

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE ADHESIVOS SINTÉTICOS Y DE SUS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS APLICADOS SOBRE SOPORTE LÍGNEO

Laura Flores López¹, José Manuel Simón Cortés¹, José Vicente Grafiá Sales¹

¹ Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València

Autor de contacto: Laura Flores López, laura_flores_lopez@hotmail.com

RESUMEN: *A lo largo de la historia, se han usado materiales de diferente composición para el encolado de la madera. Actualmente, la investigación de nuevos materiales sintéticos sustituye a los usados tradicionalmente de composición natural. La elección de estos materiales sintéticos se debe en ocasiones a su fácil trabajabilidad y a las buenas propiedades que presentan frente a agentes externos y al paso del tiempo.*

Esta investigación estudia la efectividad de una serie de adhesivos sintéticos usados para el encolado de tablones en la construcción de un embón o bloque apto para el tallado de escultura lígnea, abarcando el proceso de encolado que se lleva a cabo en la reposición de faltantes. El empleo de estos adhesivos sintéticos supone una alternativa a los adhesivos naturales empleados desde hace tiempo. De este modo, se ha acotado la amplia gama de productos que hoy en día existen para este fin, comparando metodologías de aplicación y valorando cuál puede ofrecer mayores beneficios y menores riesgos para las obras de arte.

Para ello, se han diseñado una serie de probetas dirigidas a determinar la idoneidad de dichos adhesivos tras diferentes ensayos, dando a conocer las propiedades físico-mecánicas de las sustancias propuestas a estudio.

PALABRAS CLAVE: Adhesivo, Sintético, Madera, Escultura, Alteraciones

1. INTRODUCCIÓN

En el proceso de encolado de tablones en la construcción del bloque para la fabricación de una talla en madera, su posterior restauración y adhesión de faltantes volumétricos en escultura de soporte lígneo, ha sido siempre necesaria la utilización de adhesivos más resistentes que en otras disciplinas, debido a las fuertes tensiones y contracciones que puede llegar a soportar la madera.

Las colas naturales han servido a lo largo de la historia de diversas formas en el campo artístico, ya sea como adhesivo para la unión de tablones de madera en la fabricación de escultura en soporte lígneo y pintura sobre tabla, como medio aglutinante en la elaboración de pinturas, o en la preparación de una imprimación. Las colas más usadas solían ser las animales, como la cola de conejo o de pescado hecha a base de pieles y cartílagos.

A lo largo del siglo XIX aparecen las primeras patentes de colas animales y colas de pescado, pero es a finales de este siglo, con el incipiente desarrollo de la química orgánica, cuando aparecen las primeras patentes de adhesivos orgánicos sintéticos principalmente a base de urea de formaldehído.

Los primeros productos resinosos obtenidos a partir de una reacción entre formaldehído y urea se descubrieron accidentalmente en 1870, pero las primeras referencias sobre estas resinas no fueron hasta 1884. En 1897,

Goldschmidt creó la primera patente de resinas a base de urea formaldehído usadas como desinfectante. A partir de ahí, el uso de estas resinas en la industria empezó a crecer, usándose también en la fabricación de productos de moldeo y como producto sustituto del vidrio gracias a su transparencia y menor densidad.

Con la Revolución Industrial, el espectro se amplía con el descubrimiento de resinas sintéticas que aumentan y diversifican los usos hasta entonces conocidos. Es a partir de los años 30 y 40, con la Segunda Guerra Mundial, cuando se desarrollan los niveles más altos de ensayos en adhesivos, usados sobre todo en la industria aeronáutica. Esto supuso una gran revolución creando el término “pegamento” como concepto de unión estructural.

Fue a partir de principios del siglo XX, gracias a la revolución industrial, cuando se comenzó a desarrollar la ciencia de los polímeros y a descubrir los adhesivos sintéticos industriales capaces de relevar los adhesivos fabricados de manera artesanal. Con ello nacieron los adhesivos sintetizados en el laboratorio permitiendo crear nuevos materiales y nuevos diseños que posteriormente se utilizarían en una amplia gama de industrias.

