

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

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

MÁSTER DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES



Trabajo Final de Máster presentado por:

**LAURA FLORES LÓPEZ**

Dirigida por:

**JOSE VICENTE GRAFIÁ SALES**

**JOSÉ MANUEL SIMÓN CORTÉS**

**M<sup>a</sup> VICTORIA VIVANCOS RAMÓN**

Valencia 2016



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





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

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

MÁSTER DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES

Trabajo Final de Máster presentado por:

LAURA FLORES LÓPEZ

Dirigida por:

JOSE VICENTE GRAFIÁ SALES

JOSÉ MANUEL SIMÓN CORTÉS

M<sup>a</sup> VICTORIA VIVANCOS RAMÓN

Valencia 2016



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## **RESUMEN**

---

El propósito de esta investigación se centra en el estudio de la efectividad de una serie de adhesivos sintéticos, usados para el encolado de tablonos en la construcción de un embón o bloque apto para el tallado de escultura lígnea. También abarcará el proceso de encolado que se lleva a cabo en la reposición de faltantes en esculturas de madera. El empleo de estos adhesivos sintéticos supone una alternativa a los adhesivos naturales empleados desde hace tiempo por el hombre. De este modo, se intentará acotar 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.

A lo largo de la historia como en la actualidad, 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.

El trabajo de fin de máster se divide en dos partes muy diferenciadas a la vez que complementarias entre sí. Un primer bloque donde se abarca una revisión histórica sobre los diferentes materiales adhesivos y usos que se han hecho a lo largo de la historia, y un segundo bloque que parte de un proceso experimental, donde se presenta la metodología empleada en la investigación y los resultados obtenidos mediante Microscopía óptica y análisis colorimétricos entre otros. Asimismo, se han diseñado una serie de probetas dirigidas a determinar la idoneidad de dichos adhesivos tras diferentes ensayos de envejecimiento artificial acelerado, que dan a conocer las propiedades físico-mecánicas de las sustancias adhesivas propuestas a estudio.

**Palabras clave:** *Adhesivo, Sintético, Madera, Escultura, Alteraciones*

## **RESUM**

---

El propòsit d'aquesta investigació es centra en l'estudi de l'efectivitat d'una sèrie d'adhesius sintètics, usats per l'encolat de taulons en la construcció d'un embón o bloc apte per al tallat d'escultura línea. També es centrarà en el procés d'encolat que es porta a terme a la reposició de faltants en escultures de fusta. L'ús d'aquests adhesius sintètics suposa una alternativa als adhesius naturals empleats des de fa molt de temps per l'home. D'aquesta manera, s'intentarà voltar l'àmplia gama de productes que avui dia hi ha per a aquest fi, comparant metodologies d'aplicació i valorant quin pot oferir més beneficis i menys riscos per a les obres d'art.

Al llarg de la història i en l'actualitat, s'han fet servir materials de diferent composició per l'encolat de la fusta. Actualment, la investigació de nous materials sintètics substitueixen als usats tradicionalment de composició natural. L'elecció per aquests materials sintètics es deu en ocasions a la seua fàcil treballabilitat i a les bones propietats que presenten davant d'agents externs i al pas del temps.

El treball de fi de màster es divideix en dues parts molt diferenciades alhora que complementàries entre sí. Un primer bloc on abasta una revisió històrica sobre els diferents materials adhesius i usos que s'han fet al llarg de la història, i un segon bloc que parteix d'un procés experimental, on es presenta la metodologia emprada en la investigació i els resultats obtinguts mitjançant Microscòpia òptica i anàlisi colorimètrics. Així mateix, s'han dissenyat una sèrie de provetes dirigides a determinar la idoneïtat d'aquests adhesius després de diferents assajos d'envelliment artificial accelerat, que donen a conèixer les propietats físico-mecàniques de les substàncies adhesives proposades a estudi.

