transparent. En referència a altres característiques estètiques, l'**índex de refracció** de la resina és bastant elevat (1,532), la qual cosa fa d'ella el producte idoni per a vidres especialment transparents com el de plom.

Pel que respecta a la **densitat**, aquesta és molt més elevada que la del vidre (95000 kg/m^3), la qual cosa suposa més pes afegit amb l'aplicació del producte. Aquest fet podria ser un inconvenient en objectes fràgils.

El producte també presenta una **duresa** bastant alta en comparació amb les altres *epoxy* (80 en escala Shore D), fet que asseguraria un millor estat de conservació de les intervencions davant dels possibles impactes.

En el cas de l'**elasticitat**, aquesta presenta molta resistència a la deformació ($4,5 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$), per la qual cosa es mantindria rígida davant de forces oposades o enfrontades. Tot i això, aquesta continua sent inferior a la del vidre.

Per acabar, la **resistència a la tracció** (66,63 MPa) és molt més elevada que no pas la del vidre, per la qual cosa hi ha perill que el vidre es trenqui abans que la mateixa resina, especialment amb la contracció de l'adhesiu durant l'enduriment.

4.2.2. Preparacions i aplicacions

La **comercialització** de l'Epo-Tek® 301-2 es fa com a producte líquid bicomponent. El seu elevat **preu**, però, fa que no sigui de les resines més emprades, ja que aquest gira entorn dels 138 € per 100 g (Productos de Conservación, s.d.).

Pel que fa a la **preparació**, es fa en proporció 100:35 en pes (resina:catalitzador) (Epoxy Technology, 2021), i la tècnica serà la mateixa que aquella utilitzada per a la resina Araldite® 2020: barrejar durant 5 minuts en un got de vidre deixant una estona de repòs entremig.

Previ a l'aplicació cal tenir en compte la **viscositat**. En el cas de l'Epo-Tek® 301-2 aquesta és d'entre 225-425 cPs a una temperatura ambient de 23 °C (Epoxy Technology, 2021), per la qual cosa presenta una viscositat elevada que el fa no recomanable per a l'aplicació per capil·laritat.

En el cas d'aquesta resina, la **temperatura de transició vítria (Tg)** és de 80°C, per la qual cosa no hi hauria risc que el producte no solidifiqués tot i fer-ho en climes calorosos (Epoxy Technology, 2021).

Respecte a la **toxicitat**, serà necessari l'ús d'un EPI compost per guants, bata i ulleres de protecció, ja que és un producte corrosiu i irritant. En aquest cas caldrà tenir en compte també que és contaminant, per la qual cosa serà necessari llençar-ho als contenidors adequats un cop acabada la seva utilització (Epoxy Technology[®], 2018).

L'**aplicació** de l'Epo-Tek[®] 301-2, en el cas de l'adhesió de fragment, també es fa posant adhesiu peça per peça degut a l'elevada viscositat del producte.

Pel mateix motiu, tampoc és un producte utilitzat per a la consolidació de superfícies.

Pel que fa a la reintegració volumètrica, el procés és el mateix que amb la resta de les epoxy: cal l'aplicació prèvia d'un revestiment de Paraloid[®] B-72 a les vores i el posterior abocament de la resina al motlle o suport senzill (Koob, 2006, p. 76-86).

Un cop abocada la resina, caldrà tenir en compte que el **temps d'enduriment** total del producte és de 48 h a una temperatura ambient de 23°C (Epoxy Technology, 2021). Igual que la resta de resines epoxídiques, és **irreversible** un cop finalitzada la seva catalització.

En el cas de l'Epo-Tek[®], a partir de processos d'**envelliment** accelerat s'ha pogut observar un clar esgrogueïment de la resina després de 300 h d'exposició a la llum (imatge 12) i un augment en la resistència a la deformació (mòdul de Young), fent d'aquesta una de les resines més sensibles a la fotodegradació (Coutinho et al., 2008).

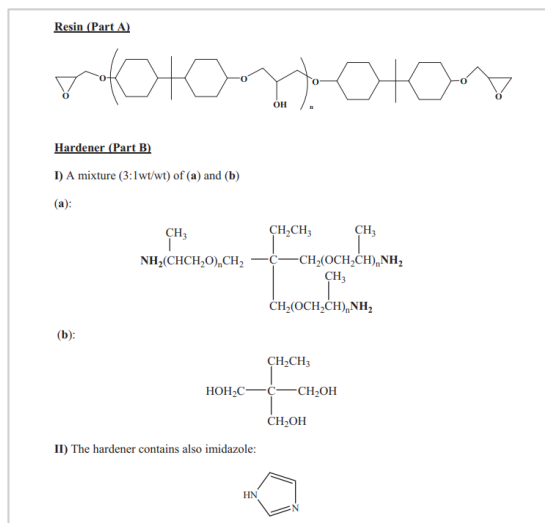


Imatge 12 Resultat de l'exposició a la llum del Epo-Tek[®] 301 durant 0, 100, 200 i 300 h d'esquerra a dreta, per Coutinho, Ramos, Lima i Fernandes, 2008.

4.3. HXTAL NYL-1

L'HXTAL NYL-1 és una substància epoxídica formada per dos components (imatge 13): una resina d'epoclorhidrina i un catalitzador a base d'amina d'èter alquil i imidazoles (University of Louisville, 1989).

Segons l'article elaborat per Sideridou, Vouvoudi i Papadopoulos (2016), aquesta resina va ser creada en 1983 per Herbert V. Hillary amb la col·laboració dels laboratoris Texaco and Shell.



Imatge 13 Estructura química de la resina i del catalitzador del HXTAL NYL-1, per Sideridou, Vouvoudi i Papadopoulos, 2016.

4.3.1. Compatibilitat amb el vidre

PROPIETATS	VIDRE ¹	HXTAL NYL-1
Composició	Silicat	Epoclorhidrina (A) Amina d'èter alquil + Imidazoles (B) ²
Color	Variable	Incolor i transparent
Índex de refracció	1,47-1,70 ³	1,515 ⁴
Densitat	2500 kg/m ³	980 - 1090 kg/m ³ ⁵⁻⁶
Duresa	6 (Escala de Mohs)	73 - 78 (Shore D)
Elasticitat (Mòdul de Young)	6,6 · 10 ¹³ Pa	2,17 · 10 ⁹ Pa
Resistència a la tracció	4 · 10 ⁷ Pa	3,723 · 10 ⁷ Pa ⁴

¹ (Vitalba, s.d.)

² (University of Louis Ville, 1989)

³ (Cameo, 2022a)

⁴ (HXTAL Adhesive, 2010)

⁵ (KREMER Pigmente, 2006)

⁶ (Labshop, 2006)

Taula 4 Comparativa de les propietats fisicoquímiques del vidre i del HXTAL NYL-1.

A partir de la comparació de dades (taula 4) es pot observar que, pel que fa a la **composició**, són tots dos materials compatibles entre ells, ja que el silicat del vidre no reacciona amb cap dels components que formen la resina.

El mateix passa amb el **color**, perquè tots dos materials són transparents i, en cas que fos necessari, la resina es pot tenyir amb els colorants adequats. En referència a la compatibilitat estètica també coincideixen els **índexs de refracció**: aquest valor de l'*epoxy* (1,515) es troba dintre del marge d'aquells que comunament té el vidre (1,47-1,70) tot i que per a peces especialment transparents potser en serien més adequades resines amb un valor de refracció més alt.

Pel que fa a la **densitat**, aquesta és inferior a la del vidre ($1090 - 980 \text{ kg/m}^3$ enfront de 2500 kg/m^3), però és prou alta per a aportar pes amb l'aplicació del producte.

En el cas de la **duresa** (78/73 en Shore D), en relació a les altres *epoxy* és mitjana, per la qual cosa resistiria bé a qualsevol incisió o impacte fets a la zona on s'hagi aplicat el producte.

Pel que respecta a l'**elasticitat**, l'*epoxy* té menor resistència que el vidre a la deformació elàstica sota càrrega ($2,17 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ enfront de $6,6 \cdot 10^{13} \text{ Pa}$), però aquesta continua sent bastant elevada, per la qual cosa el resultat de les intervencions seria bastant rígid.

Finalment, s'observa que la **resistència a la tracció** de la resina és alta ($3,723 \cdot 10^7 \text{ Pa}$), quasi la mateixa que el vidre ($4 \cdot 10^7 \text{ Pa}$). Aquest fet suposa que amb vidres més antics o fràgils el producte pot superar la resistència del material original i trencar-ho durant la seva contracció.

4.3.2. Preparació i aplicacions

En l'actualitat l'HXTAL NYL-1 es troba **comercialitzat** en format líquid com a bicomponent. És necessari destacar, però, el seu elevat **preu**, ja que aquest es troba al voltant dels 60 € per cada 100 g (MuseuM Services Corporation, s.d.).

De cara a la **preparació** del producte, es barreja en proporció 3:1 per pes (resina:catalitzador) segons s'indica a la seva fitxa tècnica (HXTAL Adhesive, 2010). El mètode de preparació serà el mateix que en els casos anteriors (barrejar en recipient de vidre durant 5 minuts).

Abans de l'aplicació, però, cal tenir en compte també la seva **viscositat**, la qual és de 200-300 cPs (Laganà et al., 2014, p. 2). Aquesta és també massa elevada perquè penetri entre les fractures mitjançant capil·laritat.

Per una altra banda, la **temperatura de transició vítria (T_g)** en aquest cas és de 47,4 °C (Coutinho et al., 2008, p. 129), per la qual cosa en principi el clima no hauria de ser una preocupació en front a la solidificació del producte, ja que és difícil arribar a aquestes temperatures.

Segons la fitxa tècnica, el producte té certa **toxicitat**, perquè els components de la resina poden causar irritació a la pell i als ulls (KREMER Pigmente, 2006) mentre que el catalitzador és corrosiu i nociu (Labshop, 2006). Per aquest motiu caldrà la utilització d'un EPI durant el seu ús que compti amb ulleres, guants, bata i mascareta adequada, i a ser possible complimentar-ho amb un extractor.

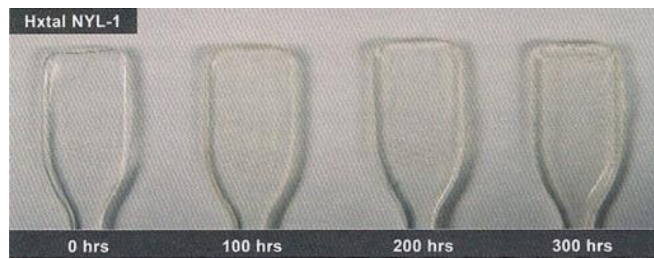
Pel que fa a l'**aplicació**, l'adhesió de fragments es fa posant el producte a la cara fracturada de cadascuna de les peces que posteriorment es remuntaran, una per una.

Com que no és un producte que s'estengui amb facilitat per capil·laritat, no s'utilitza per a la consolidació de superfícies.

Per a la reintegració volumètrica, el més comú és l'abocament del producte sobre un motlle o un suport senzill prèviament adherit a la llacuna, igual que es faria amb la resta de resines epoxídiques (Koob, 2006, p. 76-86).

En el cas de l'HXTAL NYL-1, el **temps d'assecatge** fins a arribar a la catalització total del producte gira entorn els 7 dies, marge en el qual el producte encara seria reversible en gran manera. Un cop s'ha endurit per complet, però, es torna **irreversible**.

En relació amb l'**envelliment** del producte, l'estudi de Coutinho, Ramos, Lima i Fernandes (2008, p. 132) confirma que es tracta d'una de les resines amb menys índex d'esgrogueïment després de 300 h d'exposició a la llum (imatge 14) i de les més estables pel que fa a la fotodegradació en general.



Imatge 14 Resultat de l'exposició a la llum del HXTAL NYL-1 durant 0, 100, 200 i 300 h, per *Coutinho, Ramos, Lima i Fernanedes, 2008*.