La elección de un adhesivo idóneo para la restauración de escultura sobre soporte lígneo ha sido una cuestión de controversia que se plantea desde hace tiempo para el ámbito de la conservación y restauración de bienes culturales. Los estudios realizados sobre ensayos de

distintos adhesivos son ocasionales, al igual que son escasos los autores que centran sus estudios en la observación de resultados. Normalmente se prefiere la observación directa del comportamiento del proceso de adhesión en situaciones reales de restauración, por lo que la elección del mejor adhesivo y método de aplicación se lleva a cabo de modo empírico. Sin embargo, si todos estos ensayos se llevasen a cabo de una manera normalizada de forma que se pudiesen estudiar las diferentes formas de envejecimiento y alteraciones físicas y químicas de las propiedades de los adhesivos, favorecería la obtención de unos resultados objetivos y contrastados ayudando a los restauradores en la elección de un adhesivo acorde a la hora de intervenir una obra de arte.



Figura 1: Encolado de tablonés



Figura 2: Taller Rafael Grafiá

2. OBJETIVOS

El presente artículo, expone una revisión y selección de los diferentes materiales de adhesión utilizados en el campo de la restauración, permitiendo analizar el comportamiento del soporte ligneo con cada metodología de aplicación, reconociendo movimientos de soporte, aumento de rigidez, manchas y oscurecimientos, resistencia en el tiempo, etc. Y realizando a posteriori una comparativa aproximada de la eficacia del tratamiento con cada adhesivo en el soporte ligneo, pudiendo posteriormente verificar cuál de las metodologías ofrece mayores beneficios y menos riesgos.

3. METODOLOGÍA

3.1. SELECCIÓN MADERA

Después de haber realizado una búsqueda exhaustiva de normativas aplicadas a este tipo de ensayos, no se encontró un procedimiento estandarizado con anterioridad, de este modo, se han cortado 117 probetas de 55 x 55 x 25mm. Al mismo tiempo, se han cortado 35 círculos de 45mm de diámetro por 15mm de altura junto con 45 cuadrados de 70 x 70 x 17mm los cuales se usarán para la prueba de tracción.

Para la selección de un soporte adecuado se optó por una madera de abeto blanco. Esta madera semidura viene condicionada por unas características que otras no poseen. Una de esas características es que permite la tracción de ésta, de otra forma, si fuese más blanda rompería al tirar. Otra característica idónea para una investigación de testado sobre este soporte es la disposición de los anillos de primavera y otoño, ya que en este caso se disponen de forma diferenciada pero homogénea, lo cual favorece a que los resultados no se alteren al estar todas las probetas con un mismo patrón.



Figura 3: Probetas iniciales

3.2. SELECCIÓN ADHESIVOS

Con la finalidad de estudiar el comportamiento físico-químico de adhesivos sintéticos usados en el encolado de tabloncillos y reposiciones de faltantes en el campo de la conservación y restauración, se han propuesto a estudio siete adhesivos de diferentes características.

Para la selección de dichos adhesivos se tuvo en cuenta la aplicación que actualmente se le da al material, tanto si se usa más en el campo del encolado o en el área de la consolidación en restauraciones de obras. También se observaron sus cualidades físicas y composición química para adaptar lo máximo posible los productos fabricados de otros sectores, en el sector de la conservación y restauración.

Estos son los siete adhesivos seleccionados para el presente estudio:

- ACETATO DE POLIVINILO (PVAC)
- EPO 150/151
- TITEBOND ULTIMATE III
- PARALOID B72
- ACRIL 33
- UREA DE FORMALDEHÍDO (UF 446)
- UREA DE FORMALDEHÍDO (UF 111)



Figura 4: Diferentes adhesivos propuestos

3.3. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Se han elaborado una serie de probetas donde se han aplicado adhesivos de diferentes composiciones usados en el campo de la restauración. Los diferentes ensayos han determinado la elaboración de las mismas.

La aplicación de los adhesivos, necesitó según cada adhesivo un número de capas, en las que se alternó la dirección de aplicación, que venía determinado por un espesor homogéneo entre todas. Para cada tipo de probeta se empleó un método diferente según el espesor y consistencia que presentase el adhesivo a utilizar.