**Paraules clau:** *Adhesiu, Sintètic, Fusta, Escultura, Alteracions*

## **ABSTRACT**

---

The purpose of this research focuses on the study of the effectiveness of a series of synthetic adhesives that are used to glue boards in the construction of a block of wood suitable for carving a wooden sculpture “embón”. It will also focus on the gluing process that takes place in the replacement of missing parts in wooden sculptures. The use of these adhesives is a synthetic alternative to natural adhesives used by mankind since long time ago. Thus, we will try to cover the wide range of products that exists today for this purpose, comparing implementation methodologies and evaluating which of them can provide greater benefits as well as less risks for the artwork.

Throughout history and today, materials of different composition have been used for gluing wood. At present, scientific research has provided new synthetic materials that replace the natural composition ones traditionally used. The choice of these synthetic materials is sometimes due to their easy workability and the good properties presented against external agents and the passage of time.

The final work of the master's degree is divided into two very diverse parts that are at the same time complementary. The first one deals with an historical review of the different adhesive materials and how mankind had used them through history. The second starts from an experimental process and presents the methodology used in the research and the results obtained with the optical microscope and the colorimetric analysis. A series of tests with plugs has also been designed in order to establish the suitability of these adhesives after different accelerated artificial aging trials, which reveal the physical-mechanical properties of the adhesive substances that were meant to be studied.

**Key words:** *Adhesive, Synthetic, Wood, Sculpture, Alterations*

## ÍNDICE

---

|  |               |
|--|---------------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>  | <b>Pág.13</b> |
| <b>OBJETIVOS</b>   | <b>Pág.17</b> |
| <b>PARTE TEORICA</b>   | <b>Pág.19</b> |
| 1. DE LAS COLAS NATURALES A LOS ADHESIVOS SINTÉTICOS                       | <b>Pág.20</b> |
| 2. PARTICULARIDADES E HISTORIA DE LA MADERA                                | <b>Pág.23</b> |
| 3. RELACIÓN ENTRE MADERA Y AGUA. MOVIMIENTOS DE HINCHAZÓN Y MERMA          | <b>Pág.27</b> |
| 4. ENCOLADO DE LA MADERA   | <b>Pág.29</b> |
| <b>PARTE EXPERIMENTAL</b>  | <b>Pág.33</b> |
| 5. ELECCIÓN DE MADERA Y ADHESIVOS UTILIZADOS EN LA PREPARACIÓN DE PROBETAS | <b>Pág.35</b> |
| 5.1. SELECCIÓN MADERA  | <b>Pág.35</b> |
| 5.1.1.El abeto y su morfología interna                                     | <b>Pág.35</b> |
| 6. SELECCIÓN ADHESIVOS   | <b>Pág.39</b> |
| 6.1. PVA   | <b>Pág.39</b> |
| 6.2. EPO 150/151   | <b>Pág.41</b> |
| 6.3. TITEBOND ULTIMATE III   | <b>Pág.44</b> |
| 6.4. PARALOID B72  | <b>Pág.45</b> |
| 6.5. ACRIL 33  | <b>Pág.48</b> |
| 6.6. UREA DE FORMALDEHÍDO  | <b>Pág.49</b> |
| 7. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS   | <b>Pág.51</b> |
| 7.1. Probetas de madera y aplicación de adhesivos                          | <b>Pág.51</b> |
| 7.2. Probetas adhesivas para ensayos de flexibilidad                       | <b>Pág.53</b> |
| 7.3. Preparación probetas para ensayos de tracción                         | <b>Pág.56</b> |
| 7.4. Preparación probetas para ensayos de reversibilidad                   | <b>Pág.57</b> |
| 8. NOMENCLATURA Y SIGLADO  | <b>Pág.57</b> |
| 9. INSTRUMENTACIÓN Y PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES DE ANÁLISIS             | <b>Pág.59</b> |