5. Productes sol-gel

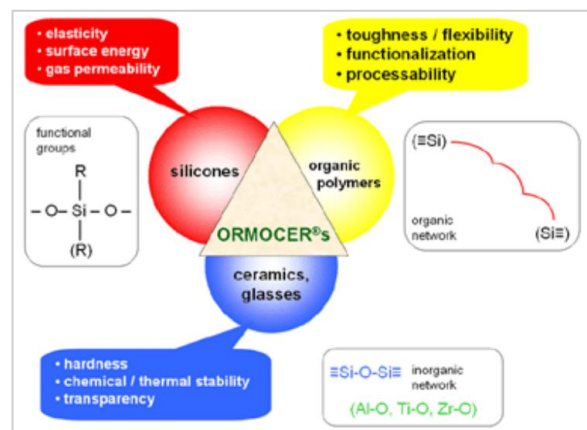
A banda de la resina acrílica i les resines epoxídiques, en l'actualitat s'utilitzen cada vegada més les solucions sol-gel com a mètode de consolidació de diferents materials, entre els quals també es troba el vidre.

El sol-gel és una tècnica de producció de material on es crea un sòlid a partir de dispersions col·loïdals (també anomenades “sols”) en format gel (MaterialesEcológicos, s.d.). Tot i que el terme el va encunyar Graham Thomas en 1864, va ser Walter A. Patrick qui, el 1919, va patentar el primer mètode sol-gel ràpid i econòmic per a la producció de gel silicat (Ciriminna et al. 2013).

A partir d'aquell moment es van començar a realitzar més estudis i es va anar ampliant el seu camp d'aplicació fins a arribar al món de la conservació-restauració, on va destacar per la seva bona estabilitat i gran compatibilitat amb els materials silicats. Així doncs, van començar a comercialitzar-se productes especialitzats en aquest camp professional, entre els quals en trobem l'ORMOCER® G, SIOX-5 RE20C i Cloisil A18.

5.1. ORMOCER® G

L'ORMOCER® G, és un polímer híbrid orgànic-inorgànic batejat amb les sigles angleses d'*OR*ganic *MO*dified *CER*amic (Gradmann, Badr i Schüssler, 2012, p. 212), acompanyades d'una “G” en referència al dissenyat específicament per a vidre (*Glass*). Així doncs, el producte es troba compost per silicones, polímers orgànics i compostos inorgànics provinents de ceràmiques i vidres (imatge 15), concretament per etil acetat, 2-butoxyethanol, diòxid de silicó i etanol (Fraunhofer ISC, 2021, p. 3).



Imatge 15 Diagrama dels components del ORMOCER®, per Gradmann, Badr i Schüssler, 2012 p. 212.

La varietat d'utilitzacions del producte és molt àmplia (com a antiadherent, com a tecnologia mecànica, com materials dentals, etc.), però dintre de la conservació-restauració de material vitri

en destaca especialment el seu ús com a protector de superfícies, tot i que també s'utilitza com a adhesiu consolidant (Fraunhofer ISC, 2023).

L'origen del producte es troba a l'institut alemany *Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC*, qui el va desenvolupar ja fa trenta anys segons s'indica a la seva pàgina web (Fraunhofer ISC, 2023).

5.1.1. Compatibilitat amb el vidre

PROPIETATS	VIDRE ¹	ORMOCER®*
Composició	Silicat	Etil acetat + 2-butoxyetanol + diòxid de silicona + etanol ²
Color	Variable	Incolor i transparent
Índex de refracció	1,47-1,70 ³	1,503-1,534
Densitat	2500 kg/m ³	1002 kg/m ³ ⁴
Duresa (a escala de Mohs)	6 (escala de Mohs)	406,08 N/mm ² (escala de Martens) ⁵
Elasticitat (Mòdul de Young)	6,6 · 10 ¹³ Pa	1,07 · 10 ¹⁰ Pa ⁶
Resistència a la tracció	4 · 10 ⁷ Pa	2,692 · 10 ⁷ Pa ⁷

¹ (Vitralba, s.d.)

*Davant la poca informació disponible de la variant d'ORMOCER® G per al vidre, les propietats, a excepció de la composició, correspondran a aquelles del producte genèric.

² (Fraunhofer ISC, 2021)

³ (Cameo, 2022a)

⁴ (Fraunhofer ISC, s.d.-a)

⁵ (Emmert et al., 2021, p. 14)

⁶ (Kalra, et al., 2012)

⁷ (Merino, 2021)

Taula 5 Comparativa de les propietats fisicoquímiques del vidre i del ORMOCER®

Començant per la **composició**, a la taula 5 s'observa que tots dos materials són compatibles, ja que en principi cap dels components del sol-gel afectaria de forma negativa al silicat del vidre.

Pel que respecta al **color**, l'ORMOCER® parteix d'una base transparent a la qual se li pot afegir colorant per tal que quedi homogeni amb el vidre, si fos necessari (Fraunhofer ISC, s.d.-a). D'altra

banda, l'**índex de refracció** té un valor no gaire alt (1,503-1,534) però coincident amb aquell del vidre (1,47-1,70).

En el cas de la **densitat**, tot i no arribar als mateixos valors que el vidre (2500 kg/m^3), aquesta és bastant elevada (1002 kg/m^3), per la qual en aplicar el producte aquest afegirà cert pes a la peça original.

Malauradament, el valor de la **duresa** no s'ha pogut trobar en la mateixa escala. Tot i això, s'observa que el sol-gel té un valor mitjà dintre de l'escala de Martens ($406,08 \text{ N/mm}^2$) similar al valor mitjà-alt que tindria el vidre dintre de l'escala de Mohs (6). Com aquest últim té lleugerament més resistència a la perforació i la rascada, el producte aplicat es degradaria abans que l'original.

Amb relació a l'**elasticitat**, tot i tenir valors inferiors al vidre ($6,6 \cdot 10^{13} \text{ Pa}$), el producte té certa resistència a la deformació ($1,07 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$). Aquesta baixa elasticitat redueix la mobilitat de les peces adherides davant de l'aplicació d'alguna força externa, augmentant així la possibilitat de trencament.

Per acabar, la **resistència a la tracció** del sol-gel és elevada ($2,692 \cdot 10^7 \text{ Pa}$) però no tant com per a superar la del vidre ($4 \cdot 10^7 \text{ Pa}$). Així doncs, durant el procés d'enduriment és poc probable que el producte se separi de l'original ni que provoqués el seu trencament.

5.1.2. Preparació i aplicacions

Actualment, l'ORMOCER[®] es **comercialitza** sense diluir però en estat líquid. El **preu**, segons la informació facilitada per Martin Kilo (líder de grup de Fraunhofer ISC), giraria entorn dels 1750 € per 100 mL del producte.

Per a la **preparació**, llavors, caldrà dissoldre-ho amb acetat d'etil, tot i que en alguns casos també s'afegeix Paraloid[®] B-72 en proporció 50:50, segurament amb la finalitat de millorar el seu poder adhesiu. En seria un exemple la intervenció experimental realitzada a la Catedral de la Colònia a Alemanya, portada a terme dintre del projecte CONSTGLASS (s.d.-a).

Abans de l'aplicació també cal tenir en compte la **viscositat** del producte. En aquest cas té un valor especialment baix d'entre 10,52 i 12,02 cPs (Fraunhofer ISC, s.d.-a), propietat que facilita la seva penetració en les diferents esclatxes o fractures.

Una altra dada a mirar és la **temperatura de transició vítria (T_g)**, que en el cas d'aquest sol-gel és de 300 °C (Fraunhofer ISC, s.d.-b), per la qual cosa es pot utilitzar a qualsevol temperatura ambient, ja que endurirà fins i tot en climes extremadament càlids.

Pel que fa a la seva **toxicitat**, es tracta d'un producte inflamable i irritatiu per a pell i ulls, per la qual cosa caldrà usar sempre EPI amb guants, bata i ulleres de protecció, a més de mantenir-se lluny d'espurnes o foc. També és recomanable fer servir el producte en espais molt ben ventilats o amb campana extractora per a no respirar els gasos irritants (Fraunhofer ISC, 2021).

Per a l'**aplicació**, en la seva utilització com a protector o consolidant, només cal estendre el producte per la zona a protegir amb l'ajuda d'un pinzell. D'altra banda, també es pot emprar impregnant un teixit de fibra de vidre en aquest, reforçant així els vidres clivellats i donant un suport extra (Brinkmann i Wittstadt, 2013).

Pel que fa a l'adhesió de fragments, tot i tenir cert poder adhesiu, la seva viscositat és insuficient perquè pugui ser útil.

Malauradament, no hi ha registres de l'experimentació del producte com a material reintegrador, tot i que és probable que, al igual que altres sol-gels, no sigui apte per a aquest tipus de tractaments (vegeu annex 2).

Un cop aplicat i passat el **temps d'enduriment** de 72 h formarà, per si sol, una capa estable i forta, sense necessitat d'exposicions a UV (Gradmann, Badr i Schüssler, 2012). Segons les proves fetes per CONSTGLASS (s.d.-a), un cop endurit es pot retirar parcialment el producte amb gel de MEK (metiletilcetona), tot i que, en deixar restes, es consideraria igualment un producte **irreversible com a consolidant**.

Pel que fa a l'**envelliment**, el seguiment fet per CONSTGLASS (s.d.-a) mostra un producte estable, sense cap afecció relacionada amb el pas dels vint-i-dos anys des de la seva primera aplicació. Tot i això, l'Institut de Recerca del Silicat Fraunhofer continua intentant millorar el

producte i, en conseqüència, recentment han tret al mercat la versió biodegradable: bioORMOCER®. La seva utilització, però, de moment només sembla enfocada cap a la indústria i l'embalatge (Emmert et al., 2021).

5.2. SIOX-5 RE20C

Un altre producte sol-gel és el SIOX-5 RE20C, un gel nanoestructurat de sílice específic per a la consolidació de vidre arqueològic i pintures sobre vidrieres. Aquest funciona a partir de la formació d'un film de sílice vidriós (de fórmula SiO_x), que es crea a partir de la catalització de l'ortosilicat tetraetilic (*Tetra Ethyl Ortho Silicate*, TEOS) mitjançant estany (IV) en solució aquosa (Bertoncello, Dal Bianco i Voltolina, 2007, p. 1).

Aquest consolidant va ser inventat per Renzo Bertocello, Barbara Dal Bianco i Stefano Voltolina, i es patentà l'any 2007 per l'*Università degli Studi di Padova*, segons ho confirma aquest mateix document. Actualment, el producte el comercialitza l'empresa Siltea, i ja s'ha començat a aplicar en algunes intervencions de restauració. Un exemple és la portada a terme per Silvia Ferucci, Rosa Barovier Mentasti i Cristina Tonini sobre un ruixador de vidre esmaltat datat del segle XVI (2020, p. 91-109).

5.2.1. Compatibilitat amb el vidre

PROPIETATS	VIDRE ¹	SIOX-5 RE20C
Composició	Silicat	Nanosilicats [Etanol, TEOS, aigua i Sn(IV)]
Color	Variable	Incolor i transparent
Índex de refracció	1,47-1,70	-
Densitat	2500 kg/m ³ ²	869 kg/m ³ ³
Duresa (a escala de Mohs)	6	-
Elasticitat (Mòdul de Young)	6,6·10 ¹³ N/m ²	-
Resistència a la tracció	40 MPa	-

¹ (Vitalba, s.d.)

² (CAMEO, 2022a)

³ (Siltea, s.d.-a)

Taula 6 Comparativa de les propietats fisicoquímiques del vidre i del SIOX-5 RE20C

Començant per la **composició**, tal com s'observa a la taula 6 ambdós materials són totalment compatibles, ja que estan formats a base de silicats.

Respecte al **color**, el SIOX-5 també és un producte idoni per a la seva utilització sobre vidre, perquè és transparent i incolor i no alteraria l'aspecte de l'original.

D'altra banda, té una **densitat** realment baixa (869 kg/m^3), per la qual cosa la peça original no rebrà pes extra amb l'aplicació producte, un avantatge per al tractament d'objectes fràgils.