Para los ensayos de flexibilidad, los adhesivos se prepararon sin soporte. Para que las probetas tuviesen un tamaño homogéneo de 45mm x 10mm x 2mm, se reprodujeron por medio de un molde que permitiera un desmoldeo fácil de los adhesivos. Este proceso de extracción se realizó en un molde de elastómero RTV silicónico SILASTIC 3483/83

Tabla 1: Número y diseño de las probetas según cada ensayo

ENSAYO	TOTAL PROBETA S	TIPO DE PROBET A	PROBET A X ENSAYO	ADHESIV O X ENSAYO
PROBETA MADRE	7		7	7
ABRASIÓN	5		5	5
FLEXIBILIDA D	15		3	5
TRACCIÓN	35		5	7
	35			



Figura 5: Aplicación de los diferentes adhesivos con brocha

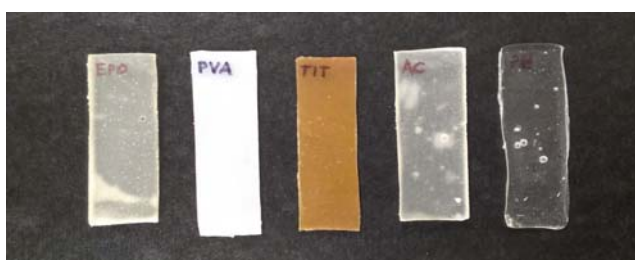


Figura 6: Probetas de flexibilidad

3.4. PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS EXPERIMENTALES

Los estudios científicos son una parte indispensable en la conservación y restauración de obras de arte, ya que permiten analizar y conocer la morfología, así como evaluar las posibles alteraciones de diversos materiales que se quieran utilizar en esta disciplina. Con la realización de estos estudios, es posible justificar de forma empírica y técnica el grado de transformación, pudiendo contrastar valores y sacar las medias de los resultados obtenidos.

Ensayos de abrasión

Los ensayos de abrasión ayudan a evaluar la resistencia física o susceptibilidad de la superficie de un material sometido a estudio. En este caso, se determinará la resistencia relativa que opone cada adhesivo al rallado superficial. El *linear abraser* se compone de un brazo metálico que realiza movimientos lineales de vaivén en sentido horizontal con un rango de acción de 50mm. Las probetas han sido sometidas a ciclos determinados según el adhesivo seleccionado, valorando la dureza de cada uno, observando desde el desgaste más superficial hasta la abrasión más continua.



Figuras 7 y 8: Ensayo de abrasión con Linear Abraser a diferentes ciclos

Ensayos de flexibilidad

La flexibilidad es la elongación máxima que puede llegar a soportar un material, sin llegar a romperse, sometido a fuerzas de tracción o flexión

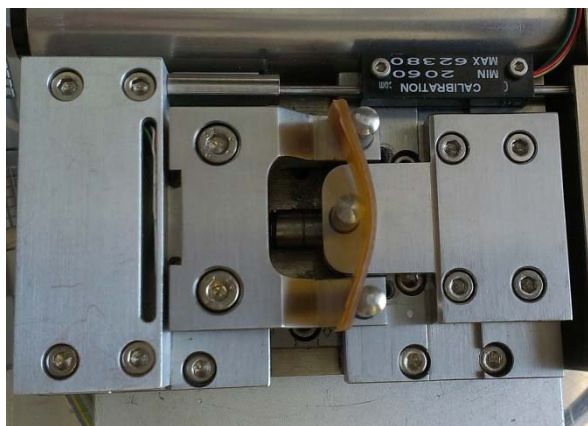
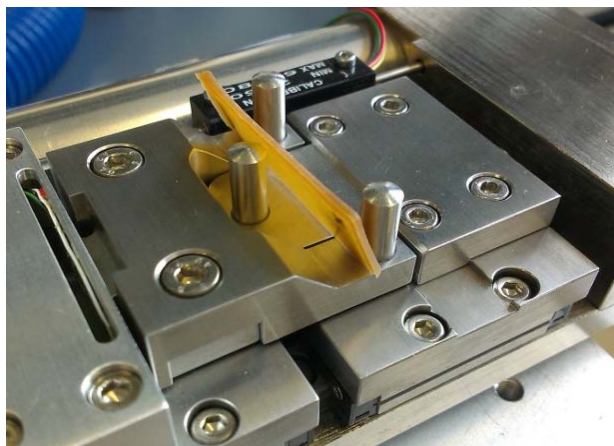
El siguiente ensayo permite la observación en tiempo real de la región de alta tensión que presenta una muestra. La flexibilidad de los adhesivos es un factor a tener en cuenta a la hora de aplicarlos en procesos de conservación y restauración, ya que de no conocer sus propiedades mecánicas puede crear tensiones en obras o zonas donde se ha aplicado.