|   |        |
|---|--------|
| 9.1. MICROSCOPIA ÓPTICA (LM)  | Pág.59 |
| 9.1.1. Instrumentación  | Pág.60 |
| 9.1.2. Proceso experimental   | Pág.60 |
| 9.2. ANÁLISIS COLORIMÉTRICOS  | Pág.60 |
| 9.2.1. Instrumentación  | Pág.60 |
| 9.2.2. Proceso experimental   | Pág.61 |
| 9.3. ENSAYOS DE ABRASIÓN  | Pág.62 |
| 9.3.1. Instrumentación  | Pág.62 |
| 9.3.2. Proceso experimental   | Pág.62 |
| 9.4. ENSAYOS DE FLEXIBILIDAD  | Pág.63 |
| 9.4.1. Instrumentación  | Pág.64 |
| 9.4.2. Proceso experimental   | Pág.64 |
| 9.5. ENSAYOS DE TRACCIÓN  | Pág.65 |
| 9.5.1. Instrumentación  | Pág.65 |
| 9.5.2. Proceso experimental   | Pág.66 |
| 9.6. ENSAYOS DE REVERSIBILIDAD  | Pág.67 |
| 9.6.1. Proceso experimental   | Pág.68 |
| 9.7. PH   | Pág.70 |
| 9.7.1. Tiras medidoras de papel   | Pág.70 |
| 9.7.1.1. Instrumentación  | Pág.70 |
| 9.7.1.2. Proceso experimental   | Pág.70 |
| 9.7.2. PH-metro de contacto   | Pág.71 |
| 9.7.2.1. Instrumentación  | Pág.71 |
| 9.7.2.1. Proceso experimental   | Pág.71 |
| 9.8. XILOHIGRÓMETRO   | Pág.71 |
| 9.8.1. Instrumentación  | Pág.72 |
| 9.8.2. Proceso experimental   | Pág.72 |
| 10. ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO  | Pág.72 |
| 10.1. ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO EN<br>ATMÓSTERA SATURADA DE AZUFRE (SO <sup>2</sup> ) | Pág.73 |
| 10.1.1. Instrumentación   | Pág.73 |
| 10.1.2. Procedimiento experimental  | Pág.74 |
| 10.2. ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO POR<br>RADIACIÓN ULTRAVIOLETA                         | Pág.74 |
| 10.2.1. Instrumentación   | Pág.74 |
| 10.2.2. Procedimiento experimental  | Pág.75 |



|         |   |         |
|---------|---|---------|
| 10.3.   | ENVEJECIMIENTO TÉRMICO. VARIACIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA | Pág.75  |
| 10.3.1. | Instrumentación   | Pág.75  |
| 10.3.2. | Procedimiento experimental  | Pág.75  |
| 11.     | RESULTADOS  | Pág.77  |
| 11.1.   | ENSAYO DE CORROSIÓN   | Pág.79  |
| 11.1.1. | Análisis colorimétrico y de brillo                                    | Pág.79  |
| 11.1.2. | Valoraciones de las mediciones con brillo (SCI)                       | Pág.80  |
| 11.1.3. | Comparativa antes-después y microfotografía                           | Pág.81  |
| 11.2.   | PROBETAS SOMETIDAS A RADIACIÓN ULTRAVIOLETA                           | Pág.82  |
| 11.2.1. | Análisis colorimétrico y de brillo                                    | Pág.82  |
| 11.2.2. | Valoraciones de las mediciones con brillo (SCI)                       | Pág.83  |
| 11.2.3. | Comparativa antes-después y microfotografía                           | Pág.84  |
| 11.3.   | PROBETAS SOMETIDAS A TEMPERATURA                                      | Pág.85  |
| 11.3.1. | Análisis colorimétrico y de brillo                                    | Pág.85  |
| 11.3.2. | Valoraciones de las mediciones con brillo (SCI)                       | Pág.86  |
| 11.4.   | PROBETAS SOMETIDAS A HUMEDAD RELATIVA                                 | Pág.87  |
| 11.4.1. | Análisis colorimétrico y de brillo                                    | Pág.87  |
| 11.4.2. | Valoraciones de las mediciones con brillo (SCI)                       | Pág.88  |
| 11.4.3. | Comparativa antes-después y microfotografía                           | Pág.89  |
| 11.5.   | ENSAYO DE ABRASIÓN  | Pág.90  |
| 11.5.1. | Valoración del rallado  | Pág.90  |
| 11.5.2. | Microfotografía   | Pág.91  |
| 11.6.   | ENSAYO DE FLEXIBILIDAD  | Pág.95  |
| 11.6.1. | Valoración de la resistencia a la rotura                              | Pág.95  |
| 11.7.   | ENSAYO DE TRACCIÓN  | Pág.97  |
| 11.7.1. | Valoración de la resistencia a la rotura                              | Pág.98  |
| 11.7.2. | Documentación fotográfica después del ensayo de tracción              | Pág.99  |
| 11.8.   | ENSAYO DE REVERSIBILIDAD  | Pág.101 |