La resta de dades (índex de refracció, duresa, elasticitat i resistència a la tracció) no s'han pogut trobar a cap fitxa tècnica ni a cap estudi publicat en línia. Tot i això, considerant que el material resultant un cop endurit és química i estructuralment semblant al vidre, és poc probable que alguna d'aquestes propietats doni problemes de compatibilitat.

5.2.2. Preparació i aplicacions

Segons el responsable de vendes de Siltea, Michele Cecchin, el SIOX-5 RE20C és un producte que es **comercialitza** en estat líquid envasat en ampolles de 150, 250 o 500 mL. El **preu** gira entorn els 14,5 i 17,5 € els 100 mL, tot i que, a causa dels elevats costos d'enviament, la comanda ha de ser superior als 500 €.

El producte ja ve llest per a la seva aplicació, per la qual cosa no serà necessària cap **preparació** prèvia (Siltea, s.d.-a).

Malgrat que la **viscositat** és una de les dades principals a tenir en compte a l'hora de seleccionar un producte, aquesta informació no es troba entre aquella facilitada pel fabricant. Si bé, és un producte creat especialment per a la consolidació, per la qual cosa es pot deduir que té una viscositat molt baixa, la qual facilita la seva penetració entre les fissures.

Respecte a la **temperatura de transició vítria (T_g)**, tot i que no és especificada explícitament a la fitxa tècnica del producte, s'adverteix de no utilitzar-lo amb temperatures superiors als 35 °C (Siltea, s.d.-a).

Amb relació a les mesures de seguretat a prendre per a la seva utilització, la fitxa tècnica no especifica cap **toxicitat**, només l'advertència de ser un producte inflamable (Siltea, s.d.-a). Tot i això, per la presència d'etanol sempre serà recomanable la utilització de bata i guants durant la seva aplicació, a més de fer-ho servir en espais ben ventilats i lluny d'espurnes i focs.

Pel que fa a l'**aplicació** del sol-gel com a consolidant o protector, es porta a terme amb l'ajuda d'un pinzell o pipeta sobre les zones on sigui necessari (Siltea, s.d.-a).

La manca de viscositat del producte el fa no apte per a l'adhesió de fragments.

D'altra banda, segons les dades obtingudes a partir d'un senzill assaig experimental (vegeu annex 2), tampoc és un producte apte per a la reintegració volumètrica a causa de la gran pèrdua gruix donada durant l'asseccament.

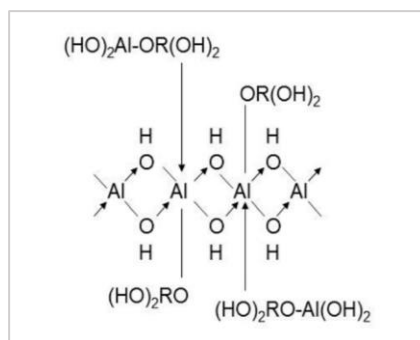
Tot i que el **temps d'enduriment** del producte és breu, d'uns 30 minuts segons la fitxa tècnica publicada per Siltea (s.d.-a), l'estabilitat total no s'aconseguirà fins passades les 72 h. Mentre encara estigui humit, es podrà enretirar amb alcohol (isopropanol o etanol), però un cop endurit s'hauran d'utilitzar cataplasmes alcalins (Siltea, s.d.-a). Tot i això, a l'haver penetrat per les diferents fissures, mai es podrà enretirar per complet i, per tant, es considerarà un producte **irreversible com a consolidant**.

Actualment, no hi ha informació respecte a l'estabilitat enfront de l'**envelliment** del producte, tot i que segurament es tracta d'un material molt estable a causa de la semblança amb el vidre.

5.3. Cloisil A18

El Cloisil A18 és un producte nano-estructurat derivat de l'alumini-trietanolamina complex ($C_6H_{12}NO_2Al$), el qual, durant el seu procés d'enduriment, es transforma en hidròxid d'alumini hidratat amorf (imatge 16) (Cordis, 2014).

L'origen del producte es troba en el projecte CONSTGLASS, iniciat l'any 2007 i que va derivar en un segon estudi dirigit també per l'institut Fraunhofer, NANOMATCH, amb la finalitat d'optimitzar els resultats del primer. Aquest últim, però, va acabar l'any 2014 (Cordis, 2014).



Imatge 16 Estructura química del Cloisil A18 després del seu enduriment, per Cordis, 2014.

La seva invenció estava enfocada en la creació d'un producte consolidant i protector del vidre, amb una estabilitat i compatibilitat millorada respecte als productes precedents.

5.3.1. Compatibilitat amb el vidre

PROPIETATS	VIDRE ¹	Cloisil A18
Composició	Silicat	Etanol + oligòmers d'alumini + metanol + 2-butanonas
Color	Variable	Groguenc ²
Índex de refracció	1,47-1,70 ³	Similar al vidre ⁴
Densitat	2500 kg/m ³	-
Duresa	6	-
Elasticitat (Mòdul de Young)	6,6 · 10 ¹³ Pa	-
Resistència a la tracció	4 · 10 ⁷ Pa	-

¹ (Vitalba, s.d.)

² (T_O_P, 2014a)

³ (CAMEO, 2022a)

⁴ (Cordis, 2014)

Taula 7 Comparativa de les propietats fisicoquímiques del vidre i del Cloisil A18

Segons s'observa a la taula 7, començant per la **composició**, tots dos materials són compatibles, ja que ni els oligòmers d'alumini ni la resta de components del Cloisil A18 afecten de forma negativa als silicats del vidre.

Pel que respecta al **color**, el producte té una tonalitat groguenca que no el faria compatible amb tots els tipus de vidres. En el cas de l'**índex de refracció**, tot i no disposar del número exacte, al resum de l'informe final del projecte confirma que aquest és molt similar al que presenta el vidre (1,47-1,70).

Malauradament, la resta de propietats (densitat, duresa, l'elasticitat i la resistència a la tracció) no es troben especificades a cap estudi publicat i disponible al públic.

5.3.2.Preparació i aplicacions

La **comercialització** del Cloisil A18 es fa com a producte bicomponent, amb el complex d'alcòxid d'alumini en pols per un costat i el catalitzador per un altre. Es ven només a través de l'institut Fraunhofer ISC, amb un **preu** estimat que voltaria els 24 € els 100 g segons el cost de producció (Cordis, 2014).

Pel que respecta a la **preparació** del material, no es troba especificada la proporció amb la qual s'hauria de fer la barreja de tots dos component, però sí que hi ha evidències de la seva utilització en una dilució al 5% i al 25% en etanol. Un exemple d'aquest és el projecte experimental portat a terme per Ulrike Brinkmann i Katrin Wittstadt (2013) sobre dos fragments esmaltats procedents de vitralls flamencs del segle XVII i un fragment medieval procedent de la Catedral de Stendal, Alemanya.

D'altra banda, al resum dels resultats del projecte NANOMATCH (Cordis, 2014) també es menciona la possibilitat de dissoldre el producte amb toluè, acetona, metiletilcetona o aigua, tot i que es recomana la diacetona alcohol com a substitut de l'etanol en cas que fos necessari.

Tot i que abans de l'aplicació del producte cal tenir en compte la seva **viscositat**, en el cas del Cloisil A18 no s'ha pogut trobar la dada exacta. Malgrat això, segons els estudis es tracta d'un

producte de molt baixa viscositat que penetra amb facilitat en fractures llargues i estretes (Brinkmann i Wittstadt, 2013, p.39).

Malauradament, la **temperatura de transició vítria (T_g)** del producte tampoc es troba a cap dels informes disponibles. Sí que s'adverteix, però, la incompatibilitat del material davant d'humitats relatives superiors al 60%, ja que el producte torna a un estat tou i enganxifós que anul·la la finalitat amb la qual s'havia aplicat. Així doncs, l'ús del producte queda restringit per a climes controlats com museus o magatzems (Brinkmann i Wittstadt, 2013, p.55).

Amb relació a la **toxicitat**, aquest és altament inflamable i irritant als ulls, per la qual cosa caldrà utilitzar-ho en espais ben ventilats i lluny de calor, espurnes o foc (T_O_P, 2014a). També serà necessari l'ús d'EPI compostos per bata i guants, ja que el catalitzador també és corrosiu (T_O_P, 2014b).

L'**aplicació** del producte per a la consolidació o protecció del vidre és senzilla, només cal estendre-ho en la superfície afectada mitjançant un pinzell, repetint l'acció cada hora fins a 5 vegades, segons recullen Brinjmman i Wittstadt (2013, p.40-44).

D'altra banda, els mateixos conservadors-restauradors alemanys confirmen que el producte, al 10% de concentració, té un poder adhesiu comparable a aquell del Paraloid® B-72 i al de l'ORMOCER® G. Malgrat això, es pot deduir que la seva viscositat no és suficient perquè pugui funcionar com a adhesiu de fragments.

Amb relació a les reintegracions volumètriques, no hi ha cap registre de proves fetes amb el Cloisil A18. Igual que en els casos dels altres productes sol-gels, però, és molt probable que no sigui apte per a aquest tipus de tractament (vegeu annex 2).

Un cop aplicat el producte, el **temps d'enduriment** total és d'alguns mesos, tot i que només a unes poques hores de l'aplicació aquest ja comença a solidificar-se. És durant aquest primer període de l'assecatge, llavors, que el producte es pot dissoldre i eliminar amb aigua o etanol (Roth i Rota, 2020, p.52), encara que un cop endurit aquest es torna completament **irreversible**.

Pel que fa a l'estabilitat enfront de l'**envelliment**, es va comprovar que el producte té poca tendència a l'esgrogueïment i conserva bé la seva transparència. A més, no presenta canvis físics ni químics, a excepció que s'exposi a humitats elevades (Cordis, 2014).

6. Comparativa dels productes

Per a facilitar la comparativa, es crea una taula que recull, de manera abreujada, totes les propietats i característiques d'aplicació i preparació dels diferents productes (taula 8, p. 46-47). Aquells que no tinguin totes les dades completes, però, no s'inclouran en la comparativa de la propietat mancant.

Així doncs, pel que fa a la **composició**, cada grup en presenta una de ben diferent: el Paraloid® B-72 es basa en metacrilats d'etil, les resines epoxídiques presenten èters amb diferents catalitzadors i els sol-gels contenen etanol amb silicona, silicats o alumini, segons el producte. En tots els casos la compatibilitat amb el vidre és bona, tot i que en destaca el SIOX-5 RE20C per estar compost majoritàriament per sílice, igual que el vidre.

Respecte al **color**, tots són incolors i transparents a excepció del Cloisil A18, que presenta una tonalitat groguenca que pot ocasionar variacions tonals en l'original.

L'**índex de refracció** més alt és aquell de l'Araldite® 2020, amb un valor d'1,553 que el fa ideal per a intervencions en vidres de plom o d'altres especialment transparents. La resta de productes presenten un valor proper a l'1,500, sent el del Paraloid® B-72 el més baix (1,487). En conseqüència, no es recomana l'ús de la resina acrílica fora del vidre arqueològic o opac.

Amb relació a la **densitat**, l'Epo-Tek® 301-2 té la més elevada (95000 kg/m³), per la qual cosa no es recomanaria el seu ús en peces molt fràgils a causa del pes que se li afegeix en aplicar el producte. Així doncs, en peces delicades en seria més indicat l'ús del Paraloid® B-72, que és aquell que té la densitat més baixa (660 kg/m³).

Malauradament, la **duresa** dels diferents materials no s'ha pogut trobar en una mateixa escala, per la qual cosa no es pot fer una comparació més exhaustiva. Tot i això, es pot intuir que el Paraloid® B-72 és, segurament, el més tou, perquè presenta un valor molt proper al 0 en l'escala de Mohs, mentre que la resta, tot i ser-hi a altres escales, presenten un nombre bastant elevat dintre d'aquestes.

Si, d'altra banda, es compara l'**elasticitat**, s'observa que és el Paraloid® B-72 aquell que presenta menys resistència a la deformació i, per tant, té millors característiques elàstiques. En

contraposició es troba l'ORMOCER® G, amb una resistència d' $1,07 \cdot 10^{10}$ Pa que, malgrat assegurar una bona rigidesa a la peça, és més susceptible a fracturar-se.

