

Avaluació del comportament físic i mecànic de mostres de fustes tractades amb les resines de consolidació Paraloid B72[®] i Regalrez 1126[®]. Cap a la definició d'un protocol d'actuació

Aquest article descriu els resultats obtinguts en la primera fase d'assajos d'un estudi tècnic, comissionat i finançat pel Centre de Restauració de Béns Mobles de Catalunya (CRBMC), que té com a objectiu l'avaluació del comportament i els canvis en les propietats físiques i mecàniques dels suports de fusta sotmesos a processos de consolidació amb la resina acrílica Paraloid B72[®] i la resina hidrocarbonada Regalrez 1126[®]. Aquestes són les resines emprades més habitualment en els tractaments de consolidació de suport de fustes de béns mobles atacats i debilitats pels insectes xilòfags.

Evaluation of the physical and mechanical conduct of wooden samples treated with the consolidation resins Paraloid B72[®] and Regalrez 1126[®]. Towards a definition of an action protocol

This article describes the results obtained during the first phase of trials of a technical research, commissioned and funded by the Centre de Restauració de Béns Mobles de Catalunya (CRBMC), which aims to evaluate the conduct and the alterations of the physical and mechanical characteristics of wooden supports, submitted to consolidation processes with the acrylic resin Paraloid B72[®] and the hydrocarbon resin Regalrez 1126[®]. These are the most commonly used resins for treatments of wooden art supports attacked and weakened by insects xylophages.

Voravit Roonthiva. Diplomant en Conservació i Restauració d'Escultura per l'ESCRBCC.
Diplomat en Conservació i Restauració d'Escultura per l'ESCRBCC.
voravit@conservadors-restauradors.com

Paraules Clau: Fusta, consolidació, resines, xilòfags.
Keywords: Wood, consolidation, resins, xylophages.

Data de recepció: 30-IX-2011 / **Data d'acceptació:** 6-X-2011



www.aserraderia.com
Tel: 921 14 48 00
Fax: 921 14 48 98

www.aserraderia.com
Tel: 921 14 48 00
Fax: 921 14 48 98

www.aserraderia.com
Tel: 921 14 48 00
Fax: 921 14 48 98

www.aserraderia.com
Tel: 921 14 48 00
Fax: 921 14 48 98

INTRODUCCIÓ

Aquest estudi tècnic es duu a terme des de l'any 2010, sota la direcció del Centre de Restauració de Béns Mòbles de Catalunya (CRBMC) de la Direcció General de Patrimoni Cultural del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya. Tanmateix, compta amb la participació i l'assessorament de l'Àrea de Conservació i Restauració d'escultura i pintura sobre fusta i del Laboratori químic del CRBMC,¹ així com de l'Institut Català de la Fusta (INCAFUST).

Aquests estudis tècnics, iniciats en els darrers anys, comissionats i finançats pel CRBMC, tenen la finalitat d'intentar donar resposta a diverses qüestions específiques que el conservador de béns culturals es planteja a l'hora d'enfrontar-se a les diferents fases d'intervenció d'una obra.

OBJECTIUS

Mitjançant una sèrie de proves de laboratori, s'intenta determinar l'efectivitat de les resines sintètiques més comunes en el camp de la restauració, així com valorar i quantificar, en la mesura de les possibilitats, el canvi de les propietats físiques i mecàniques que presenta la

fusta dels objectes culturals, sotmesa als tractaments habituals de consolidació.

La finalitat és obtenir uns resultats que permetin definir un protocol d'actuació apropiat en els tractaments de consolidació i estabilització dels suports de fusta.

Aquest protocol s'ha d'adaptar a les necessitats del conservador i restaurador i ha de donar resposta als tractaments amb el denominador comú d'un suport atacat i debilitat, tant per insectes xilòfags com per microorganismes.

METODOLOGIA

En aquesta primera fase d'estudi, es preparen al taller 62 mostres, de mides similars i regulars, provinents d'una peça sense valor històric i atacada per xilòfags (principalment anòbids), classificant-se en quatre grups, que correspon a quatre graus d'estat de conservació i que prèviament s'han determinat: bo, regular, deficient i ruïnós. Per a aquesta divisió de grups es pren com a paràmetre objectiu el pes específic de cadascuna de les mostres. Tanmateix, el paràmetre de deformació en superfície per pressió exercida per un dit, tot i que no és totalment objectiu, també facilita la classificació.