|  |                |
|--|----------------|
| 11.8.1. EPO 150  | <b>Pág.101</b> |
| 11.8.2. Acril 33   | <b>Pág.102</b> |
| 11.8.3. Paraloid B72   | <b>Pág.103</b> |
| 11.8.4. Titebond Ultimate III  | <b>Pág.104</b> |
| 11.8.5. PVA  | <b>Pág.105</b> |
| 11.8.6. Urea formaldehído 111  | <b>Pág.106</b> |
| 11.8.7. Urea formaldehído 446  | <b>Pág.107</b> |
| 11.8.8. Cambios cromáticos experimentados tras la aplicación de disolventes        | <b>Pág.108</b> |
| <br>   |                |
| 11.9. PH   | <b>Pág.109</b> |
| 11.9.1. Comparativa entre medición de pH con tiras de papel y pH-metro de contacto | <b>Pág.109</b> |
| <br>   |                |
| 11.10. XILOHIGRÓMETRO  | <b>Pág.110</b> |
| <br>   |                |
| 12. CONCLUSIONES   | <b>Pág.111</b> |
| 13. BIBLIOGRAFÍA   | <b>Pág.115</b> |
| 14. AGRADECIMIENTOS  | <b>Pág.119</b> |
| 15. ANEXOS   | <b>Pág.120</b> |
| 16. ÍNDICE DE IMÁGENES   | <b>Pág.127</b> |







# ***INTRODUCCIÓN***

## INTRODUCCIÓN

---

En el proceso de encolado de tablonos 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. En la fabricación de los primeros adhesivos para madera, el hombre buscó entre los productos que la naturaleza puso a su alcance, como los extractos de pescado o cartílagos de conejo, todo ello de origen animal y por tanto orgánico.

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.<sup>1</sup>

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.

Horie (2010: 44-46) comenta ya en un capítulo<sup>2</sup> dedicado al testado de polímeros, que la forma ideal para poner a prueba un polímero con fines de conservación, es someter el polímero a una serie de pruebas utilizando diversos métodos de aplicación, para posteriormente evaluar los resultados obtenidos. El autor expone que este tipo de ensayos son más adecuados y ventajosos que otros ensayos basados en envejecimiento natural, ya que deberían pasar unos 100 años para poder ver unos resultados óptimos, lo cual es impracticable. Por otra parte, Silvio Goren en su artículo "*Materiales para la Conservación ¿tan importantes como la*

---

<sup>1</sup> RICHARD, W.H., ANTHONY, H.C., SUSAN, J.B. (1989). *Adhesives from renewable resources*. American Chemical Society. Pages: 524. ISBN: 0841215626

<sup>2</sup> HORIE, C. V. (2010). *Materials for conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings*. New York: Routledge

*Conservación misma?*<sup>3</sup>, se pregunta ¿cuánto tiempo requiere un material para poder comprobar su eficacia? Afirma que se requerirían cincuenta años para poder determinar si las virtudes prometidas por los fabricantes de un material seguirían vigentes. Todo esto fue puesto en marcha porque científicos y técnicos verificaron que después de someter materias a pruebas de envejecimiento en laboratorios, éstas no siempre se asemejaban al paso real del tiempo ni a todas sus variables a las que podía estar expuesta a lo largo de su existencia después de su aplicación.