Tanmateix, el producte que presenta més **resistència a la tracció** és l'Epo-Tek® 301-2 ($6,66 \cdot 10^8$ Pa), per la qual cosa és aquell que té més probabilitat de trencar l'original durant el seu procés de contracció. A excepció de l'HXTAL NYL-1, que també té una resistència bastant elevada ($3,72 \cdot 10^7$), la resta de productes tenen un valor similar que gira entorn dels $2,5 \cdot 10^7$ Pa.

En el marc de les característiques vinculades a la preparació i aplicació del producte, s'observa que el format de **comercialització** que més abunda és en líquid bicomponent, a excepció del Paraloid® B-72 que majoritàriament es ven en estat sòlid, l'ORMOCER® G que es ven com a un únic component líquid sense diluir i el SIOX-5 RE20C que es ven també com a un sol producte però ja diluït. Pel que fa al **preu**, aquell més econòmic és el Paraloid® B-72 (3-5 € els 100 g), mentre que l'ORMOCER® G és el més car (1750 €).

Quant a **preparació**, el SIOX-5 RE20C és aquell que la té més senzilla, perquè ja ve llest per al seu ús. La resta de productes cal o bé barrejar els dos components o bé diluir-los. El Paraloid® B-72, en aquest cas, és el que en demana més temps, perquè la seva dissolució triga entre 12 i 16 h.

Amb referència a la **viscositat**, els més fluids són els sol-gels, ja que són aquells dissenyats per a penetrar amb facilitat per les fractures. D'altra banda, les *epoxy* són les que tenen la viscositat més elevada, sent destacable aquella de l'Epo-Tek® 301-2, amb un valor d'entre 224-425 cPs. En el cas del Paraloid® B-72, però, aquesta propietat dependrà de la concentració amb la qual es prepari el producte.

El següent punt a considerar és la **temperatura de transició vítria (T_g)**, valor que s'ha de tenir en compte especialment en el cas del SIOX-5 RE20C (35°C) i el Paraloid® B-72 (40°C), ja que són temperatures a les quals es pot arribar durant l'estiu a la península Ibèrica. D'altra banda, les T_g de l'ORMOCER® G (300°C) i l'Epo-Tek® 301-2 (80°C) no es donen de forma natural i, per tant, el producte solidificarà bé en qualsevol clima. En el cas del Cloisil A18, caldrà vigilar la humitat relativa, ja que, si és superior al 60%, perd part de les seves propietats.

Sobre la **toxicitat**, tots els productes són irritants a excepció del SIOX-5 RE20C i el Paraloid® B-72 (sense comptar el dissolvent). Les resines epoxídiques, a més, són corrosives i contaminants,

mentre que els sol-gels són inflamables. En tots els casos, llavors, caldrà fer ús dels EPI adequats i utilitzar els productes lluny de fonts de calor i en espais ventilats.

Pel que fa a les **aplicacions**, l'únic que es podria utilitzar tant per a l'adhesió com per a la consolidació i la reintegració de vidre és el Paraloid® B-72, ja que la seva viscositat és ajustable a les necessitats de qualsevol dels tractaments. Les resines epoxídiques són massa viscoses per a actuar com a consolidant, però totes són útils tant per a l'adhesió de fragments com per a la reintegració. Els productes sol-gels, en canvi, tot i tenir cert poder adhesiu, no s'usen per a l'adhesió de fragments i, com s'ha vist a partir de l'assaig experimental (vegeu annex 2), tampoc són aptes per a la reintegració.

Un altre punt important és el **temps d'enduriment**, on en destaca l'Araldite® 2020 per ser el més ràpid en catalitzar, només 25 h. La resta de resines epoxídiques i productes sol-gel triguen el doble o, fins i tot, mesos en establir-se, com en el cas del Cloisil A18. Pel que fa al Paraloid® B-72, el temps que trigui dependrà de la seva concentració i quantitat de producte.

Respecte a la **reversibilitat**, cap producte ho és totalment, ja que en consolidar sempre quedaran restes entre les fissures. Per a les altres aplicacions, l'únic que es pot enretirar després de l'assecatge és el Paraloid® B-72, tot i que també es torna irreversible durant el seu procés d'envelliment.

Així doncs, pel que fa a l'**envelliment**, ni el Paraloid® B-72, ni l'Araldite® 2020 ni l'Epo-Tek® 301-2 són estables, perquè presenten esgrogueïment i pèrdua de l'elasticitat, a més d'acidificació i irreversibilitat en el cas de la resina acrílica. La resta de productes, en canvi, semblen no alterar-se amb el pas del temps.

	Composició	Color	Índex de refracció	Densitat (kg/m ³)	Duresa	Elasticitat (Pa) Mòdul de Young	Resistència a la tracció (Pa)	Comercialització	Preu (€/ 100g)	Preparació Proporció en pes	Viscositat (cPs)	Temperatura de transició vítria (Tg) (C°)	Toxicitat	Aplicacions	Temps d' enduriment A temperatura ambient	Reversibilitat	Envel·liment	Observacions
Paraloid® B-72	Copolímer EMA	Incolor i transparent	1,487	660	0-1 (Mohs)	6036	2·10 ⁷ - 1,5·10 ⁸	Perles	3-5 €	Cal dissolució	Variable	40	Nula	- Adhesió - Consolidació - Reintegració	Variable	Sí	- Esgroguement - Pèrdua elasticitat - Acidificació - Irreversibilitat	Cal preparar el producte amb 12-16h d'antelació.
RESINES EPOXÍDIQUES																		
Araldite® 2020	Éter diglicídic (A) + Isoforona diamina (B)	Incolor i transparent	1,553	1170	56-100 (Shore D)	9,04·10 ⁸	2,5·10 ⁷	Líquid bicomponent	15 €	Barreja 100:30 (A:B)	150	49,8	- Irritant - Corrosiva - Contaminant	- Adhesió - Reintegració	25 h	No	- Esgroguement - Pèrdua elasticitat	-
Epo-Tek® 301-2	Bisfenol A i Éter diglicídic (A) + Polioxipropilendiamina (B)	Incolor i transparent	1,532	9500 0	80 (Shore D)	4,5·10 ⁹	6,66·10 ⁸	Líquid bicomponent	138 €	Barreja 100:35 (A:B)	224 - 425	80	- Irritant - Corrosiva - Contaminant	- Adhesió - Reintegració	48 h	No	- Esgroguement - Pèrdua elasticitat	Molt sensible a la fotodegradació
HXYAL NYL-1	Epoclorhidrina (A) + Amina d'èter alquil i Imidazoles (B)	Incolor i transparent	1,515	980 - 1090	73 - 78 (Shore D)	2,17·10 ⁹	3,72·10 ⁷	Líquid bicomponent	60 €	Barreja 3:1 (A:B)	200 - 300	47,4	- Irritant - Corrosiva - Nociva	- Adhesió - Reintegració	7 dies	No	Estable	-
PRODUCTES SOL-GEL																		
ORMOCER® G	Etil acetat + 2-butoxyetanol + Diòxid de silicó + Etanol	Incolor i transparent	1,503 - 1,534	1002	406,08 N/mm ² (Martens)	1,1·10 ¹⁰	2,69·10 ⁷	Líquid sense diluir	1750 €	Dissolució al 10%	10,52 - 12,02	300	- Inflamable - Irritant	- Protecció - Consolidació	72 h	No	Estable	- Es pot combinar amb el B-72 - Nou BioORMOCER®
SIOX-5 RE20C	Etanol + TEOS + Aigua + Sn(IV)	Incolor i transparent	-	869	-	-	-	Líquid	14,5 - 17,5 €	Ja preparat	Baixa	35	- Inflamable	- Protecció - Consolidació	72 h	No	Estable	Mancança d'informació
Cloisil A14	Etanol + Oligòmers d'alumini + Metanol + 2-butanonas	Groguenc	Similar al vidre	-	-	-	-	Bicomponent	24 €	Barreja i dissolució al 5-25%	Baixa	-	- Inflamable - Irritant	- Protecció - Consolidació	Mesos	No	Estable	- Incompatible amb humitats >60% - Soluble en aigua

Taula 8 Comparativa de les propietats fisicoquímiques del Paraloid® B-72, l'Araldite® 2020, l'Epo-Tek® 301-2, el HXTAL NYL-1, l'ORMOCER® G, el SIO-5 RE20C i el Cloisil A18.

7. Conclusions finals

L'inici d'aquesta investigació es va donar amb la finalitat d'identificar quin seria el producte més idoni per a la restauració-conservació de vidre, concretament pel que fa a l'adhesió, consolidació i reintegració d'aquest. Així doncs, es plantejaren quatre objectius: identificar quins eren aquells productes comunament més utilitzats, trobar de més nous que poguessin complir les mateixes funcions, estudiar quines són les seves propietats i, per acabar, concretar quin seria el producte més útil per a la restauració de vidre. Finalment, es compleixen aquests quatre punts a partir d'una comparativa d'aquells productes més coneguts dintre d'aquest camp de treball.

Donant resolució al primer objectiu, llavors, descobreixo el llibre de Stephen Koob (2006), precursor de les tècniques actualment més emprades per a la restauració de vidre. Entre aquestes es troben l'ús del Paraloid® B-72, l'Araldite® 2020, l'HTXAL NYL-1 i el Epo-Tek® 301-2.

Continuant la investigació a la recerca d'altres productes més actuals, trobo els sol-gels, dels quals n'hi ha tres d'específics per a material vitri: l'ORMOCER® G, el SIOX-5 RE20C i el Cloisil A18.

Tot i la dificultat que va presentar l'estudi dels diferents productes a causa de la barrera lingüística, ja que l'única informació al respecte estava en anglès o alemany, finalment es va poder fer una comparativa entre ells. A partir d'aquesta es poden extreure diverses conclusions respecte als avantatges i desavantatges de cadascun. En el cas del **Paraloid® B-72**, per exemple, és un adhesiu que destaca per ser un dels més versàtils (útil per a l'adhesió, consolidació i reintegració de material vitri), a més de ser especialment econòmic (3 i 5 € els 100 g). Tot i tenir una preparació més laboriosa, comprat en format perles té l'avantatge de poder ajustar la viscositat a les necessitats de la intervenció. A més, és l'únic producte fàcilment reversible després del seu ús com a adhesiu o material reintegrador. Malgrat tot, té un índex de refracció i una temperatura de transició vítria molt baixes, per la qual cosa no es pot utilitzar en vidres d'elevada transparència ni amb climes especialment calorosos. Caldrà tenir en compte, també, que necessita un manteniment i renovació periòdica, ja que és inestable a l'envelliment (pot presentar esgrogueïment, pèrdua d'elasticitat, acidificació i irreversibilitat).

D'altra banda, trobem les **resines epoxídiques**, que en general són materials caracteritzats per tenir un elevat índex de refracció, el qual és idoni per a intervenir peces especialment transparents.

A més, són productes de fàcil preparació, ja que només cal barrejar els dos components en els que es comercialitza. Per contra, però, són productes d'elevada resistència a la tracció, fet que els fan incompatibles amb vidres fràgils. També consten d'un temps d'enduriment bastant llargs, són irreversibles un cop catalitzats i tenen valor econòmic alt. Així mateix, tampoc es poden utilitzar com a consolidants per la seva elevada viscositat i, pel que fa a l'envelliment, tenen tendència a l'esgrogueïment a excepció de l'HXTAL NYL-1. En general, però, l'Araldite® 2020 es podria considerar el més idoni, perquè és aquell que té menys força de tracció, és més econòmic i té un temps d'enduriment més baix.

Per acabar, els **productes sol-gel**, tot i ser una gran opció per la bona compatibilitat amb el vidre i la seva gran estabilitat enfront de l'envelliment, només són útils com a tractament de protecció i consolidació. Aquestes intervencions, però, actualment s'intenten evitar, perquè són molt invasives i irreversibles. A més a més, són productes molt cars i hi ha poca informació amb respecte les seves propietats físiques (duresa, elasticitat, resistència a la tracció, etc.). Dels tres recollits al llarg d'aquest escrit, el Cloisil A18 és aquell que presenta més desavantatges, ja que té una coloració groguenca, triga mesos a endurir per complet i és incompatible amb humitats del 60%, per la qual cosa no es pot utilitzar en exteriors.