Para este estudio se han realizado probetas de adhesivos con unas medidas específicas, ya que el Microtest estaba condicionado a su rango de acción. Una vez se recopilaron las dimensiones de cada probeta, se introdujeron en el software junto con los siguientes parámetros y condiciones:

- Mode: Tension
- Xscale: points/seconds (calcula fuerza vs. tiempo)
- Sample Time: 500ms (intervalo de toma de datos)

- Motor speed: 0,4mm/min (velocidad del motor)
- Gain: 50x

Los datos obtenidos de cada probeta se han trabajado en *Microsoft Excel*, convirtiendo los datos de formato .MTR a formato .XLS.



Figuras 9 y 10: Ensayo de flexibilidad del Titebond Ultimate III

Ensayos de tracción

La adhesividad o adherencia es una de las propiedades mecánicas más importantes en el estudio de los adhesivos. Se puede definir como la interacción entre una superficie sólida y una segunda fase que puede ser sólida o líquida.

Este ensayo produce una tensión de tracción en la unión adhesiva cuando los esfuerzos actúan perpendicularmente sobre el plano de la junta, la cual crea una resistencia de tracción, que se puede definir como la máxima carga por unidad de área necesaria para romper la unión.

Para determinar y medir el grado de adherencia de los adhesivos, se ha usado el medidor de adherencia KN-10 de Neurtek S.A. El equipo utiliza un método de tracción, midiendo en Kgf la fuerza requerida para separar una sufridera de Ø50mm. adherida a la

superficie a estudiar. Su rango de medición oscila entre 5 y 1000Kgf, valores que una vez obtenidos se calculan mediante las siguientes fórmulas:

$$\frac{Kgf}{cm^2} = \frac{\text{Medida en Kgf}}{\pi * 2,5^2}$$

$$MPa = Kgf \times \frac{9,8}{\pi \times 25^2} = Kgf/cm^2 \times \frac{9,8}{100}$$

De esta forma, con la fórmula de la izquierda pasamos los datos medidos en Kgf a Kgf/cm², y con la fórmula de la derecha obtenemos los megapascales (MPa) a partir de los Kgf o Kgf/cm².

Para la realización de este ensayo se han cortado cinco probetas por cada adhesivo en forma circular, y cinco cuadrados más como segunda parte en la unión adhesiva. Se ha aplicado cada adhesivo entre las dos probetas, creando así la unión que se someterá a estudio. Posteriormente, se ha adherido una sufridera metálica de Ø50mm × 15mm de altura, a la superficie circular con resina epoxi de doble componente.



Figura 11: Máquina de tracción Neurtek KN-10



Figura 12: Máquina de tracción Neurtek KN-10

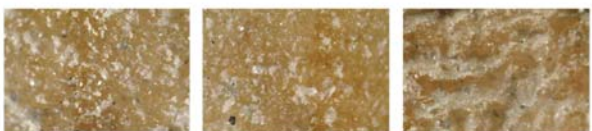
4. RESULTADOS

4.1. Resultado a la abrasión. Valoración del rallado

Se han hecho pruebas sólo en cinco de los siete adhesivos, ya que los dos adhesivos a base de urea formaldehído son adhesivos de contacto y no terminan de secar. Debido a su estado mordiente, se ha decidido no incidir con las puntas del linear abraser para no dar un resultado erróneo frente a los demás materiales.



