

Investigación //

Evaluación del comportamiento físico y mecánico de muestras de maderas tratadas con las resinas de consolidación Paraloid B72® y Regalrez 1126®. Hacia la definición de un protocolo de actuación

Este artículo describe los resultados obtenidos en la primera fase de ensayos de un estudio técnico, comisionado y financiado por el *Centre de Restauració de Béns Mobles de Catalunya* (CRBMC), que tiene como objetivo la evaluación del comportamiento y los cambios en las propiedades físicas y mecánicas de los soportes de madera sometidos a procesos de consolidación con la resina acrílica Paraloid B72® y la resina hidrocarbonada Regalrez 1126®. Éstas son las resinas empleadas habitualmente en los tratamientos de consolidación de soporte de maderas de bienes muebles atacados y debilitados por los insectos xilófagos.

Voravit Roonthiva. Diplomado en Conservación y Restauración de Escultura por la ESCRBC. voravit@conservadors-restauradors.com

Palabras clave: madera, consolidación, resinas, xilófagos.

Fecha de recepción: 30-IX-2011 / **Fecha de aceptación:** 6-X-2011



Muestras en el laboratorio (Fotografía: V. Roonthiva).

INTRODUCCIÓN¹

Este estudio técnico se lleva a cabo desde el año 2010, bajo la dirección del *Centre de Restauració de Béns Mobles de Catalunya* (CRBMC) de la *Direcció General de Patrimoni Cultural del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya*. Asimismo, cuenta con la participación y el asesoramiento del Área de Conservación y Restauración de escultura y pintura sobre madera y del Laboratorio químico del CRBMC,² así como del *Institut Català de la Fusta* (INCAFUST).

Estos estudios técnicos, iniciados en los últimos años, comisionados y financiados por el CRBMC, tienen la finalidad de intentar dar respuesta a varias cuestiones específicas que el conservador de bienes culturales se plantea a la hora de enfrentarse a las diferentes fases de intervención de una obra.

OBJETIVOS

Mediante una serie de pruebas de laboratorio, se intenta determinar la efectividad de las resinas sintéticas más comunes en el campo de la restauración, así como valorar y cuantificar, en la medida de lo posible, el cambio de las propiedades físicas y mecánicas que presenta la madera de los objetos culturales sometida a los tratamientos habituales de consolidación.

La finalidad es obtener unos resultados que permitan definir un protocolo de actuación apropiado en los tratamientos de consolidación y estabilización de los soportes de madera.

Este protocolo se tiene que adaptar a las necesidades del conservador y restaurador y debe dar respuesta a los tratamientos con el denominador común de un soporte atacado y debilitado, tanto por insectos xilófagos como por microorganismos.

METODOLOGÍA

En esta primera fase de estudio, se preparan en el taller 62 muestras, de medidas similares y regulares, procedentes de una pieza de madera sin valor histórico y atacada por xilófagos (principalmente anóbidos), clasificándose en cuatro grupos, que corresponden a cuatro grados de estado de conservación y que previamente se han determinado: bueno, regular, deficiente y ruinoso. Para esta división de grupos se toma como parámetro objetivo el peso específico de cada una de las muestras. Asimismo, el parámetro de deformación en superficie por presión ejercida por un dedo, aunque no es totalmente objetivo, también facilita la clasificación.

¹ Este artículo ha sido traducido del original en catalán al castellano por Cristina Serrano Peix, alumna de segundo curso de Grado de la ESCRBC.

² Josep Paret Pey, responsable del Área de escultura y pintura sobre madera. Núria Oriols Pladevall, responsable del Laboratorio químico (año 2010).

Tabla 1. Clasificación de las muestras en grupos por deformación //

Grado (por grupos)	Resistencia a ser deformado por presión (Ejercida con un dedo)
GRUPO A – bueno	Elevada o muy elevada
Grupo B – regular	Mediana
Grupo C – deficiente	Baja
Grupo D – ruinoso	Muy baja o nula

Tabla 2. Clasificación de las muestras en grupos por peso específico //

Grado (por grupos)	Peso específico inicial (muestras de 2 x 3 x 4 cm)
GRUPO A – bueno	25 gr.
Grupo B – regular	19 gr.
Grupo C – deficiente	16 gr.
Grupo D – ruinoso	12 gr.