Així doncs, davant de la comparativa realitzada i responent a la problemàtica inicialment plantejada, es pot arribar a la conclusió que, en general, **el producte més útil per a intervencions d'adhesió, consolidació i reintegració en la restauració de vidre és el Paraloid® B-72**, a causa de la seva versatilitat, fàcil reversibilitat i gran rendiment econòmic. Tot i això, el seu ús hauria de ser exclusiu per a vidres arqueològics o opacs. **Enfront de l'adhesió o reintegració de materials més transparents, llavors, l'Araldite® 2020 en seria millor opció** gràcies al seu bon rendiment econòmic, alt índex de refracció i rapidesa d'enduriment. **Pel que fa a la consolidació o protecció de vidre, en seria més idoni el SIOX-5 RE20C**, gràcies a la seva alta compatibilitat amb el material, el bon rendiment econòmic, l'estabilitat davant l'envelliment i la seva fàcil aplicació.

Si bé aquests tres productes es podrien considerar els millors pel que respecta a les propietats exposades del vidre, cal tenir present que **l'estudi s'ha realitzat partint d'unes característiques molts generals** d'aquest. En conseqüència, cal recordar que **cada peça és única i, per tant, és**

necessari fer un estudi exhaustiu previ a cada intervenció. La composició exacta de l'obra, les condicions en les quals s'emmagatzemarà o el mateix estat de conservació, entre altres factors, podrien fer d'un producte generalment idoni un de no compatible.

Així doncs, tot i solucionat el dubte que va iniciar aquest treball, la manca de temps, de pressupost i d'instal·lacions no han fet possible un estudi més exhaustiu i experimental dels productes, especialment dels sol-gels. En cas de poder continuar amb aquesta línia d'investigació, llavors, es podria crear una base de dades amb més informació i diversitat que, transportada a un nivell digital, facilités, o fins i tot millorés, l'elecció de productes de cara a futures intervencions de conservació-restauració.

8. Referències bibliogràfiques

Introducció

Davison, S. (1984). *A review of adhesives and consolidants used on glass antiquities*, *Studies in Conservation*, 29. p. 191. Recuperat el 22 de maig de 2023 de <https://doi.org/10.1179/sic.1984.29.Supplement-1.191>

Davison, S. (1989). *Conservation and Restoration of Glass*. Butterworth Heinemann. Elsevier, Regne Unit. Recuperat el 22 de maig de 2023 de https://www.academia.edu/3386155/Conservation_and_Restoration_of_glass_Sandra_Davison

Koob, S. P. (2006). *Conservation and Care of Glass Objects*. Archetype Publications in association with the Corning Museum of Glass, London.

El vidre com a material

CAMEO (2022a). *Glass*. Recuperat el 26 d'abril de 2023 de <https://cameo.mfa.org/wiki/Glass>

Corning Museum of Glass (2011). *Crizzling*. Recuperat el 15 de maig de 2023 de <https://www.cmog.org/article/crizzling>

Corning Museum of Glass. (s.d.). *Lead glass*. Recuperat el 26 d'abril de 2023 de <https://allaboutglass.cmog.org/definition/lead-glass>

FDMinerals (s.d.). *El Mundo de las Rocas. Obsidiana* [Imatge 4]. Recuperat el 26 d'abril de 2023 de <https://www.fDMINERALS.es/2021/04/02/obsidiana/>

Minerals Education Coalition (s.d.). *Obsidian*. [Imatge 1]. Recuperat el 26 d'abril de 2023 de <https://mineralseducationcoalition.org/minerals-database/obsidian/>

Van Giffen, A. (2011). *Glass Corrosion: Weathering*. Blog Corning Museum of Glass. Recuperat el 15 de maig de 2023 de <https://blog.cmog.org/2011/09/14/glass-corrosion-weathering/>

Vives de la Cortada (s.d.). *Fulgurita*. [Imatge 2]. Recuperat el 26 d'abril de 2023 de <https://vivescortadaimport.com/diccionario-minerales/minerales/fulgurita/index.php>

Vives de la Cortada (s.d.). *Tectita*. [Imatge 3]. Recuperat el 26 d'abril de 2023 de <https://vivescortadaimport.com/diccionario-minerales/minerales/tectita/index.php?qword=obsidiana>

El Paraloid® B-72

- Baglioni, M., Raudino, M., Berti, D., Keiderling, U., Bordes, R., Holmberg, K. i Baglioni, P.** (2014). *Nanostructured fluids from degradable nonionic surfactants for the cleaning of works of art from polymer contaminants* [IMATGE]. *Soft matter* (10). Recuperat el 15 de maig de 2023 de <https://doi.org/10.1039/C4SM01084A>
- Bristow, H. i Cutajar, J. D.** (2017). *Archaeological Glass Conservation: Comparative approaches and practicalities of using acrylic resin films as gap Fills*. Emily Hamilton i Kari Dodson, amb Tony Sigel Program Chair. p. 188-206. Recuperat el 16 de maig de 2023 de https://www.researchgate.net/publication/360044837_Archaeological_Glass_Conservati_on_Comparative_Approaches_and_Practicalities_of_Using_Acrylic_Resin_Films_as_Gap_Fills
- CAMEO** (2022a). *Glass*. Recuperat el 26 d'abril de 2023 de <https://cameo.mfa.org/wiki/Glass>
- CAMEO** (2022b). *Polyacrylate*. Recuperat el 3 de maig de 2023 de https://cameo.mfa.org/wiki/Polyacrylate#cite_note-2
- CAMEO** (2022c). *Paraloid B-72*. Recuperat el 3 de maig de 2023 de https://cameo.mfa.org/wiki/Paraloid_B-72
- CTS®** (2017a). *01139000-Paraloid B-72*. Recuperat el 15 de maig de 2023 de <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichasdeseguridadweb2018/1.1.resinasacrilicas2017esp/paraloidb72fds.pdf>
- CTS®** (2017b). *01100105-Acetona Pura*. Recuperat el 15 de maig de 2023 de <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichasdeseguridadweb2018/3.1.disolventes2017esp/acetonaपुरafds.pdf>
- Down, J. L.** (2014). *The evaluation of selected poly(vinyl acetate) and acrylic adhesives: A final research Update*. *Studies in Conservation* 60 (1). Canada. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://doi.org/10.1179/2047058414Y.0000000129>
- Feller, R. L.** (2008). *Thoughts About "Crosslinking"*. *WAAS Newsletter* 30 (3). Recuperat el 15 de maig de 2023 de <https://cool.culturalheritage.org/waac/wn/wn30/wn30-3/wn30-304.pdf>

GE-IIC (s.d.). *Paraloid*. Recuperat el 3 de maig de 2023 de <https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/proteccion-temporal-o-final/paraloid/>

Horelick, L. A., McHugh, K. i Madden, O. (2011). *What's Going on With Guts: Assessing Adhesives Used to Repair Cultural Objects Made of Gut Skin* [IMATGE]. Adhesives and Consolidants for Conservation: Research and Applications. Simposi. Ottawa, Canada. Recuperat de Symposium. Recuperat el 15 de maig de 2023 de https://www.researchgate.net/publication/281441251_What%27s_Going_on_With_Guts_Assessing_Adhesives_Used_to_Repair_Cultural_Objects_Made_of_Gut_Skin/figures?lo=1

Kobrick, R. L., Street, K. i Klaus, D. (2011). *Custom Scratch Tips for Evaluation of Two-Body Abrasion on Lunar Surface Spacecraft Materials*. 41st International Conference on Environmental Systems, Portland, Oregó. Recuperat el 17 de maig de 2023 de https://www.researchgate.net/publication/268584238_Custom_Scratch_Tips_for_Evaluation_of_Two-Body_Abrasion_on_Lunar_Surface_Spacecraft_Materials

Koob, S. P. (2006). *Conservation and Care of Glass Objects*. Archetype Publications in association with the Corning Museum of Glass, London.

Químics Dalmau (s.d.). *Paraloid B-72*. Recuperat el 15 de maig de 2023 de <https://quimicsdalmauonline.com/tienda/paraloid-b-72/>

Rohm and Haas (2007) *Paraloid™ B-72*. Recuperat el 15 de maig de 2023 de http://www-eng.lbl.gov/~shuman/NEXT/MATERIALS%26COMPONENTS/WLS_materials/paraloid_b-72_data.pdf

Russell, R. i Strilisky, B. (2016). *Keep it Together: an evaluation of the tensile of three select adhesives udes in fòssil preparation*. Royal Tyrell Museum of Palaeontology. Canada. Recuperat el 15 de maig de 2023 de http://meridian.allenpress.com/collection-forum/article-pdf/30/1-2/85/1505776/0831-4985-30_1_85.pdf

Schmidt, P. L., Shugar, A. i Ploeger, R. (2017). *Analytical Observations Regarding Butvar B-98 and Paraloid B-72 Blend as a Suitable Adhesive in Hot Climates*. MRS Advances. Recuperat el 15 de maig de 2023 de [10.1557/adv.2017.229](https://doi.org/10.1557/adv.2017.229)

van Giffen, A. (2011). *Filling losses with Paraloid B-72*. [IMATGE]. Recuperat el 15 de maig de 2023 de <https://blog.cmog.org/2011/11/01/filling-losses-with-paraloid-b-72/>

van Giffen, A. (2019). *The case of the hydrating hydra: Examination and treatment of a Blaschka glass invertebrate model*. Journal of the American Institute for Conservation. (58). p. 248-25. Recuperat el 15 de maig de 2023 de <https://doi.org/10.1080/01971360.2019.1601458>

Vitralba (s.d.). *Vidrio. Características mecánicas*. Recuperat el 15 de maig de 2023 de https://vitralba.com/wp-content/uploads/2018/09/propiedades_mecanicas_del_vidrio_plano.pdf

Resines epoxídiques

CAMEO (2022d). *Epoxy*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://cameo.mfa.org/wiki/Epoxy>

Koob, S. P. (2006). *Conservation and Care of Glass Objects*. Archetype Publications in association with the Corning Museum of Glass, London.

Araldite® 2020

Araldite® (s.d.). *Acerca de Araldite®*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://www.go-araldite.com/es/acerca-de>

Barbosa, A. Q., da Silva L. F. M., Öchsner, A., Abenojar, J. i del Real, J. C. (2012) *Influence of the Size and Amount of Cork Particles on the Impact Toughness of a Structural Adhesive*. The Journal of Adhesion 88 (4-6). p. 452-470. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <http://dx.doi.org/10.1080/00218464.2012.660811>

CAMEO (2022a). *Glass*. Recuperat el 26 d'abril de 2023 de <https://cameo.mfa.org/wiki/Glass>

Coutinho, I., Ramos, A. M., Lima, A. M. i Fernandes, B. (2008). *Studies of the degradation of epoxy resins used for the conservation of glass*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de https://www.researchgate.net/profile/Ines-Coutinho/publication/265686240_Studies_on_degradation_of_epoxy_resins_used_for_conservation_of_glass/links/54a14a790cf267bdb902a070/Studies-on-degradation-of-epoxy-resins-used-for-conservation-of-glass.pdf

CTS® (2017). *02013600-Araldite 2020*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichasdeseguridadweb2018/1.1.2resinasepoxidicas%202017esp/araldite2020fds.pdf>

CTS® (s.d.). *Adhesivo Transparente 2020 para vidrio y cerámica*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/1.1.2resinaepoxidica2016/araldit2020esp.pdf>

Dostkimya (s.d.). *Araldite 2020 2-Component Epoxy Adhesive*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://dostkimya.com/en/products/adhesives/araldite-2020-2-component-epoxy-adhesive>

Karayannidou, E. G., Achilias, D. S. i Sideridou, I. D. (2006). *Cure kinetics of epoxy-amine resins used in the restoration of works of art from glass or ceramic*. Laboratory of Organic Chemical Technology. Greece. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0014305706002965?token=D54F8F722338F3C804609C4E6CBE025B2526B40FA839EEFDDD23079DA58291458DE0D037B11DB600A9AE8371992DC01F&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230506094251>

Koob, S. P. (2006). *Conservation and Care of Glass Objects*. Archetype Publications in association with the Corning Museum of Glass, London.