Microfotografía probeta EPO/A, 80x, sometida a 10-30-60 ciclos/min



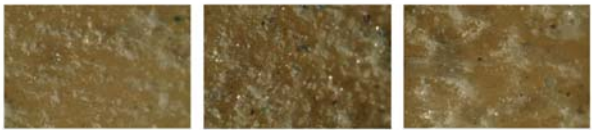
Microfotografía probeta AC/A, 80x, sometida a 10-20-30 ciclos/min



Microfotografía probeta PB/A, 80x, sometida a 5-15-22 ciclos/min



Microfotografía probeta TIT/A, 80x, sometida a 10-20-30 ciclos/min



Microfotografía probeta PVA/A, 80x, sometida a 7-15-22 ciclos/min

Figuras 13-28: Microfotografías del ensayo con el Linear Abraser a 80X en cinco adhesivos propuestos

4.2. Resultado de la flexibilidad.

Valoración de la resistencia a la rotura

En el ensayo realizado para comprobar la flexibilidad de los diferentes adhesivos, se puede constatar que las probetas, Titebond Ultimate III (TIT), Acril 33 (AC), Paraloid B72 (PB) y Acetato de polivinilo (PVA) flexionaron hasta el punto máximo sin llegar a romper debido a su gran elasticidad. La probeta Epo 150 (EPO) por el contrario, en la curvatura partió por su punto máximo flexión.

Como excepción, los adhesivos a base de urea de formaldehído UF 111 y UF 446, no pudieron ser sometidos a este ensayo por su elevado tiempo de secado, de forma que no se pudo conseguir una lámina rígida y homogénea como en los casos anteriores.

Para una mayor aclaración en el ensayo, véanse las gráficas que se exponen a continuación:

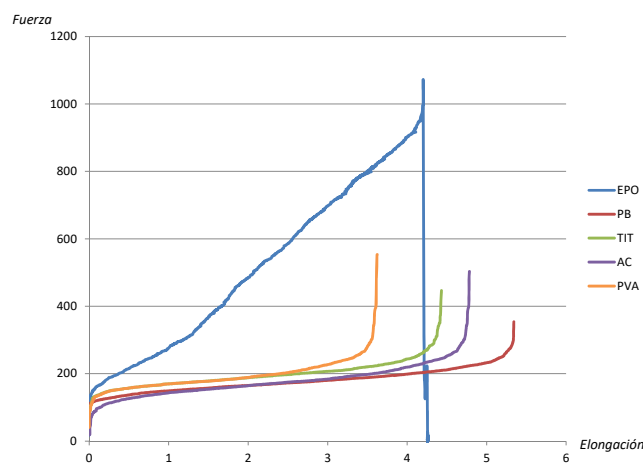


Figura 29: Gráfica de los resultados de flexibilidad

4.2. Resultado de tracción. Valoración de la resistencia a la rotura.

La resistencia a la adhesión es definida como la tracción máxima al arrancamiento por carga directa perpendicular a la superficie donde se ha aplicado, en este caso, un adhesivo sobre un soporte. La resistencia a la adhesión es la relación entre carga de rotura y el área de la superficie de ensayo

Las pruebas de tracción realizadas a las probetas, determinaron que los adhesivos empleados presentaban una fuerza de unión diferente como se puede observar en la tabla.

Cada probeta reaccionó de forma diferente, arrancando más o menos parte del soporte, o despegándose fácilmente sin necesidad de ejercer una fuerza excesiva.

El Paraloid B72 y los adhesivos a base de urea de formaldehído se despegaron fácilmente dejando intacto el soporte sobre el que estaban adheridos, por el

contrario, el Titebond Ultimate III y el Epo 150 arrancaron parte de la zona de contacto, siendo estos junto con el Acetato de polivinilo los adhesivos de mayor resistencia a dicho ensayo.