¹ Josep Paret i Pey, responsable de l'Àrea d'escultura i pintura sobre fusta. Núria Oriols Pladevall, responsable del Laboratori químic (any 2010).

Taula 1. Classificació de les mostres en grups per deformació //

Grau (per grups)	Resistència a ser deformat per pressió (exercida amb un dit)
Grup A - bo	Elevada o molt elevada
Grup B - regular	Mitjana
Grup C - deficient	Baixa
Grup D - ruïnós	Molt baixa o nul·la

Taula 2. Classificació de les mostres en grups per pes específic //

Grau (per grups)	Pes específic inicial (mostres de 2 x 3 x 4 cm)
Grup A - bo	25 gr
Grup B - regular	19 gr
Grup C - deficient	16 gr
Grup D - ruïnós	12 gr

² Un dels dissolvents emprats és el White Spirit D40. La denominació D40 es refereix al punt d'inflamació (*flash point*) d'aquest dissolvent, que és precisament de 40 °C. Aquest White Spirit D40® és químicament més pur que el genèric, amb una precisió major en l'interval d'ebullició, i amb diferent polaritat i volatilitat.

Es realitzen dos tipus d'assajos:

- PROVES AL TALLER:

Es preparen les mostres i es classifiquen segons els quatre graus de conservació.

Els consolidants s'apliquen amb pinzell per impregnació, treballant les mostres en posició horitzontal i a través del tall tangencial, deixant que la gravetat faciliti la penetració i distribució, fins a la saturació en superfície del

consolidant. Seguidament s'observa el comportament immediat del producte en la fusta, tenint en compte la penetrabilitat, la distribució i el canvi cromàtic, un cop s'ha evaporat el solvent.²

Les aplicacions no són aleatòries o arbitràries, sinó combinades entre les diferents resines, solvents, concentracions i sessions de treball. 1, 2 i 3



[1] Resines preparades per aplicar (Fotografia: V. Roonthiva).

[2] Detall de la penetrabilitat de la resina Regalrez 1126® en una primera aplicació (Fotografia: V. Roonthiva).

[3] Saturació en superfície de la resina de consolidació (Fotografia: V. Roonthiva).



Taula 3: Mostres i proves de consolidació realitzades: //

Estat de conservació grau bo (grup A)
Mostra 1 (sana; sense tractar)

Estat de conservació grau regular (grup B)	Resina	Dissolvent	Proporció (%)	Nombre d'aplicacions totals
Mostra 1 (B1)	Regalrez 1126®	White Spirit D40®	5%	1
Mostra 2 (B4)	Paraloid B72®	Acetona	5%	1
Mostra 3 (B3)		Xilè	5%	1

Estat de conservació grau deficient (grup C)	Resina	Dissolvent/s	Proporció (%)	Nombre d'aplicacions totals
Mostra 1 (C1)	Regalrez 1126®	White Spirit D40®	5%	1
Mostra 2 (C2)			10%	1
Mostra 3 (C3)	Paraloid B72®	Acetona	5%	1
Mostra 4 (C4)			10%	1
Mostra 5 (C5)		Xilè	5%	1
Mostra 6 (C6)			10%	1
Mostra 7 (C7)	Regalrez 1126®	White Spirit D40®	5%	1
	Paraloid B72®	Acetona	10%	1
Mostra 8 (C8)	Regalrez 1126®	White Spirit D40®	5%	1
	Paraloid B72®	Xilè	10%	1
Mostra 9 (C9)	Regalrez 1126®	White Spirit D40®	5%	1
			10%	1

Estat de conservació grau ruïnós (grup D)	Resina	Dissolvent/s	Proporció (%)	Nombre d'aplicacions totals
Mostra 1 (D1)	Regalrez 1126®	White Spirit D40®	5%	1
Mostra 2 (D2)			10%	1
Mostra 3 (D3)			20%	1
Mostra 4 (D4)	Paraloid B72®	Acetona	5%	1
Mostra 5 (D5)			10%	1
Mostra 6 (D6)			20%	1
Mostra 7 (D7)		Xilè	5%	1
Mostra 8 (D8)			10%	1
Mostra 9 (D9)			20%	1

Estat de conservació grau ruïnós (grup D)	Resina i dissolvent	Proporció	Nombre d'aplicacions totals	Resina i dissolvent	Proporció	Nombre d'aplicacions totals	
Mostra 10 (D10)	Regalrez 1126® White Spirit D40®	5%	1	Paraloid B72® Acetona	10%	1	
Mostra 11 (D11)		5%	1		10%	2	
Mostra 12 (D12)		5%	1		10%	20%	1
Mostra 13 (D13)		5%	1	Paraloid B72® Xilè	10%	1	
Mostra 14 (D14)		5%	1		10%	2	
Mostra 15 (D15)		5%	1		10%	20%	1