Uno de los adhesivos más usados en el encolado de soporte leñoso es el PVAc (*polyvinil acetate*). Se trata de un polímero obtenido mediante la polimerización del acetato de vinilo, una resina vinílica que se obtuvo en 1912 por un químico alemán. El acetato de polivinilo se ha podido obtener comercialmente desde 1930 en los Estados Unidos. Alcanzó un uso más generalizado a partir de los años 40 cuando empezó a sustituir a la cola de carnaza<sup>4</sup>, compensando el mayor precio que costaba producirlo con una mejora en las propiedades. Su primer uso en el campo de la conservación fue en 1932 para llevar a cabo la técnica del *strappo*<sup>5</sup> en frescos. Fue utilizado como adhesivo en restauración aproximadamente desde los años 70 en España, gracias a las diversas ventajas que presentaba frente a otros productos de formulación tradicional, como las colas orgánicas vegetales o a base de cartílagos de animales. Este adhesivo reúne un conjunto de propiedades que lo hace idóneo para la adhesión de soporte lígneo, como son: secado rápido, económico, fácil adquisición y aplicación dado que viene listo para su uso, utilización en frío y almacenaje durante un tiempo prolongado sin deteriorarse. Todas estas propiedades han sido demostradas en numerosas ocasiones en los diversos productos comerciales compuestos por acetato de polivinilo.

Existen varios textos en los que se describen propiedades favorables del PVAc aplicado a la restauración, pero como contrapartida a estos escritos encontramos artículos de estudios realizados sobre la identificación de patologías causadas por el PVAc en bienes culturales. La principal dificultad que se encuentra al usar el acetato de polivinilo es su reversibilidad, ya que tras tiempos de aplicación de 1, 6 y 24h con disolventes como acetona, etanol, o con gel de acetona llegando a tiempos de aplicación de 24 minutos no se ha conseguido remover.

---

<sup>3</sup> Año 2005 - "Materiales para la Conservación ¿tan importantes como la Conservación misma?" Publicación de la ponencia –como actas de simposio- en la Revista Argentina de Bibliotecología (de la Sociedad Argentina de Información) presentada en el II Simposio Electrónico Internacional "Conservación Preventiva en Bibliotecas, Archivos y Museos – Abrir el camino hacia la Conservación Preventiva", organizado por la Fundación Patrimonio Histórico y la Sociedad Argentina de Información. (9 ABR)

<sup>4</sup> Sustancia de gran poder adhesivo que deriva del hueso de animales mediante su cocción en agua.

<sup>5</sup> Técnica de arranque de la superficie cromática de una pintura mural

También encontramos cambios en su pH que pueden llegar a afectar la obra (ensayo realizado sobre adhesivo Rayt®, emulsión de PVAc estabilizada mediante alcohol polivinílico)<sup>6</sup>.

Tras la observación de estos inconvenientes presentados en los adhesivos con base de acetato de polivinilo, en relación con su mala reversibilidad y su variación del pH, en esta investigación se presentan alternativas comercializadas con bases de metilmetacrilato, urea de formaldehído o resinas expoxídicas líquidas entre otras, con el fin de poder exponer unos resultados que permitan valorar de forma objetiva la elección de uno o varios adhesivos, afines a los criterios establecidos.

En un principio, Cesare Brandi en su libro "*teoría de la restauración*"<sup>7</sup> expone que un material de conservación debe ser reversible e inocuo para la obra con el fin de facilitar posibles intervenciones futuras. Este es un concepto que pocos materiales de los que se usan hoy en día tienen. Siguiendo con las características que un buen material debería tener, se pueden citar la baja toxicidad, durabilidad y estabilidad en el tiempo, compatibilidad de materiales, y buenas propiedades mecánicas. Este será un punto de partida para el desarrollo de un análisis comparativo de adhesivos propuestos para el encolado de madera, con el objetivo de poder establecer un ensayo normalizado que sirva para futuras intervenciones en escultura lígnea.

Para la realización de este estudio se contará con la ayuda del Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Facultad de Bellas Artes San Carlos y el Instituto de Restauración de Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia.

---

<sup>6</sup> Campo, G; Ruiz, C; et al., "Identificación de patologías causadas por el PVAc en bienes culturales", Sección de Conservación y Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Barcelona, Congreso Iberoamericano y VIII jornada "Técnicas de Restauración y conservación de Patrimonio", 2009.

<sup>7</sup> BRANDI, C., (2002). *Teoría De La Restauración*. Madrid: Alianza.