Samaro[®] (s.d.). *Araldite 2020*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://www.samaro.fr/en/product/araldite-2020/>

Vitralba (s.d.). *Vidrio. Características mecánicas*. Recuperat el 15 de maig de 2023 de https://vitralba.com/wp-content/uploads/2018/09/propiedades_mecanicas_del_vidrio_plano.pdf

Epo-Tek[®] 301-2

CAMEO (2022a). *Glass*. Recuperat el 26 d'abril de 2023 de <https://cameo.mfa.org/wiki/Glass>

Coutinho, I., Ramos, A. M., Lima, A. M. i Fernandes, B. (2008). *Studies of the degradation of epoxy resins used for the conservation of glass*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de https://www.researchgate.net/profile/Ines-Coutinho/publication/265686240_Studies_on_degradation_of_epoxy_resins_used_for_conservation_of_glass/links/54a14a790cf267bdb902a070/Studies-on-degradation-of-epoxy-resins-used-for-conservation-of-glass.pdf

Cease, H., Derwent, P. F., Diehl, H. T., Fast, J. i Finley, D. (2006). *Measurement of mechanical properties of three epoxy adhesives at cryogenic temperatures for CCD construction*. Fermi National Accelerator Laboratory. Batavia. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://inspirehep.net/files/c0150b0aa6d1dd4d276ca920167fc781>

Epoxy Technology[®] (2018). *Safety Data Sheet. Epo-Tek 301-2 Part A/B*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de https://www.vanderbilt.edu/vinse/facilities/safety_data_sheets/Epo-Tek_301-2_part-A_B.pdf

- Epoxy Technology** (2021). Epo-Tek 301-2. Technical Data Sheet For Reference Only. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://www.epotek.com/docs/en/Datasheet/301-2.pdf>
- Epoxy Technology®** (2014). *Safety Data Sheet. Epo-Tek 301-2 Part A/B*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de [https://focenter.com/wp-content/uploads/documents/AngstromBond---Fiber-Optic-Center-Epo-Tek-301-2-General-Room-Temp-Cure-Epoxy-\(25G\)-Fiber-Optic-Center-1.pdf](https://focenter.com/wp-content/uploads/documents/AngstromBond---Fiber-Optic-Center-Epo-Tek-301-2-General-Room-Temp-Cure-Epoxy-(25G)-Fiber-Optic-Center-1.pdf)
- Epoxy Technology** (s.d.). *Who we are*. Recuperat el 17 de maig de 2023 de https://www.epotek.com/about/history_mission/
- Koob, S. P.** (2006). *Conservation and Care of Glass Objects*. Archetype Publications in association with the Corning Museum of Glass, London.
- Productos de Conservación** (s.d.). *EPO-TEK 301*. Recuperat el 17 de maig de 2023 de <https://www.productosdeconservacion.com/eshop/adhesivos/3299-epo-tek-301-.html>
- Vitralba** (s.d.). *Vidrio. Características mecánicas*. Recuperat el 15 de maig de 2023 de https://vitralba.com/wp-content/uploads/2018/09/propiedades_mecanicas_del_vidrio_plano.pdf
-
- HXTAL NYL-1
- CAMEO** (2022a). *Glass*. Recuperat el 26 d'abril de 2023 de <https://cameo.mfa.org/wiki/Glass>
- Coutinho, I., Ramos, A. M., Lima, A. M. i Fernandes, B.** (2008). *Studies of the degradation of epoxy resins used for the conservation of glass*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de https://www.researchgate.net/profile/Ines-Coutinho/publication/265686240_Studies_on_degradation_of_epoxy_resins_used_for_conservation_of_glass/links/54a14a790cf267bdb902a070/Studies-on-degradation-of-epoxy-resins-used-for-conservation-of-glass.pdf
- HXTAL Adhesive** (2010). *Material Safety Data Sheet*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://conservationsuppliesaus.com.au/wp-content/uploads/2021/04/Hxtal-Material-Safety-Data-Sheet.pdf>
- Koob, S. P.** (2006). *Conservation and Care of Glass Objects*. Archetype Publications in association with the Corning Museum of Glass, London.
- KREMER Pigmente** (2018). *Safety Data Sheet. HXTAL NYL-1, Resin*. Recuperat el 17 de maig de 2023 de https://www.kremer-pigmente.com/elements/resources/products/files/972501_SDS.pdf

Labshop. (2018). *Safety Data Sheet. HXTAL NYL-1, Hardener*. Recuperat el 17 de maig de 2023 de <https://www.labshop.nl/hxtal-nyl1/>

Laganà, A., Rivenc, R., Langenbacher, J., Griswold, J. i Learner, T. (2014). *Looking through plàstics: Investigating options for the treatment of scratches, abrasions, and losses in cast unsaturated polyester Works of art*. ICOM-CC. 17th Triennial Conference of Modern Materials and Contemporary art. Recuperat el 16 de maig de 2023 de https://www.getty.edu/conservation/our_projects/science/art_LA/paper_2014_icom_cc.pdf

Museum Services Corporation (s.d.). *Hxtal NYL-1 Epoxy*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://museumservicescorporation.com/products/hxtal-nyl-1-60-gram-kit>

Sideridou, I. D., Vouvoudi, E. C. i Papadopoulos, G. D. (2015). *Epoxy polymer Hxtal NYL-1 used in restoration and conservation: Irradiation with short and long wavelengths and study of photo-oxidation by FT-IR spectroscopy*. *Journal of Cultural Heritage* 18. p. 279-289. Recuperat el 17 de maig de 2023 de <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.09.005>

University of Louisville (1989). *Material Safety Data Sheet. HXTAL NYL-1, Part A/B*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://louisville.edu/micronano/files/documents/safety-data-sheets-sds/hxtal-nyl-1-parts-a-b/>

Vitralba (s.d.). *Vidrio. Características mecánicas*. Recuperat el 15 de maig de 2023 de https://vitralba.com/wp-content/uploads/2018/09/propiedades_mecanicas_del_vidrio_plano.pdf

Productes sol-gel

MaterialesEcológicos (s.d.). *Proceso sol-gel*. Recuperat el 7 de maig de 2023 de <https://materialesecologicos.es/tag/sol-gel/>

Ciriminna, R., Fidalgo, A., Pandarus, V., Béland, F., Ilharco, L. M. i Pagliaro, M. (2013). *The Sol-Gel Route to Advanced Silica-Based Materials and Recent Applications*. *Chemical Reviews* 113 (8). Recuperat el 7 de maig de 2023 de <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/cr300399c>

- Brinkmann, U. i Dombauhütte, K.** (2013). *Anwendungen innovativer Restaurierungsmaterialien und -methoden zur Sicherung craquelierter Glasmalereien Modellhafte Anwendung an Glasfenstern des Kölner Domes (Weltkulturerbe)*. Fundació Ambiental Federal Alemanya. Osnabrück.
- CAMEO** (2022a). *Glass*. Recuperat el 26 d'abril de 2023 de <https://cameo.mfa.org/wiki/Glass>
- CONSTGLASS** (s.d.). *Cologne Cathedral*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de http://www.constglass.eu/html/col_nvi_a.html
- Emmert, K., Amberg-Schwab, S., Braca, F., Bazzichi, A., Cecchi, A., Somorowsky, F.** (2021). *bioORMOCER®-Compostable Functional Barrier Coatings for Food Packaging*. *Polymers* 13 (1257). Recuperat el 7 de maig de 2023 de https://www.researchgate.net/publication/350869790_bioORMOCER-Compostable_Functional_Barrier_Coatings_for_Food_Packaging
- Fraunhofer ISC** (s.d.-a). *COLORED ORMOCER® - Coatings for glass surfaces*. Recuperat el 7 de maig de 2023 de <https://www.isc.fraunhofer.de/content/dam/isc/de/documents/Publikationen/Colored-ORMOCER-Coatings-for-Glass.pdf>
- Fraunhofer ISC** (s.d.-b.). *ORMOCER® as dielectrics for interconnection Technology*. Recuperat el 7 de maig de 2023 de <https://www.ormocere.de/en/applications/ormocers-for-microsystems-technologie/dielectrics.html>
- Fraunhofer ISC** (2021). *Safety Data Sheet. ORMOCER® G*.
- Fraunhofer ISC** (2023). *Fields of activity at Fraunhofer ISC*. Recuperat el 17 de maig de 2023 de <https://www.isc.fraunhofer.de/en.html>
- Gradmann, R., Badr, J. i Schüssler, U.** (2012). *Characterisation of Glazed Tiles with EPMA and Mobile XRF for the Development of Adapted Conservation Materials*. 39th International Symposium for Archeometry. Leuven. p. 208-2014. Recuperat el 7 de maig de 2023 de <https://ees.kuleuven.be/eng/archive/isa2012/proceedings/ISA%202012%20Gradman%20et%20al..pdf>
- Kalra, S., Singh, A., Gupta, M. i Chadha, V.** (2012). *Ormocer. An aesthetic direct restorative material; An in vitro study comparing the marginal sealing ability of organically modified ceramics and a hybrid composite using an ormocer-based bonding agent and a conventional fifth-generation bonding agent*. *Contemporary Clinical Dentistry* 3 (1).

p. 48-53. Recuperat el 7 de maig de 2023 de
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3341759/>

Merino, M. (2021). *A Comparison of FLEXURAL Strength and Diametral Tensile Strength of a Ceramic-based ORMOCER® and a Conventional Resin-based Composite*. Uniformed Services University of The Health Science. Recuperat el 7 de maig de 2023 de
<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1183055.pdf>

Vitralba (s.d.). *Vidrio. Características mecánicas*. Recuperat el 15 de maig de 2023 de
https://vitralba.com/wp-content/uploads/2018/09/propiedades_mecanicas_del_vidrio_plano.pdf

SIOX-5 RE20C

Bertoncello, R., Dal Bianco, B. i Voltolina S. (2007) *Synthesis of silica protective films by tin-catalized sol-gel process* (Italia, Patent n. WO 2007/122662 A1). Università Degli Studi di Padova. Recuperat el 7 de maig de 2023 de [WO2007122662A1.pdf](#) (storage.googleapis.com)

CAMEO (2022a). *Glass*. Recuperat el 26 d'abril de 2023 de <https://cameo.mfa.org/wiki/Glass>

Ferucci, S., Mentasti, R. B. i Tonini, C. (2020). *The Renaissance Enamelled Vessels from Padua Santa Chiara Monastery*. Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti. ATTI (178). p. 91-109. Recuperat de el 7 de maig de 2023 de
<https://www.istitutoveneto.it/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/IT/D/1%252Fc%252Fd%252FD.f06ac718aef32f19c890/P/BLOB%3AID%3D535/E/pdf?mode=download>

Siltea (s.d.-a). *Technical Data Sheet*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de
<https://www.siltea.eu/wp-content/uploads/2022/09/SIOX-5-RE20C-CONSOLIDANT-FOR-GRISAILLES-AND-ARCHAEOLOGICAL-GLASS-High-concentration.pdf>

Vitralba (s.d.). *Vidrio. Características mecánicas*. Recuperat el 15 de maig de 2023 de
https://vitralba.com/wp-content/uploads/2018/09/propiedades_mecanicas_del_vidrio_plano.pdf

Cloisil A18

Brinkmann, U. i Dombauhütte, K. (2013). *Anwendungen innovativer Restaurierungsmaterialien und -methoden zur Sicherung craquelierter Glasmalereien*

Natalia Benítez Garcia - *Paraloid® B-72, Resines Epoxy i Sol-gels. Comparativa de productes per a la restauració i conservació de vidre*

Treball Final de Grau, Grau de Conservació-Restauració de Béns Culturals, Facultat de Belles Arts, Universitat de Barcelona, curs 2022-2023

Modellhafte Anwendung an Glasfenstern des Kölner Domes (Weltkulturerbe). Fundació Ambiental Federal Alemanya. Osnabrück.