4



5

- ASSAJOS FÍSICS I MECÀNICS EN EL LABORATORI:

L'objectiu és aconseguir determinar i quantificar el comportament físic i mecànic en el resultat final de les mostres tractades, tenint en compte les variabilitats obtingudes a causa de les característiques heterogènies de les 62 mostres, realitzant-se els següents tests:

- Densitat al 12% (kg/m³)
- Higroscopicitat (kg/m³)
- Contracció volumètrica, al 0%, al 12% i al 100%
- Duresa (mm⁻¹)
- Resistència a la compressió axial (kg/cm²)

Materials:

- 62 mostres de fusta antiga de pi (*Pinus L.*), amb presència d'atac de xil·lofags, tallades de forma rectangular (2 x 3 x 4 cm). La peça d'on s'obtenen totes les proves presenta els quatre estats de conservació possibles: bo, regular, deficient, ruïnós.
- Paraloid B72[®] al 5, 10 i 20% en xilè i en acetona
- Regalrez 1126[®] en White Spirit D40[®] al 5, 10 i 20%

Aparells:

- Cambra climàtica CCK 300
- Estufa J.P. Selecta Digitronic
- Premsa multiassajos MUTC-200
- Microscopi digital USB PCE-MM 200

RESULTATS PARCIALS DE LA PRIMERA FASE

LES PROVES AL TALLER

Els resultats de les mostres tractades han estat irregulars i heterogenis, segons la resina, dissolvent, nombre d'aplicacions i combinacions de resina i dissolvent aplicats.

[4] Resultat cromàtic de les mostres del grup C un cop tractades: la primera mostra a l'esquerra, sense tractar; una primera aplicació de Regalrez 1126[®] i WS D40[®], seguida per una de Paraloid B72[®] i xilè, i finalment, tan sols Regalrez 1126[®] (Fotografia: V. Roonthiva).

[5] Comparació cromàtica final de dues mostres del grup D, una sense tractar i l'altra amb aplicació de Paraloid B72[®], amb la formació característica d'una capa de "glacejat", a causa de la ràpida evaporació del solvent en superfície (Fotografia: V. Roonthiva).

Les proves realitzades amb la resina acrílica Paraloid B72[®] en acetona, han resultat ineficaces en qualsevol de les concentracions i pels quatre grups de les mostres, tant en penetrabilitat -la saturació en superfície és molt ràpida, per la immediata evaporació del solvent, i amb tan sols dues passades amb el pinzell, com en el resultat de l'aspecte visual final de les mostres. Així, s'ha observat l'aparició d'una característica pel·lícula blanquinosa d'aspecte "glacejat", a causa de la "rugositat" originada per la disposició dels cristalls de la resina en evaporar-se en superfície l'acetona gairebé de forma instantània, és a dir, als cristalls formats del Paraloid B72[®] no han tingut temps de distribuir-se degudament.

Per altra banda, les proves de Paraloid B72[®] amb xilè i Regalrez 1126[®] amb White Spirit D40[®], donen resultats més satisfactoris: la penetrabilitat ha estat uniforme i regular en les diverses concentracions i pels dos tipus de solvents emprats -xilè i White Spirit D40[®]-, saturant-se en superfície amb més lentitud en les mostres on la concentració de solvent era més elevada -al 20%- i/o on ja s'havia aplicat resina prèviament, com a mínim dues sessions -per exemple una al 10% i una altra al 20%.