Se realizan dos tipos de ensayos:

– Pruebas en el taller:

Se preparan las muestras y se clasifican según los cuatro grados de conservación.

Los consolidantes se aplican con pincel por impregnación, trabajando las muestras en posición horizontal y a través del corte tangencial, dejando que la gravedad facilite la penetración y distribución, hasta la saturación en superficie del consolidante. Seguidamente se observa el comportamiento inmediato del producto en la madera, teniendo en cuenta la penetrabilidad, la distribución y el cambio cromático, una vez se ha evaporado el solvente.³

Las aplicaciones no son aleatorias o arbitrarias, si no combinadas entre las diferentes resinas, solventes, concentraciones y sesiones de trabajo. **1**, **2** y **3** [pág. 126]

– Ensayos físicos y mecánicos en el laboratorio:

El objetivo es conseguir determinar y cuantificar el comportamiento físico y mecánico en el resultado final de las muestras tratadas, teniendo en cuenta las variabilidades obtenidas debido a las características heterogéneas de las 62 muestras, realizándose los siguientes tests:

- Densidad al 12% (kg/m³)
- Higroscopicidad (kg/m³)
- Contracción volumétrica, al 0%, al 12% y al 100%
- Dureza (mm-1)
- Resistencia a la compresión axial (kg/cm²)

Materiales:

- 62 muestras de madera antigua de pino (*Pinus L.*), con presencia de ataque de xilófagos, cortadas de forma rectangular (2 x 3 x 4 cm). La pieza de la que se obtienen todas las pruebas presenta los cuatro estados de conservación posibles: bueno, regular, deficiente, ruinoso.
- Paraloid B72[®] al 5, 10 y 20% en xileno y en acetona
- Regalrez 1126[®] en White Spirit D40[®] al 5, 10 y 20%

³Uno de los disolventes empleados es el White Spirit D40. La denominación D40 se refiere al punto de inflamación (*flash point*) de este disolvente, que es precisamente de 40 °C. Este White Spirit D40[®] es químicamente más puro que el genérico, con una precisión mayor en el intervalo de ebullición, y con diferente polaridad y volatilidad.

Tabla 3: Muestras y pruebas de consolidación realizadas: //

Estado de conservación grado bueno (grupo A)				
Muestra 1 (sana; sin tratar)				

Estado de conservación grado regular (grupo B)	Resina	Disolvente	Proporción (%)	Número de aplicaciones totales
Muestra 1 (B1)	Regalrez 1126 [®]	White Spirit D40 [®]	5%	1
Muestra 2 (B4)	Paraloid B72 [®]	Acetona	5%	1
Muestra 3 (B3)		Xileno	5%	1

Estado de conservación grado deficiente (grupo C)	Resina	Disolvente/s	Proporción (%)	Número de aplicaciones totales
Muestra 1 (C1)	Regalrez 1126 [®]	White Spirit D40 [®]	5%	1
Muestra 2 (C2)			10%	1
Muestra 3 (C3)	Paraloid B72 [®]	Acetona	5%	1
Muestra 4 (C4)			10%	1
Muestra 5 (C5)		Xileno	5%	1
Muestra 6 (C6)			10%	1
Muestra 7 (C7)	Regalrez 1126 [®]	White Spirit D40 [®]	5%	1
	Paraloid B72 [®]	Acetona	10%	1
Muestra 8 (C8)	Regalrez 1126 [®]	White Spirit D40 [®]	5%	1
	Paraloid B72 [®]	Xilè	10%	1
Muestra 9 (C9)	Regalrez 1126 [®]	White Spirit D40 [®]	5%	1
			10%	1

Estado de conservación grado ruinoso (grupo D)	Resina	Disolvente/s	Proporción (%)	Número de aplicaciones totales
Muestra 1 (D1)	Regalrez 1126 [®]	White Spirit D40 [®]	5%	1
Muestra 2 (D2)			10%	1
Muestra 3 (D3)			20%	1
Muestra 4 (D4)	Paraloid B72 [®]	Acetona	5%	1
Muestra 5 (D5)			10%	1
Muestra 6 (D6)			20%	1
Muestra 7 (D7)		Xileno	5%	1
Muestra 8 (D8)			10%	1
Muestra 9 (D9)			20%	1