## **OBJETIVOS**

---

Para este trabajo se realiza un estudio documental y una práctica experimental con el fin de lograr diversos objetivos entre los cuales destacan:

- Realizar una revisión histórica y una búsqueda exhaustiva de documentación bibliográfica que permita determinar qué materiales, son los más adecuados para el fin de dicha investigación.
- Seleccionar diferentes materiales de adhesión utilizados actualmente en el campo de la restauración.
- Se analizará el comportamiento del soporte lúneo con cada metodología de aplicación, reconociendo movimientos de soporte, aumento de rigidez, manchas y oscurecimientos, resistencia en el tiempo, etc.
- Se hará una comparativa aproximada de la eficacia del tratamiento con cada adhesivo en el soporte lúneo, pudiendo posteriormente verificar cuál de las metodologías ofrece mayores beneficios y menos riesgos.
- Determinar qué procesos se pueden controlar y favorecer a una óptima penetración del adhesivo empleado en el encolado de soporte lúneo para conseguir una correcta consolidación sin transformaciones ópticas y físicas.





***P*ARTE *T*EÓRICA**

## PARTE TEÓRICA

---

### 1. DE LAS COLAS NATURALES A LOS ADHESIVOS SINTÉTICOS

Desde la antigüedad, las colas utilizadas han sido muy diversas en cuanto a su naturaleza y composición. Ya en la prehistoria, las colas orgánicas eran a base de vegetales y animales usadas para unir puntas de jabalina al asta. Los egipcios, empleaban colas a base de caseína, almidones y azúcares para la unión de hojas de papiro, además, utilizaban restos de huesos de animales cocidos para unir láminas de madera de sicomoro en esculturas de más de 3300 años de antigüedad<sup>8</sup>.

El científico e inventor griego Gaius Plinius Secundus, más conocido como Plinio "El Viejo", describe en uno de sus libros como se usaban diferentes partes de pescados en la elaboración de colas para pegar maderas.

*"En vn grande lago de los Capios ay vn pefcado, al qual llama Rodolecio Oxirinco, [...], y que del vientre deftos fe haze fortifsima cola para pegar madera, qualquiera otra cofa quebrada"*<sup>9</sup>

*"Del cuero deffe pefcado, y de fu vientre, fe haze fortifsima cola; y por eſta caufa la llaman ichtiocola"<sup>10</sup>, que fignifica cola de pez"*<sup>11</sup>

A parte de su uso en manifestaciones cotidianas como las citadas anteriormente, 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 tabloncillos de madera en la fabricación de escultura en soporte lúneo 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 puede ser 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.<sup>12</sup>

---

<sup>8</sup> LIESA, F., BILURBINA, L., 1990, *Adhesivos industriales*, p 11

<sup>9</sup> PLINIO SEGUNDO, C., *Historia natural, Libro IX, cap. LI, p 648*.

<sup>10</sup> Cola de pescado obtenida de las vejigas natatorias de peces como el esturión. Tiene una consistencia gelatinosa y se comercializa en hojas transparentes, que suelen usarse en el sector alimenticio o como adhesivo natural.

<sup>11</sup> PLINIO SEGUNDO, C., *Historia natural, Libro IX, cap. XV, p 552*.

<sup>12</sup> LIESA, F., BILURBINA, L., 1990, *Adhesivos industriales*, p 12

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<sup>13</sup> gracias a su transparencia y menor densidad<sup>14</sup>.

A principios del siglo XX, 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.<sup>15</sup>

Los primeros intentos comerciales de fabricar resinas de epíclorhidrina fueron en 1927 en los Estados Unidos, después en 1936 las primeras síntesis de resinas epoxi basadas en bisfenol-A, siendo en la década de 1950 cuando definitivamente se empezaron a formular los primeros adhesivos epoxi. Una de las principales marcas encargadas de comercializar este tipo de resinas es la conocida Araldite. A partir de esa fecha se impulsó el desarrollo de una gran variedad de familias adhesivas incluyendo los cianocrilatos, acrílicos, anaeróbicos y silanos entre otros.

En la actualidad, las empresas trabajan para poder mejorar las familias de productos existentes, así como, combinaciones entre adhesivos y búsqueda de nuevas aplicaciones. A día de hoy, se producen millares de toneladas de adhesivos sintéticos al mes, los cuales han supuesto un gran avance frente a los de origen natural en relación a su mayor resistencia en las uniones y gran estabilidad frente a agentes físicos, químicos y biológicos<sup>16</sup>.