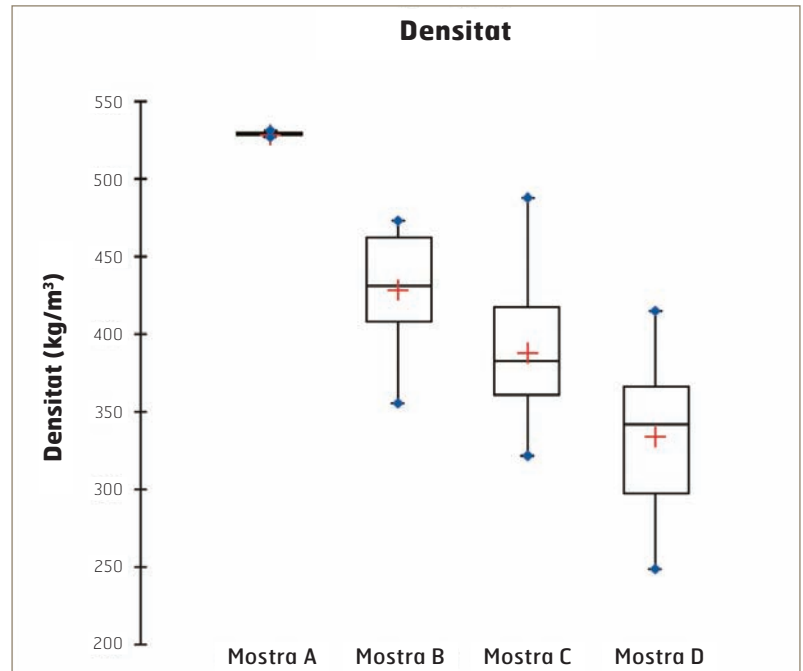
En els casos on s'han combinat consecutivament dues resines, s'aplica primer la resina de baix pes molecular, en aquest cas Regalez 1126®, per continuar després amb la resina d'alt pes molecular, Paraloid B72®, deixant entre ambdues aplicacions un període de 72 hores. ⁴ i ⁵

Finalment cal remarcar que l'augment del pes específic després del tractament, arriba en alguns casos -concretament en les mostres del grup D-, a duplicar el valor inicial de la mostra; aquest augment és raonable ja que a major nombre d'aplicacions i augment progressiu de la concentració de resina, més pes específic adquireix la fusta. Per exemple, en la mostra D15, que partia d'un valor inicial de 12 gr, després de tres sessions progressives d'aplicació combinada de resines a diverses concentracions, va passar a obtenir un pes de 25 gr un cop finalitzades les sessions -el valor es va obtenir dues setmanes després de la darrera aplicació de resina.

PROVES FÍSQUES I MECÀNQUES DE LABORATORI

Densitat: s'ha observat com aquest paràmetre decreix a mesura que l'atac de xilòfags és major. Això corrobora

Esquema 1: Diagrama de caixa: densitat



Taula 4: estadística descriptiva de la densitat //

Estadística	Densitat (kg/m³)			
	Mostra A	Mostra B	Mostra C	Mostra D
Nombre d'observacions	2	8	20	30
Mínim	526,47	355,78	321,30	248,22
Màxim	531,60	473,43	488,51	414,94
Amplitud	5,13	117,64	167,20	166,72
Primer Quartil (p ₂₅)	527,75	407,66	360,74	297,76
Mediana (p ₅₀)	529,04	431,51	382,22	341,41
Tercer Quartil (p ₇₅)	530,32	462,52	417,76	366,88
Mitjana	529,04	428,82	388,37	333,75
Desviació típica (n-1)	3,63	40,32	41,94	46,49
Coefficient de variació	0,0050	0,088	0,11	0,14

l'encert en la classificació en quatre graus de conservació, atès que les galeries internes fan disminuir la quantitat de suport, i amb ell, el pes i la densitat.

Humitat: la distribució ha estat poc comú i anòmala. En els grups B, C i D la mitjana està força allunyada de la mediana³ i en el cas de les mostres D, aquesta diferència és tan notable que la mediana, un dels valors que se suposen centrals en la distribució, es troba fora de la caixa principal del Box-Plot.⁴

Contracció volumètrica: amb l'amplitud dels resultats no és possible afirmar que la contracció es veu incrementada

amb la intensitat de l'atac de xilòfags. L'única conclusió vàlida a la que s'arriba és que la variabilitat de la contracció volumètrica de la fusta incrementa a mesura que ho fa la intensitat de l'atac de xilòfags. (Esquema 1)

Higroscopicitat: s'observa com aquest paràmetre, que és una propietat que depèn de la densitat normal i el coeficient de contracció volumètrica, disminueix a mesura que la fusta es veu afectada pels xilòfags. És a dir, l'avidesa de la fusta per l'aigua disminueix a mesura que les galeries de l'atac de xilòfags guanyen en importància. Aquest resultat és lògic, ja que a major quantitat de cavitats, menor reacció a la humitat. Tan-

³ La mitjana és l'estadística que ens informa del valor mitjà (promig) d'un conjunt de nombres ordenats. En canvi, la mediana ens informa del valor que es situa en el centre de la distribució del conjunt. Exemple: si tenim un conjunt "no centrat", és a dir, que tenim molt pocs elements o nombres amb valors elevats, la mitjana es dispararà, però la mediana en canvi no, ja que quantitativament aquells pocs elements, tot i ser molt importants, seran pocs. És a dir, en conjunts no centrats, la mitjana i la mediana no coincideixen.