Estado de conservación grado ruinoso (grupo D)	Resina y disolvente	Proporción	Nº de aplicaciones totales	Resina y disolvente	Proporción	Nº de aplicaciones totales
Muestra 10 (D10)	Regalrez 1126 [®]	5%	1	Paraloid B72 [®]	10%	1
Muestra 11 (D11)	White Spirit D40 [®]	5%	1	Acetona	10%	2
Muestra 12 (D12)		5%	1		10%	20%
Muestra 13 (D13)		5%	1	Paraloid B72 [®]	10%	1
Muestra 14 (D14)		5%	1	Xileno	10%	2
Muestra 15 (D15)		5%	1		10%	20%

Aparatos:

- Cámara climática CCK 300
- Estufa J.P. Selecta Digitronic
- Prensa multiensayos MUTC-200
- Microscopio digital USB PCE-MM 200

RESULTADOS PARCIALES DE LA PRIMERA FASE

- Las pruebas en el taller

Los resultados de las muestras tratadas han sido irregulares y heterogéneos, según la resina, disolvente, número de aplicaciones y combinaciones de resina y disolvente aplicados.

Las pruebas realizadas con la resina acrílica Paraloid B72® en acetona, han resultado ineficaces en cualquiera de las concentraciones y para los cuatro grupos de muestras, tanto en penetrabilidad –la saturación en superficie es muy rápida, por la inmediata evaporación del solvente, y con sólo dos pasadas

con el pincel– como en el resultado del aspecto visual final de las muestras. Así, se ha observado la aparición de una característica película blanquecina de aspecto “glaseado”, debido a la “rugosidad” originada por la disposición de los cristales de la resina al evaporarse en superficie la acetona casi de forma instantánea, es decir, a los cristales formados por el Paraloid B72® no les ha dado tiempo de distribuirse debidamente.

Por otro lado, las pruebas de Paraloid B72® con xileno y Regalrez 1126® con White Spirit D40® dan resultados más satisfactorios: la penetrabilidad ha sido uniforme y regular en las diversas concentraciones y por los dos tipos de solventes empleados –xileno y White Spirit D40®, saturándose en superficie con más lentitud en las muestras donde la concentración de solvente era más elevada –al 20%– y/o donde ya se había aplicado resina previamente, como mínimo dos sesiones –por ejemplo una al 10% y otra al 20%.

En los casos donde se han combinado consecutivamente dos resinas, se aplica primero la resina de bajo peso molecular, en este caso Regalrez 1126®, para continuar después con la resina de alto peso molecular, Paraloid B72®, dejando entre ambas aplicaciones un período de 72 horas. [4 y 5] [pág. 128]

Finalmente hay que remarcar que en algunos casos el aumento del peso específico después del tratamiento, llega en algunos casos –concretamente en las muestras del grupo D–, a duplicar el valor inicial de la muestra; este aumento es razonable ya que a mayor número de aplicaciones y aumento progresivo de la concentración de resina, más peso específico adquiere la madera. Por ejemplo, en la muestra D15, que partía de un valor inicial de 12 gr., después de tres sesiones progresivas de aplicación combinada de resinas a diversas concentraciones, pasó a obtener un peso de 25 gr. una vez finalizadas las sesiones –el valor se obtuvo dos semanas después de la última aplicación de resina.

- Pruebas físicas y mecánicas de laboratorio

Densidad: se ha observado como este parámetro decrece a medida que el ataque de xilófagos es mayor. Esto corrobora el acierto en la clasificación en cuatro grados de conservación, dado que las galerías internas disminuyen la cantidad de soporte, y con ello, el peso y la densidad.