Esta revolución de adhesivos sintéticos afectó al mundo de la conservación y restauración, ya que supuso un amplio abanico de nuevas posibilidades. Muchos de los nuevos materiales sintéticos descubiertos, permitían al restaurador poder subsanar posibles problemas o inconvenientes de conservación que anteriormente no podía solucionar. De este modo,

---

<sup>13</sup> Esta sustitución de la resina a base de urea formaldehído por el vidrio se le llamó “Pollopas”, nombre comercial de un termoplástico usado en la actualidad que da nombre a una lámina de espejo.

<sup>14</sup> ESTÉVEZ BOLÍVAR, P.A., 2012, *Desarrollo, caracterización y optimización de resinas base urea-formol (uf), como adhesivos para tableros aglomerados con baja emisión de formaldehído*, Tesis doctoral, Universidad de Burgos, p 1-2

<sup>15</sup> LIESA, F., BILURBINA, L., 1990, *Adhesivos industriales*, p 12

<sup>16</sup> *Ibidem*, p14

empezó un proceso de sustitución de productos tradicionales que hasta entonces se habían utilizado, por otros sintéticos y punteros en el mercado que permitían unas mejoras físico-químicas.

Los adhesivos son una industria en constante evolución que ayudan a desarrollar y avanzar en el campo de la conservación y restauración, por ello hay que tener especial cuidado, ya que los productos son tan variables y se pueden aplicar a una amplia gama de sectores y materiales, hay que detenerse a considerar qué productos son inocuos para la obra y cuáles se podrán usar sin cambiar las propiedades originales que presenta.

Frente a la masiva gama de productos, los cuales muchos de ellos se desconoce su comportamiento, es necesario realizar estudios previos y análisis que aseguren unas buenas propiedades compatibles con las tareas del restaurador. Por norma general, las empresas no fabrican productos expresos para el sector de conservación y restauración, sino que son los restauradores los que acogen productos empleados en otros sectores y los introducen<sup>17</sup>.

Un gran problema de esto, como se cita anteriormente, es que las empresas fabrican productos generalizados intentando economizar y hacer un estudio de mercado en el cual, el consumidor deberá cambiar el producto en un corto periodo de tiempo y así poder introducir uno nuevo y poder ganar beneficios nuevamente. El gran inconveniente para la restauración, es que se necesitan materiales de larga duración y con una estabilidad frente a agentes externos.

---

<sup>17</sup> MATTEINI, M., MOLES, A., 2008. *La Química En La Restauración*, p 214

## 2. PARTICULARIDADES E HISTORIA DE LA MADERA

Para realizar un trabajo sobre madera, lo primero que hay que comprender es que la madera es un material “vivo” el cual está en constante movimiento dependiendo de varios factores como la humedad relativa o la temperatura entre otros<sup>18</sup>.

La madera es uno de los soportes rígidos más usados en la antigüedad. Sus principales usos en el arte han sido como soporte de pintura de caballete y escultura polícroma.

De entre los restos leñosos más antiguos encontrados hasta el momento, aparecen una punta de lanza de *Taxus baccata* datada en 300.000 años y una lanza con punta endurecida en fuego de hace 200-250.000 años.



Fig.1. Punta de lanza paleolítica hecha con madera

En el Paleolítico Superior y el Mesolítico se empiezan a fabricar los primeros arcos y flechas, siguiendo con el sedentarismo donde aparecerá por primera vez la madera como elemento constructivo. Es a partir de ahí, con la llegada de las primeras civilizaciones urbanas, cuando

<sup>18</sup> La humedad relativa de la madera se puede medir mediante un xilohigrómetro

empiezan a desarrollarse los primeros sectores de carpintería y ebanistería dando como resultado importantes obras de estructuras, muebles y decoración<sup>19</sup>.