⁴ Box-Plot o diagrama de caixa: És un gràfic on s'hi representen diverses estadístiques d'un conjunt de dades: mediana (p50) mitjana, primer quartil (p25), segon quartil (altrament conegut com mediana), tercer quartil (p75)... i serveixen per donar una idea de la dispersió d'un conjunt i donar també una idea visual de la situació de les dades. Sovint, per ells mateixos, hom no pot arribar a cap conclusió. Només serveixen per reforçar l'explicació dels resultats d'anàlisis més potents com les anàlisis de variació, distribució de t-student, etc.

mateix, és també important assenyalar que les resines aplicades “plastifiquen” d’alguna manera les mostres, fet que les transforma en menys reactives o sensibles a la humitat.

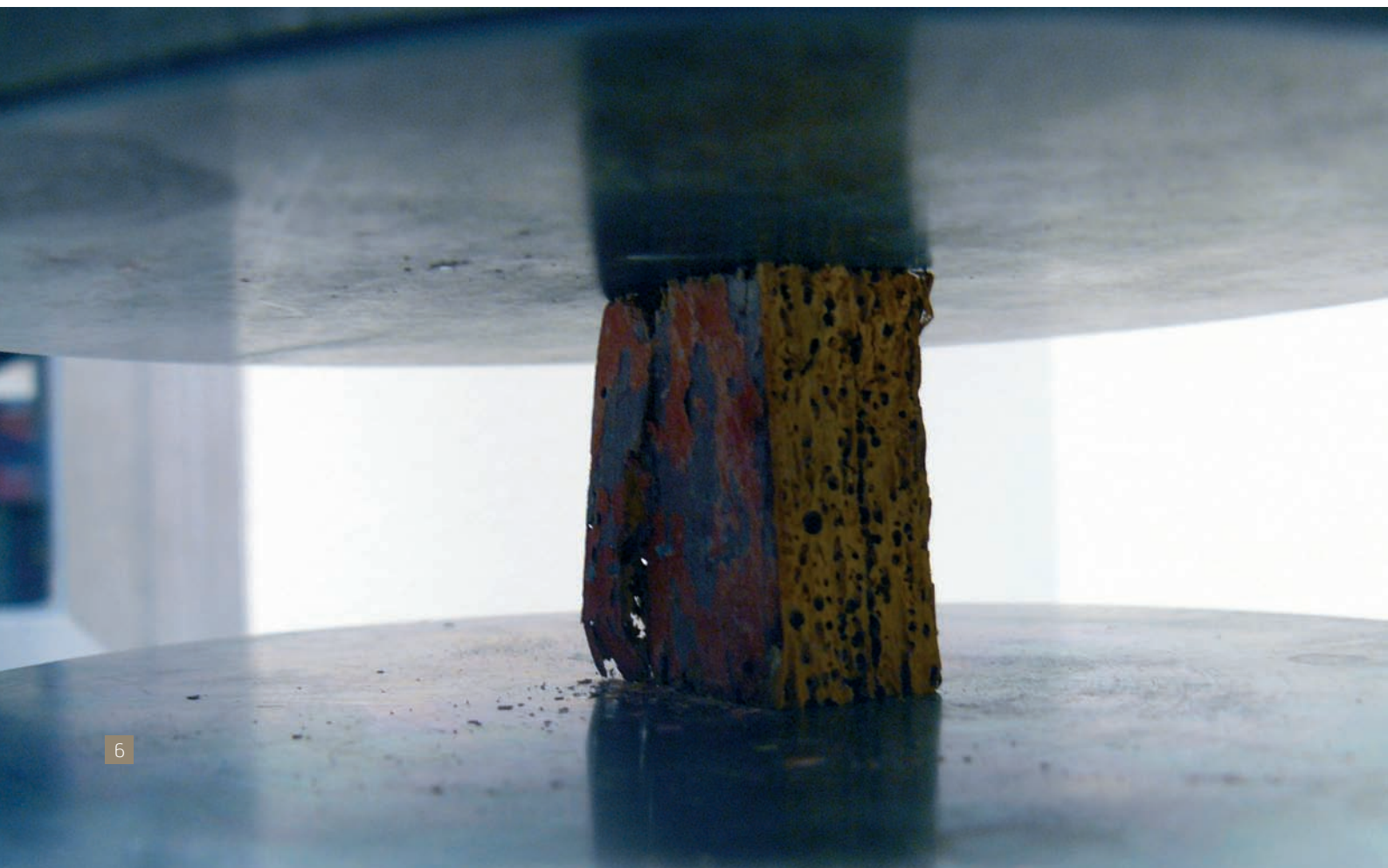
Duresa: els coeficients de variabilitat són elevats, d’un 85% per la mostra del grup B i d’un 62% pel grup C. No obstant, una dada que podria indicar un efecte positiu dels tractaments de consolidació amb les resines, és la constatació que certes mostres del grup B resulten amb