Tabla 4: Estadística descriptiva de la densidad //

Estadística	Densidad (kg/m³)			
	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Muestra D
Número de observaciones	2	8	20	30
Mínimo	526,47	355,78	321,30	248,22
Máximo	531,60	473,43	488,51	414,94
Amplitud	5,13	117,64	167,20	166,72
Primer Cuartil (p ₂₅)	527,75	407,66	360,74	297,76
Mediana (p ₅₀)	529,04	431,51	382,22	341,41
Tercer cuartil (p ₇₅)	530,32	462,52	417,76	366,88
Media	529,04	428,82	388,37	333,75
Desviación típica (n-1)	3,63	40,32	41,94	46,49
Coefficiente de variación	0,0050	0,088	0,11	0,14

Humedad: la distribución ha sido poco común y anómala. En los grupos B, C y D la media está bastante alejada de la mediana⁴ y en el caso de las muestras D, esta diferencia es tan notable que la mediana, uno de los valores que se suponen centrales en la distribución, se encuentra fuera de la caja principal del *Box-Plot*.⁵

Contracción volumétrica: con la amplitud de resultados no es posible afirmar que la contracción se vea incrementada con la intensidad del ataque de xilófagos. La única conclusión válida a la que llegamos es que la variabilidad de la contracción volumétrica de la madera incrementa a medida que lo hace la intensidad del ataque de xilófagos. [Esquema 1, pág.129]

Higroscopicidad: se observa cómo este parámetro, que es una propiedad que depende de la densidad normal y el coeficiente de contracción volumétrica, disminuye a medida que la madera se ve afectada por los xilófagos. Es decir, la avidez de la madera por el agua disminuye a medida que las galerías del ataque de xilófagos ganan en importancia. Este resultado es lógico, ya que a mayor cantidad de cavidades, menor reacción a la humedad. Asimismo, también es importante señalar que las resinas aplicadas “plastifican” de algún modo las muestras, hecho que las transforma en menos reactivas o sensibles a la humedad.

Dureza: los coeficientes de variabilidad son elevados, de un 85% para la muestra del grupo B y de un 62% para el grupo C. No obstante, un dato que podría indicar un efecto positivo de los tratamientos de consolidación con las resinas, es la constatación que ciertas muestras del grupo B resultan con más dureza que las muestras sin defectos. Por otro lado, las muestras del grupo D, más degradadas, no han superado la presión aplicada del test, transformando el ensayo de dureza en una compresión altamente destructiva, y por tanto, no es posible obtener resultados válidos para este parámetro. [6] [pág. 130]

Resistencia a la compresión axial: la resistencia de las muestras de los grupos C y D se ve seriamente reducida por

⁴La media es la estadística que nos informa del valor medio (promedio) de un conjunto de números ordenados. En cambio, la mediana nos informa del valor que se sitúa en el centro de la distribución del conjunto.

Ejemplo: si tenemos un conjunto “no centrado”, es decir, que tenemos muy pocos elementos o números con valores elevados, la media se disparará, pero la mediana en cambio no, ya que cuantitativamente esos pocos elementos, aunque muy importantes, serán pocos. Es decir, en conjuntos no centrados, la media y la mediana no coinciden.

⁵*Box-Plot* o diagrama de caja: Es un gráfico donde se representan varias estadísticas de un conjunto de datos: mediana (p50) media, primer cuartil (p25), segundo cuartil (también conocido como mediana), tercer cuartil (p75)... y sirven para dar una idea de la dispersión de un conjunto y también una idea visual de la situación de los datos. A menudo, por ellos mismos, no se puede llegar a ninguna conclusión. Sólo sirven para reforzar la explicación de los resultados de análisis más potentes como los análisis de variación, distribución de *t-student*, etc.

el ataque de xilófagos. Asimismo, las muestras de estos grupos tratados con las resinas no han podido mejorar en este aspecto, bien al contrario, se ha acentuado la falta de resistencia. [Esquema 2, pág.131]

Paralelamente, los valores obtenidos entre las muestras de los diferentes grupos mengua significativamente a medida que la degradación se incrementa, ya que en el grupo D la resistencia de la madera tratada es residual, 5 kg/cm² en comparación de los 350 kg/cm² del grupo A, muestra sana, sin ataque de xilófagos y sin tratar. 7 [pág. 131]

dos permiten deducir que las propiedades físicas y mecánicas originales de la madera decrecen a medida que aumenta el tratamiento, ya que las resinas modifican las estructuras internas de la madera carcomida y, por lo tanto, sus propiedades, convirtiéndolas en muestras más frágiles y menos resistentes.

En cuanto a los otros parámetros ensayados, los resultados obtenidos no han sido concluyentes en esta primera fase de estudio.