CAMEO (2022a). *Glass*. Recuperat el 26 d'abril de 2023 de <https://cameo.mfa.org/wiki/Glass>

CORDIS (2014). *Nano-systems for the conservation of immovable and moveable polymaterial Cultural Heritage in a changing environment. NANOMATCH*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://cordis.europa.eu/project/id/283182/reporting>

Roth, M. i Rota, S. (2020). Reversible stabilization of archeological glass. Fraunhofer ISC. Annual Report. p. 52. Recuperat el 16 de maig de 2023 de https://www.isc.fraunhofer.de/content/dam/isc/de/documents/Jahresberichte_Annual-Reports/AnnualReport_2019_2020_FraunhoferISC.pdf

T_O_P (2014a). *Group Safety Data Sheet. Cloisil A18-G*.

T_O_P (2014b). *Gruppensicherheitsdatenblatt. CLOISIL Accelerator*

Vitralba (s.d.). *Vidrio. Características mecánicas*. Recuperat el 15 de maig de 2023 de https://vitralba.com/wp-content/uploads/2018/09/propiedades_mecanicas_del_vidrio_plano.pdf

Annexos

Bartleby[®] (s.d.). *Glass and Glass Working*. [IMATGE]. Recuperat el 17 de maig de 2023 de <https://www.bartleby.com/subject/engineering/mechanical-engineering/concepts/glass-and-glass-working>

Boada, Y. (2022). *Todo lo que necesitas saber sobre cómo fabricant el vidrio*. [IMATGE]. Cinconoticias. Recuperat el 17 de maig de 2023 de <https://www.cinconoticias.com/todo-necesitas-como-fabrican-el-vidrio/>

Dagnino, N. (2020). *Kalciyan: Seminario del Vidrio* [IMATGE]. Ventana en la web. Recuperat el 17 de maig de 2023 de <https://guia-ventana.com.ar/kalciyan-seminario-del-vidrio/>

Real Fábrica de Cristales de la Granja (s.d.). *Técnicas de uso en la producción actual de la Real Fábrica de Cristales*. [IMATGE] Recuperat el 17 de maig de 2023 de <https://www.realfabricadecristales.es/es/informacion/otras-tecnicas>

Roman Glassmakers (s.d.). *Roman and Glass Cartoons by David*. [IMATGE]. Recuperat el 17 de maig de 2023 de <http://www.theglassmakers.co.uk/archiveromanglassmakers/cartoonsromanglass.htm>

- Siltea** (s.d.-b). *Technical Data Sheet*. Recuperat el 16 de maig de 2023 de <https://www.siltea.eu/wp-content/uploads/2022/09/SIOX-5-RE16C-PROTECTIVE-COATING-FOR-ENAMELS-AND-GLAZED-CERAMIC.pdf>
- Study.com** (s.d.). *Types of Glass Production: Rolled & Flashed*. Recuperat el 17 de maig de 2023 de <https://study.com/academy/lesson/types-of-glass-production-rolled-flashed.html#:~:text=Rolled%20glass%20is%20made%20by%20pouring%20molten%20glass%20on%20metal,molten%20glass%20between%20two%20rollers.>
- Tesauros** (s.d.-a). *Término: Bufament*. Gobierno de España. Ministerio de Cultura y Deporte. Recuperat el 17 de maig de 2023 de <http://tesauros.mecd.es/tesauros/tecnicas/1003448#c658350454>
- Tesauros** (s.d.-b). *Término: Vidre colat*. Gobierno de España. Ministerio de Cultura y Deporte. Recuperat el 17 de maig de 2023 de <http://tesauros.mecd.es/tesauros/tecnicas/1214628#c716563928>
- Tesauros** (s.d.-c). *Término: Vidro flotat*. Gobierno de España. Ministerio de Cultura y Deporte. Recuperat el 17 de maig de 2023 de <http://tesauros.mecd.es/tesauros/tecnicas/1214630#c716563951>
- Tesauros** (s.d.-d). *Término: Vidre premsat*. Gobierno de España. Ministerio de Cultura y Deporte. Recuperat el 17 de maig de 2023 de <http://tesauros.mecd.es/tesauros/tecnicas/1003446#c658350452>

9. Annexos

9.1. Annex 1. Tècniques de modelat de vidre

Dintre del món de la fabricació del vidre, hi ha una gran diversitat de tècniques per al seu modelatge. Entre aquestes les més comunes són la tècnica del vidre bufat, aquella del vidre colat, la del vidre flotant, el vidre premsat i la del vidre rodat.



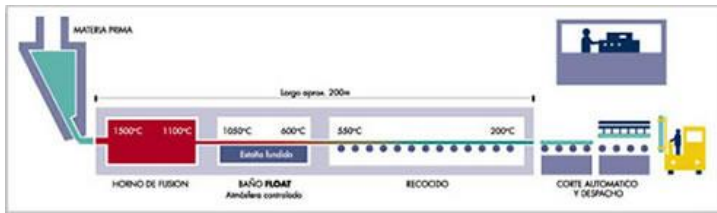
La tècnica del **vidre bufat** consisteix a bufar dintre del vidre un cop aquest ha arribat al seu punt de fusió, mitjançant un pal llarg anomenat *pipa* o *canya*. A mesura que es va introduint aire a l'interior, aquest s'infla i es va modelant. bé de forma manual o bé a partir de motlles, fins a aconseguir la forma desitjada (Tesauros, s.d.-a).

Imatge 17 Representació de la tècnica del vidre bufat, per *Roman Glassmakers, s.d.*



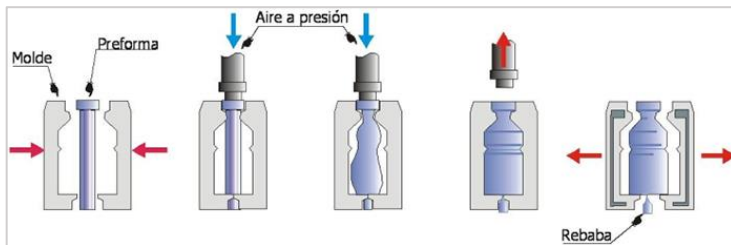
La **tècnica del vidre colat** consisteix en la fosa del vidre i el seu posterior abocament en motlles. Davant de la impossibilitat de fer una peça de vidre buida amb aquesta tècnica, és emprada només per a la creació d'objectes massissos com petites peces ornamentals (Tesauros, s.d.-b).

Imatge 18 Representació de la tècnica del vidre colat, per *Real Fàbrica de Cristales de la Granja, s.d.*



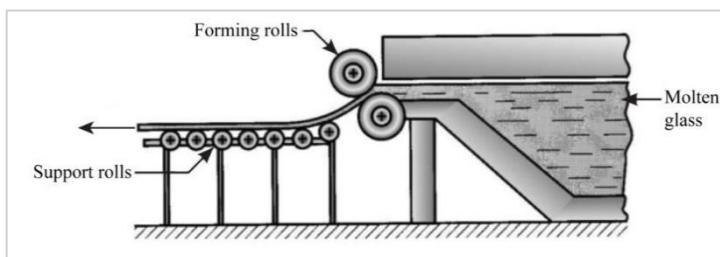
Imatge 19 Representació de la tècnica del vidre flotant, per Dagnino, 2020.

La tècnica del vidre el flotant consisteix en la creació de planxes de vidre a partir de l'abocament d'aquest fos sobre metall líquid, normalment estany, el qual proporciona una superfície completament plana que és adquirida pel vidre. Un cop solidificat, la peça de vidre passa per unes planxes metàl·liques que l'escalfen per ambdós costats per a donar, finalment, un polip per escalfor (Tesauros, s.d.-c).



Imatge 20 Representació de la tècnica del vidre premsat, per Boada, 2022.

La tècnica del vidre premsat es caracteritza per ser realitzat a partir de maquinària. En aquesta es dona forma al vidre mitjançant l'abocament d'una part d'aquest fos a l'interior d'un motlle, on s'inflarà a partir d'un punxó o un èmbol que acostuma a injectar aire comprimit. A partir d'aquí el vidre agafarà la forma interior i exterior desitjada (Tesauros, s.d.-d).



Imatge 21 Representació de la tècnica del vidre rodat, per Bartleby®, s.d..

En últim lloc, la tècnica del vidre rodat consisteix en la formació d'una planxa de vidre a partir de l'abocament del material fos en una làmina metàl·lica on és aplanat amb un o dos cilindres metàl·lics. Com a resultat, però, no s'obté una planxa de vidre completament plana ni transparent, per això normalment s'utilitza per a afegir patrons decoratius a la seva superfície (Study, s.d.)

9.2. Annex 2. Assaig experimental: Productes sol-gel com a material reintegrador

Durant la recerca d'informació dels diferents productes exposats al llarg d'aquest estudi s'ha pogut observar que aquells més tradicionals, com el Paraloid® B-72 o les resines epoxídiques, s'utilitzen per a una gran varietat de tractaments en la restauració del vidre, concretament per a la consolidació, adhesió de fragments i la reintegració volumètrica. D'altra banda, els sol-gels es presenten com a materials protectors que, gràcies a les seves capacitats adherents, són idonis també per a la consolidació, però no hi ha cap informació disponible respecte a com es comportarien com a material reintegrador.

Així doncs, se'm planteja la següent **problemàtica**: es podrien utilitzar els sol-gels per a fer reintegracions volumètriques?

A partir d'aquí s'elabora una pràctica experimental que té com a **objectiu** els següents punts:

- Fer una comparació del comportament de diferents resines utilitzades com a material reintegrador.
- Valorar si els sol-gels són un bon producte per a portar a terme reintegracions volumètriques.

Partint de la informació que s'ha aconseguit amb la recerca prèvia realitzada, es planteja com a **hipòtesi** que els sol-gels no són aptes com a material reintegrador, ja que la seva baixa viscositat segurament dificultaria molt la formació d'una capa prou gruixuda. Aquesta, però, es corroborarà o desmentirà a partir d'un assaig experimental.

9.2.1. Materials i mètodes

Amb la finalitat de donar resposta a la problemàtica plantejada, llavors, es posaran a prova els productes portant a terme dues de les tècniques més emprades en la reintegració de material vitri: la creació de làmines a partir de l'abocament del producte en un motlle i la creació d'aquestes a partir de la impregnació de paper japonès.

Així doncs, l'experiment partirà de dues **variables independents**: la diversitat dels productes i el suport sobre el qual solidificaran.

A causa de l'elevat cost i la consegüent impossibilitat d'accedir-hi a tots els productes, l'Epo-Tek 301-2, l'ORMOCER® G, el Cloisil A18 i el SIOX-5 RE20C quedaran fora d'aquest estudi experimental. Així doncs, es treballarà amb les següents mostres facilitades per diversos professionals:

- Paraloid® B-72 al 30%
- HXTAL NYL-1
- Araldite® 2020
- SIOX-5 RE16C (producte sol-gel trobat com a substitució del RE20C, amb la mateixa composició, però diferent concentració, 25% segons la fitxa tècnica de Siltea, s.d.-b)

Pel que fa als suports s'utilitzaran:

- Motlles rectangulars de 2x4x1,5 cm fets a partir de cera rosa de dentista *Modellierwachs Optima* de la marca Gebdi.
- Paper japonès *Hinging* de 20 g en trossos de 2x4 cm.

En relació a les **variables dependents**, aquestes es mesuraran a partir d'un examen organolèptic que valorarà el color, la transparència, la solidesa, el gruix i el temps d'assecatge de cadascun dels materials resultants.

Un cop establertes les variables experimentals, es procedeix a l'execució de l'assaig.