més duresa que les mostres sense defectes. Per altra banda, les mostres del grup D, més degradades, no han superat la pressió aplicada del test, transformant l’assaig de duresa en una compressió altament destructiva, i per tant, no és possible obtenir resultats vàlids per a aquest paràmetre. ⁶

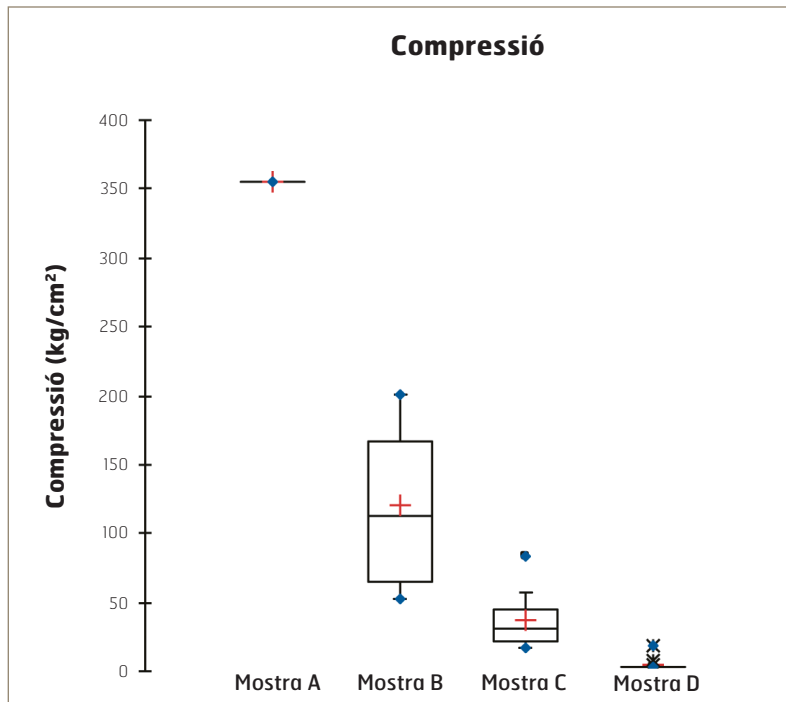
Resistència a la compressió axial: la resistència de les mostres dels grups C i D es veu seriosament reduïda per l’atac de xilòfags. Tanmateix, les mostres d’aquests grups

Taula 5. Estadística descriptiva: resistència a la compressió axial //

Estadística	Resistència a compressió axial (kg/cm ²)			
	Mostra A	Mostra B	Mostra C	Mostra D
Nombre d’observacions	1	4	10	16
Mínim	354,74	52,47	16,25	3,50
Màxim	354,74	201,49	83,58	18,86
Amplitud	0,00	149,02	67,33	15,36
Primer Quartil (p ₂₅)	354,74	65,56	22,09	3,50
Mediana (p ₅₀)	354,74	112,65	31,64	3,50
Tercer Quartil (p ₇₅)	354,74	166,90	44,67	3,50
Mitjana	354,74	119,81	37,17	4,78
Desviació típica (n-1)	0,00	70,62	20,71	3,93
Coefficient de variació	0,00	0,51	0,53	0,80



Esquema 2: Diagrama de caixa: a de caixa: resistència a la compressió axial.



tractades amb les resines no han pogut millorar en aquest aspecte, ben al contrari, s'ha accentuat la manca de resistència. (Esquema 2)

Paral·lelament, els valors obtinguts entre les mostres dels diferents grups minva significativament a mida que la degradació s'incrementa, ja que en el grup D la resistència de la fusta tractada és residual, 5 kg/cm² enfront dels 350 kg/cm² del grup A, mostra sana, sense atac de xil·lòfags i sense tractar. ⁷

CONCLUSIONS

A grans trets, els resultats de les proves d'aplicació obtingudes de les mostres tractades amb resina acrílica i acetona han resultat ineficaces a la pràctica, tant per una baixa penetrabilitat superficial de la resina a causa de la ràpida evaporació del solvent, com per l'aspecte final per l'aparició d'una pel·lícula blanquinosa, precisament per l'acció gairebé instantània d'evaporació de l'acetona.