Colaboración

Institut Català de la Fusta (INCAFUST)

Agradecimientos

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

IMÁGENES

1 Resinas preparadas para aplicar (Fotografía: V. Roonthiva).

2 Detalle de la penetrabilidad de la resina Regalrez 1126® en una primera aplicación (Fotografía: V. Roonthiva).

3 Saturación en superficie de la resina de consolidación (Fotografía: V. Roonthiva).

4 Resultado cromático de las muestras del grupo C una vez tratadas: la primera muestra a la izquierda, sin tratar; una primera aplicación de Regalrez 1126® y WS D40®, seguida por una de Paraloid B72® y xileno, y finalmente, solamente Regalrez 1126® (Fotografía: V. Roonthiva).

5 Comparación cromática final de dos muestras del grupo D, una sin tratar y la otra con aplicación de Paraloid B72®, con la formación característica de una capa de "gloseado", causada por la rápida evaporación del solvente en superficie (Fotografía: V. Roonthiva).

6 Detalle de una prueba sometida al test de dureza en el laboratorio (Fotografía: INCAFUST).

7 Detalle de una prueba sometida al test de resistencia a la compresión (Fotografía: INCAFUST).

Esquema 1. Diagrama de caja: densidad.

Esquema 2. Diagrama de caja: resistencia a la compresión axial.

Tabla 5. Estadística descriptiva: resistencia a la compresión axial //

Estadística	Resistencia a compresión axial (kg/cm ²)			
	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Muestra D
Número de observaciones	1	4	10	16
Mínimo	354,74	52,47	16,25	3,50
Máximo	354,74	201,49	83,58	18,86
Amplitud	0,00	149,02	67,33	15,36
Primer Cuartil (p ₂₅)	354,74	65,56	22,09	3,50
Mediana (p ₅₀)	354,74	112,65	31,64	3,50
Tercer cuartil (p ₇₅)	354,74	166,90	44,67	3,50
Media	354,74	119,81	37,17	4,78
Desviación típica (n-1)	0,00	70,62	20,71	3,93
Coefficiente de variación	0,00	0,51	0,53	0,80

CONCLUSIONES

A grandes rasgos, los resultados de las pruebas de aplicación obtenidas de las muestras tratadas con resina acrílica y acetona han resultado ineficaces en la práctica, tanto por una baja penetrabilidad superficial de la resina causada por la rápida evaporación del solvente, como por el aspecto final por la aparición de una película blanquecina, precisamente por la acción casi instantánea de evaporación de la acetona.

Las aplicaciones de una sola resina en concentración baja (al 5%) en cualquier solvente en una sola muestra, no resultan muy satisfactorias, debido a que, aparentemente, hacen falta muchas sesiones de aplicación para poder llegar a obtener unos mínimos resultados.

La combinación de aplicaciones consecutivas de dos resinas con el solvente xileno y White Spirit D40®, parece dar resultados óptimos, tanto en la metodología de aplicación como en el resultado final, gracias a la elevada penetrabilidad y difusión de los consolidantes. No obstante, en las muestras con aplicaciones combinadas, los tratamientos han provocado un oscurecimiento notable de las maderas. También hay que tener presente el importante aumento del peso específico en aquellos tratamientos donde se ha requerido la aplicación en varias sesiones o de concentraciones elevadas de resina, ya que puede llegar a duplicar el peso final de la muestra.

Respecto a los resultados de las pruebas de laboratorio, éstos determinan diferencias entre las muestras tratadas en relación a las que no lo han sido. Estas diferencias son más evidentes en el grupo de muestras en estado ruinoso. Los resultados parciales obtenidos del parámetro de densidad de las muestras de este grupo, tratadas con varias aplicaciones, independientemente de las resinas aplicadas, dan valores superiores a las muestras del mismo grupo sin tratar. En el caso de los resultados de la resistencia a la compresión axial, los datos obtenidos

BIBLIOGRAFÍA

Marion F. MECKLENBURG, Laura FUSTER, *Estudio de la pintura de caballete: comportamiento estructural y mecanismos de degradación*, Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia, 2009.

A. UNGER, A.P. SCHNIEWIND y 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*, Florencia: 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.