9.2.2.Procediment

En primer lloc, es fa la **dissolució del Paraloid® B-72** seguint les instruccions que marca Stephen Koob al seu llibre (2006), però amb les proporcions que s'indica per a la creació de làmines de Paraloid® B-72 a l'article de van Giffen publicat en 2019 (p. 257):

1. Es col·loquen 30 g de Paraloid® B-72 sobre una gasa de 15x15 cm, aproximadament, i es fa una bosseta tancada amb l'ajuda d'un fil de cotó (imatge 22).
2. Aquesta es col·loca en un pot de vidre on prèviament s'hauran abocat 100 mL d'acetona. Cal penjar la bossa al centre mitjançant l'adhesió amb cinta dels dos sobrants del fil a la part externa del pot, evitant que quedi submergida, només tocant el dissolvent (imatge 23).

3. Un cop fixada la bossa, s'enrosca la tapa del pot i es deixa reposar un dia sense moure-ho, fins que s'hagin dissolt totes les perles de Paraloid® B-72.
4. Un cop dissolt el sòlid, s'afegeixen 20 mL d'isopropanol anteriorment barrejat amb mitja cullerada de Carbosil® en pols (espessidor universal).
5. Es barreja el resultat, es deixa reposar 30 min perquè surtin les bombolles generades i ja està llest per a la seva preparació.



Imatge 22 Tancament de la bossa amb Paraloid B-72 amb fil de cotó.

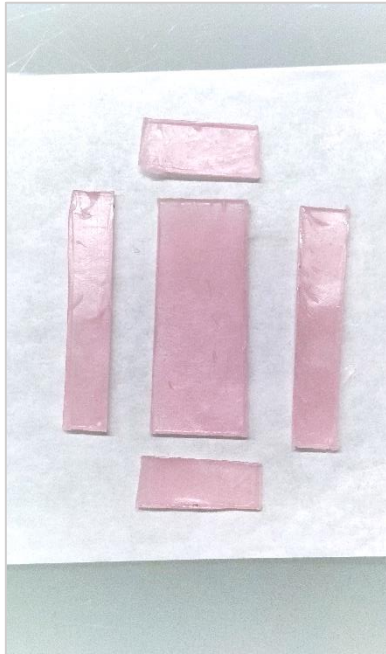


Imatge 23 Resultat de la col·locació de la bossa dins del pot amb acetona.

Amb la resina acrílica ja preparada, es procedeixen a **crear els motlles** on s'abocaran els diferents productes i a **preparar el paper japonès**:

1. A partir d'una làmina de cera rosa de dentista, es retallen, amb l'ajuda d'un bisturí, 5 rectangles de 4x1,8 cm, 8 rectangles més petits de 4x0,7 cm i 8 més de 1,8x0,7 cm (imatge 24).
2. Amb l'ajuda d'un encenedor, un per un s'escalfen les vores dels rectangles més petits i s'adhereixen als costats d'aquell que farà de base.
3. Per assegurar les noves juntes, es torna a passar la flama sobre aquestes i s'estrenyen quan encara estan toves, per evitar així possibles fugues del producte (imatge 25).
4. Amb els motlles ja llestos, es retallaran a part 4 trossos de paper japonès en rectangles de 2x4 cm.

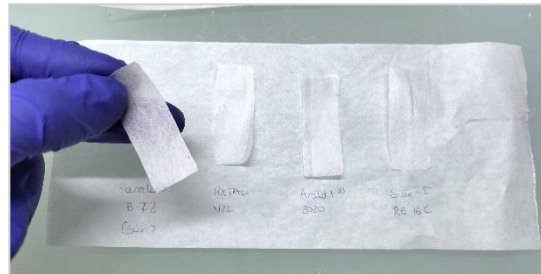
5. Finalment, es col·loquen els diferents motlles i els trossos de paper japonès sobre paper encerat, per evitar que s'enganxin sobre la taula les resines en cas de vessar (imatge 26).



Imatge 24 Resultat de cinc de les peces tallades en cera rosa de dentista.



Imatge 25 Resultat dels quatre motlles creats.



Imatge 26 Resultat dels trossos de paper japonès.

Seguidament, es procedeix a **preparar els productes** i a **abocar-los** en els motlles:

1. Primer es prepara l'Araldite® 2020 en proporció 100:30 en pes (resina:catalitzador), remenant la barreja amb una eina d'acer inoxidable en dos intervals de 3 minuts, deixant reposar-ho altres 3 minuts entremig per a aconseguir un producte ben homogeni.
2. Es segueix el mateix procediment amb l'HXTAL NYL-1, però en proporció 3:1 en pes (resina:catalitzador).
3. Amb els productes llestos per a la seva utilització, s'aboca cadascun d'ells a un dels motlles amb l'ajuda d'una espàtula fins a omplir-los (imatge 27).
4. En el cas del Paraloid® B-72, es fica el motlle dins d'una bossa zip per a tenir una evaporació més lenta del dissolvent i, en conseqüència, un millor acabat sense bombolles. En la resta, com no tenen un procés d'enduriment relacionat amb l'evaporació d'un dissolvent, aquest pas no serà necessari.
5. Per acabar, s'impregna cadascun dels trossos de paper japonès amb el producte corresponent mitjançant la utilització d'un pinzell. Cada 30 minuts, s'aplicarà una nova

capa dels productes menys viscosos (Paraloid® B-72 i SIOX-5 RE16C), repetint el procés fins a 5 vegades. Un cop acabat, es traslladarà el resultat a un suport folrat amb *film*, per evitar absorcions per part del paper anterior.

Finalment, es **deixen assecar** fins que solidifiquen (imatge 28).



Imatge 27 Abocament del producte dins el motlle.



Imatge 28 Resultat de la creació de les provetes abans de l'enduriment.

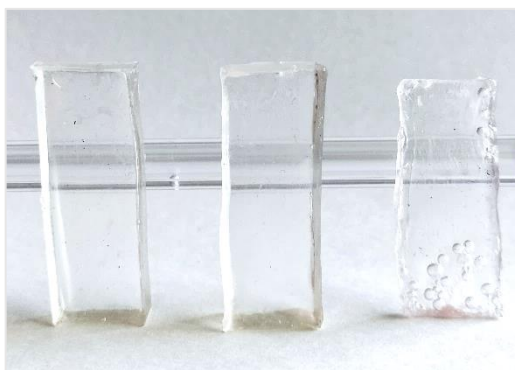
9.2.3. Resultats

Començant per les **peces creades a partir de motlles**, s'observa que no hi ha variació del color a excepció del Paraloid®, el qual sembla haver agafat lleugerament el to rosa del propi motlle (imatge 29).



Imatge 29 Resultats obtinguts amb els motlles després de tres setmanes d'assecatge.

Pel que fa a la transparència, s'ha vist lleugerament reduïda en tots els casos, possiblement a causa de la petita rugositat del motlle o la presència de restes d'aquest (imatge 30). D'altra banda, el Paraloid® B-72 també ha vist alterada la seva estètica a causa de l'aparició de bombolles.



Imatge 30 Diferència de transparència entre HXTAL NYL-1, l'Araldite® 2020 i el Paraloid® B-72, d'esquerra a dreta.

Pel que fa a la seva solidesa, en canvi, al cap de set dies els diferents els adhesius van donar com a resultat peces sòlides i tenaces a excepció del RE16C i el Paraloid® B-72 (imatge 31). No ha sigut fins al cap de dues setmanes més, però, que el Paraloid® B-72 s'ha pogut extreure del motlle, tot i que continuava sense haver solidificat plenament. El SIOX RE16C, en canvi, continua sense agafar la solidesa suficient per a ser desemmotllat.



Imatge 31 Viscositat del Paraloid® B-72 després de 7 dies d'assecatge.

Amb relació al gruix de les provetes resultants, les resines epoxídiques han mantingut aquell inicial, tot i que l'HXTAL NYL-1 sembla haver-se reduït lleugerament a causa del procés de contracció (0,4 cm resultants, enfront dels 0,5 cm que ha mantingut l'Araldite® 2020). El Paraloid®, en canvi, s'ha aprimat considerablement, reduint 0,5 cm la seva mida inicial, fins a donar com a resultat una peça de 0,1 cm de gruix. Mentrestant, el SIOX RE16C ha acabat sent un film amb un gruix inferior als 0,1 cm, sabent que encara no ha acabat el seu procés d'enduriment i que és molt probable que continuï disminuint (imatges 32 i 33).



Imatge 32 Diferència de gruix entre HXTAL NYL-1, l'Araldite® 2020 i el Paraloid® B-72, d'esquerra a dreta.



Imatge 33 Gruix resultant del SIOX-5 encara dins del motlle després de tres setmanes d'assecatge.

La tardança d'enduriment per part del SIOX-5 RE16C i el Paraloid® B-72, però, és una altra observació a destacar, ja que al cap de tres setmanes encara no havien solidificat completament. Pel contrari, les resines epoxídiques han trigat el marcat per la pròpia fixa tècnica del producte, set dies l'HXTAL NYL-1 i 25 h l'Araldite® 2020.

D'altra banda, quant a la utilització del **paper japonès** (imatge 34), s'observa que amb les primeres capes, el Paraloid® B-72 i el SIOX-5 RE16C mantenen el color blanc del suport, anul·lant així la seva transparència. Després d'aplicar les cinc capes de producte, però, la coloració es veu reduïda, tot i que continuen sense ser transparents. A més, es fa present l'aparició de bombolles en el cas de la resina acrílica.

En el cas de les *epoxys*, tot i que la transparència també és inferior a aquella obtinguda a partir dels motlles, el color blanc del suport es perd amb la primera aplicació.



Imatge 34 Resultat de l'aplicació sobre paper japonès de Paraloid® B-72, HXTAL NYL-1, Araldite® 2020 i SIOX-5 RE16C, d'esquerra a dreta.

En general, en aquest suport no hi ha problemes de solidesa, però no s'aconsegueix la rigidesa esperada, ja que en tots els casos s'aconsegueix una làmina flexible que es doblega amb facilitat.

Pel que fa al gruix, aquest augmenta una mica en el cas de les *epoxys*, però en tots els casos es manté aproximadament aquell marcat pel paper ($< 0,1$ cm)

El temps d'assecatge en el cas del Paraloid® B-72 i del SIOX-5 RE16C també es va veure reduït a 24h gràcies a que la quantitat de producte aplicat era menor. En el cas de les resines epoxídiques, aquest temps no va variar en comparació als motlles de cera rosa, ja que la catalització del producte dura el marcat a la fitxa tècnica independentment del suport.

9.2.4. Conclusions

Un cop obtinguts els resultats s'observa que amb les resines epoxídiques s'obtenen peces de major transparència i rigidesa mitjançant totes dues tècniques. És per això que, en general, aquestes es podrien considerar una millor opció per a la reintegració de vidre que no pas el sol-gel o el Paraloid® B-72 (tot i que caldria estudiar les característiques individuals de cada peça abans de l'aplicació del producte).

Comparant tots dos suports utilitzats, però, sempre serà millor l'ús del motlle per a la reintegració d'aquelles peces amb un índex de refracció més elevat i de més gruix, ja que aquest manté millor la transparència dels productes i permet fer peces de més volum. Amb el sol-gel, però, no seria una bona opció per culpa del seu llarg temps d'enduriment i la gran pèrdua de volum que pateix durant aquest, el qual dóna com a resultat una làmina extremadament fina. Tampoc seria la millor opció per a fer servir amb el Paraloid B®-72 perquè agafa la coloració de la cera, per la qual cosa seria més indicat un motlle fet amb un altre tipus de material.

Com a beneficis de la utilització del paper com a suport, però, aquest suposa una notable disminució del temps d'enduriment tant del SIOX-5 com del Paraloid® B-72, fent viable una reintegració volumètrica amb aquests productes. Aquests, però, només seran compatibles amb vidres opacs i prims.

Així doncs, donant resposta a la problemàtica plantejada, s'ha pogut observar que **el sol-gel no és apte per a la reintegració volumètrica del vidre**, ja que amb la tècnica del motlle té un temps d'enduriment excessiu i perd quasi tot el seu volum, mentre que sobre paper japonès tampoc dóna la rigidesa ni transparència necessària per a aquest tipus de tractament.