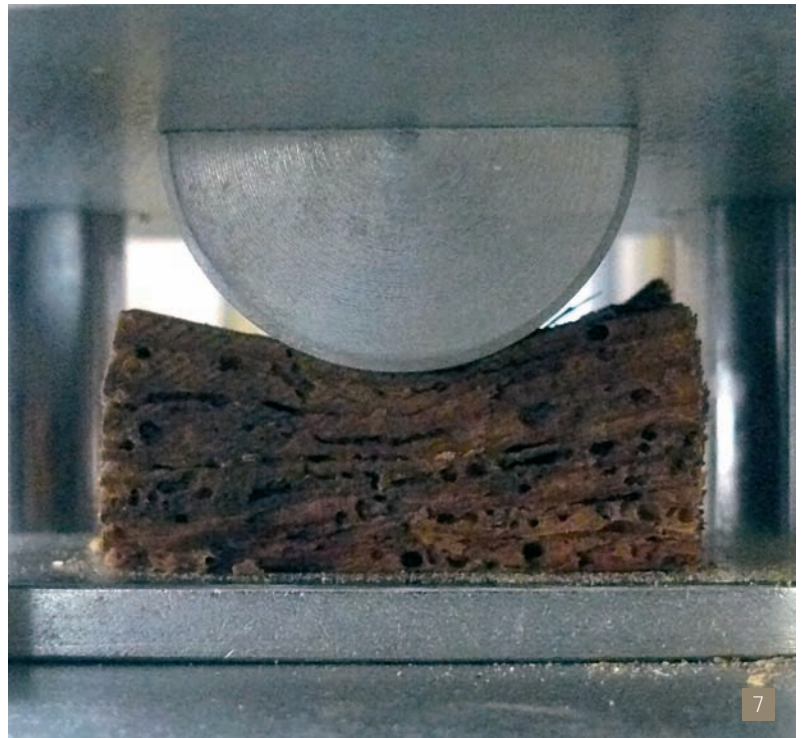
Les aplicacions d'una sola resina en concentració baixa (al 5%) en qualsevol solvent en una sola mostra, no resulten gaire satisfactòries, atès que, aparentment, calen moltes sessions d'aplicació per tal de poder arribar a obtenir uns mínims resultats.

La combinació d'aplicacions consecutives de dues resines amb el solvent xilè i White Spirit D40®, sembla donar resultats òptims, tant en la metodologia d'aplicació com en el resultat final, gràcies a l'elevada penetrabilitat i difusió dels consolidants. No obstant, en les mostres amb aplicacions combinades, els tractaments han provocat l'enfosquiment notable de les

fustes. També cal tenir present l'important augment del pes específic en aquells tractaments on s'ha requerit l'aplicació en diverses sessions o de concentracions elevades de resina, ja que pot arribar a duplicar el pes final de la mostra.

Respecte als resultats de les proves de laboratori, aquests determinen diferències entre les mostres tractades en relació a les que no ho han estat. Aquestes diferències són més evidents en el grup de mostres en estat ruïnós. Els resultats parcials obtinguts del paràmetre

de densitat de les mostres d'aquest grup, tractades amb diverses aplicacions, independentment de les resines aplicades, donen valors superiors a les mostres del mateix grup sense tractar. En el cas dels resultats de la



[6] Detall d'una prova sotmesa al test de duresa al laboratori (Fotografia: INCAFUST).

[7] Detall d'una prova sotmesa al test de resistència a la compressió (Fotografia: INCAFUST).

resistència a la compressió axial, les dades obtingudes permeten deduir que les propietats físiques i mecàniques originals de la fusta decreixen a mesura que augmenta el tractament, ja que les resines modifiquen les estructures internes de la fusta corcada, i per tant, les seves propietats, convertint-les en mostres més fràgils i menys resistents.

Quant als altres paràmetres assajats, els resultats obtinguts no han estat conclouents en aquesta primera fase d'estudi.