Tabla 2: Resultados de la prueba de tracci3n en Kgf/cm² y MPa

ADHESIVO	Kgf/cm ²	MPa
EPO	13,24	1,30
AC33	10,19	1,00
PB	3,06	0,30
TIT	10,19	1,00
PVA	15,28	1,50
UF 111	8,15	0,80
UF446	7,13	0,70

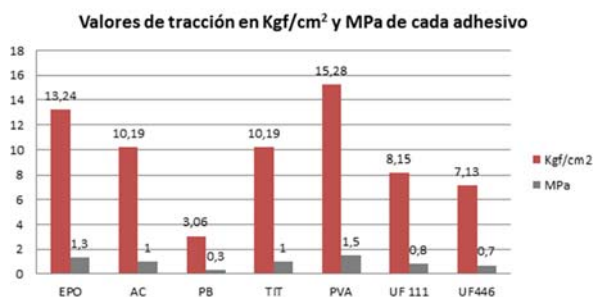


Figura 30: Gráficas de los resultados de tracci3n

CONCLUSIONES

A continuaci3n, se exponen las conclusiones más importantes alcanzadas que se desprenden de los resultados del presente trabajo.

El adhesivo más resistente al Linear Abraser ha sido la EPO 150 y el menos resistente el Paraloid B72, siendo mordiente la superficie erosionada.

Entre los adhesivos sometidos a la prueba de flexibilidad podemos destacar que es el Paraloid B72 el más flexible y la EPO 150 la que menos resistencia ha presentado.

El ensayo de tracci3n ha establecido que es el Acetato de Polivinilo y la EPO 150 los de mayor adhesi3n entre soportes adheridos y por el contrario, es el Paraloid B72 la que menos adhesi3n presenta.

Por último, como conclusi3n general, determinar que el adhesivo que más ha variado ha sido el Titebond Ultimate III. En cambio, La EPO 150 es la más

adhesiva, menos flexible y más ácida, siendo contrario el Paraloid B 72 que es el menos adhesivo, más flexible, menos resistente y al que menos afecta el pH.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente artículo desean dejar constancia a:

Instituto de Restauraci3n del Patrimonio.

Departamento de Conservaci3n y Restauraci3n de Bienes Culturales de la Universitat Politècnica de València.

Servicio de Microscopía Electrónica de la Universidad Politècnica de València.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGIOI, L. and CREMONESI, P., 2005. *Le Resine Sintetiche Usate Nel Trattamento Di Opere Policrome*. P. CREMONESI ed., Saonara: Saonara: Il prato.

CRISCI, G. and L., 308. Consolidating Properties of Regalrez 1126 and Paraloid B72 Applied to Wood. *Journal of Cultural Heritage*, vol. 11, no. 3, pp. 304-308 ISSN 1296-2074.

FRANCISCO, L.M., 1990. *Adhesivos Industriales*. L. BILURBINA ALTER ed., Barcelona: Barcelona: Marcombo.

HORIE, C.V., 2010. *Materials for Conservation: Organic Consolidants, Adhesives and Coatings*. Oxford: Oxford: Butterworth-Heinemann.

TERESA, D.C., 2013. *Principios Físico-Químicos De Los Materiales Integrantes De Los Bienes Culturales*. Valencia: Valencia: Universitat Politècnica de València.

OÑORO, J., 2007. Adhesivos y Uniones Adhesivas. *Revista De Plásticos Modernos*, no. 614, pp. 128-133.

SKEIST, I., 1966. *Manual De Adhesivos*. ed., México: México: Compañía Editorial Continental.

SORIANO SANCHO, M.P. and Bosch Roig, María del Pilar., 2008. *Análisis Mediante Abrasímetro Lineal De La Resistencia De Pinturas Murales Al Seco Arrancadas y Consolidadas Por El Reverso Con Resinas Epoxi*. Instituto Universitario de Restauraci3n del Patrimonio de la UPV.

VIVANCOS RAMÓN, M.V., 2007, *La conservaci3n y restauraci3n de pintura de caballete. Pintura sobre tabla*, p18. Tecnos, Madrid. ISBN: 84-3094-651-8