COL·LABORACIÓ

Institut Català de la Fusta (INCAFUST)

AGRAÏMENTS

Centre de Restauració de Béns Culturals de Catalunya
Dra. Laura Fuster-López, Universitat Politècnica de València

Dr. Paolo Cremonesi

Núria Oriols Pladevall

Idoia Tantull González

Laia Roca Pi

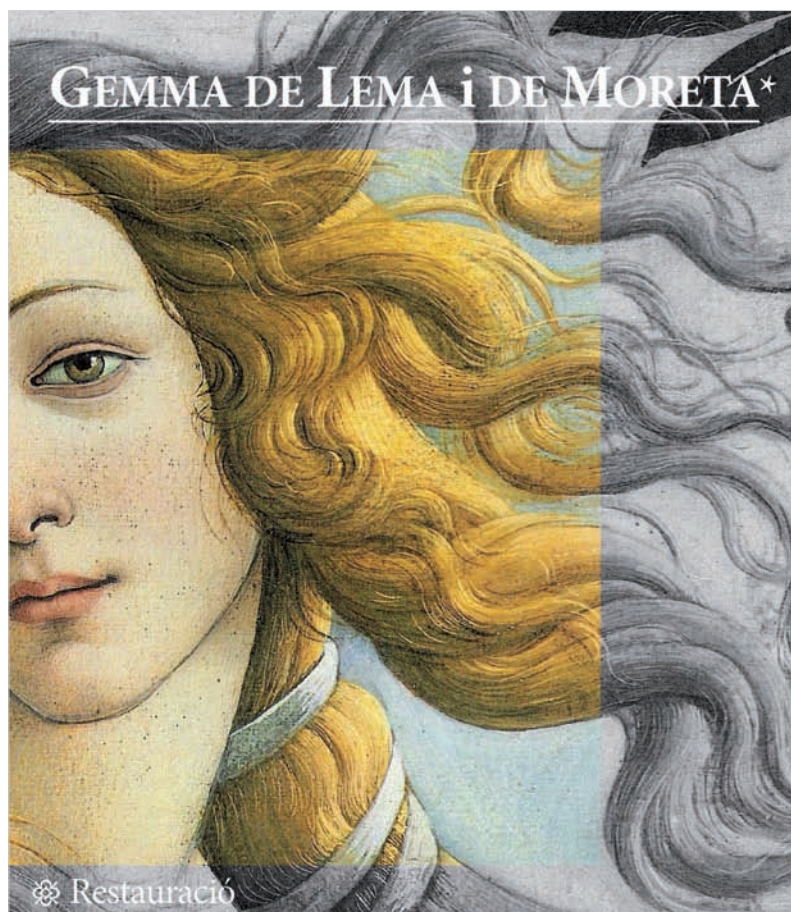
BIBLIOGRAFIA

Marion F. MECKLENBURG, Laura FUSTER, *Estudio de la pintura de caballete: comportamiento estructural y mecanismos de degradación*, València: Editorial Universitat Politècnica de València, 2009.

A. UNGER, A.P. SCHNIEWIND i W. UNGER, *Conservation of wood artifact*, Berlín: Heidelberg, Springer-Verlag, 2001.

Luca UZIELLI, Marco FIORAVANTI, "Physical and mechanical behavior of wood used for panel paintings", a *Panel Painting. Technique and conservation of wood supports*, Florència: Edizioni Firenze, 2006, p. 59-80.

Donald C. WILLIAMS, "A survey of adhesives for wood conservation", a *The structural conservation of panel paintings Symposium*, Los Angeles: Getty Museum, 1998, p. 79-86.



TALLER i classes de restauració

>> Matricula oberta tot l'any

- ✿ MOBLES
- ✿ DAURAT
- ✿ LACAT
- ✿ VIDRE
- ✿ CERÀMICA
- ✿ PROMOCIONS ESPECIALS DE GRUPS D'ALUMNES
- ✿ Segueix-nos al facebook

 www.facebook.com/tallerderestauracio

*licenciada en Belles Arts, especialitzada en restauració.

Horaris //
Dilluns a dijous,
de 10 a 13.30 h
i de 18 a 20 h
Divendres,
de 10 a 13.30 h
i de 17 a 19 h

Av. Prat de la Riba nº 80 entresòl
25004 Lleida
Tel. 645787884/973831164
E-mail:
gemma.delema@tallerderestauracio.com
www.tallerderestauracio.com