Dentro del ámbito de las civilizaciones mediterráneas, encontramos el arte egipcio que es el más desarrollado. Los egipcios fabricaban sarcófagos de madera para honrar a sus difuntos, los cuales se hacían de madera para policromarlos con colores vistosos. Esta era una técnica muy usada por los egipcios para glorificar al rey que era considerado como un dios viviente, el cual debía estar presente en todas las manifestaciones artísticas para que la gloria de los difuntos recayese sobre él. Un dato a tener en cuenta, es que los egipcios disponían a penas de bosques en los que talar madera para la fabricación de útiles y sarcófagos, por lo que la importaban de Siria mediante barcos. La poca madera de que disponían era usada principalmente para la realeza, usando la alternativa del "cartonage"<sup>20</sup> como sustituto<sup>21</sup>.



Fig.2. Sarcófago de madera elaborado entre el 672 y el 525 a.C para Taremetchenbastet

Los primeros testimonios que se han encontrado sobre el encolado de material lúneo son los jeroglíficos de los egipcios, alguna figura estatuaria y los sarcófagos de sus faraones que incluían chapas de madera encolada.

En la época grecorromana aparecen retratos de difuntos sobre madera. Esta tendencia viene de la mezcla de estilos egipcios y griegos, por una parte, los egipcios aportan la costumbre de introducir un retrato entre las vendas del embalsamamiento, y por otra, los griegos aportan la técnica y el estilo de fabricación. El propósito de estos retratos realistas era ofrecer una imagen

<sup>19</sup> RODRIGUEZ BARREAL, J. A., 1998, *Patología de la madera*, p.14-15

<sup>20</sup> Material obtenido a partir de una mezcla de tela de lino, fibras de papiro y estuco de yeso que se modelaba sobre una base de paja creando formas antropomórficas y paralelepípedas.

<sup>21</sup> VIVANCOS RAMÓN, V., 2007, *La conservación y restauración de pintura de caballete. Pintura sobre tabla*, p18



idealista del difunto, llegando a ser expuestos algunos de los retratos en zonas púlicas para su exhibición.

De entre los retratos más destacados encontramos los de Hawara, Antinoopolis, Rubayat y Al Fayum, siendo estos últimos los más importantes descubiertos en 1615 por Pietro della Valle<sup>22</sup>.



Fig.3 y 4. Retrato de Al Fayum y retrato de Al Fayum en una tumba

A parte de estas representaciones artísticas, se han encontrado otros objetos útiles como ruedas de madera<sup>23</sup> antiguas dentro de tumbas de Mesopotamia, fabricadas entre los años 3000 y 2500 a.C. Los egipcios, aparte de transformar la rueda maciza en una rueda compuesta de cuatro radios, usaban cuñas de madera empapada en agua para poder así introducirlas en las grietas y cortar los bloques de piedra. En la ciudad de Nimrud, en Mesopotamia, se encuentra una polea realizada en madera de morera que data del 800 a.C, y es a Arquímedes entre los años 287-212 a.C a quien se le otorga el invento de la rueda dentada, que permite transmitir fuerza mediante engranajes con dientes de madera<sup>24</sup>.

En la ciudad de Herculano aparece ya la madera usada para construcciones y edificaciones, creando así entramados rellenos de obra. Esta técnica comienza a extenderse por toda Europa, usándose principalmente en edificios para el culto, templos y conventos.

Debido a los saqueos, incendios y guerras medievales, se hace necesario tener que sustituir la madera por materiales más duraderos y fuertes como la piedra, dejando en segundo plano este soporte. En este segundo plano encontramos, gracias al poder fáctico<sup>25</sup> que en ese momento

<sup>22</sup> MARTÍN REY, S., 2005, *Introducción a la Conservación y Restauración de Pinturas: Pintura sobre lienzo*, p 38

<sup>23</sup> Se fabricaban con tres tablonos unidos entre sí con tirantes de madera y un agujero como eje que coincidía con el hueco natural dejado por el nudo extraído.

<sup>24</sup> GARCÍA ESTEBAN, L., *Historia de la tecnología de la madera*, Boletín de información técnica N° 198, p 68

<sup>25</sup> Poder al margen de las instituciones legales que se ejercía sobre la sociedad en virtud de la autoridad de presión que poseían.

ejercía la iglesia, revestimientos de iglesias, las cuales estaban construidas exteriormente con piedra e internamente con madera. También gana una gran importancia la decoración mediante retablos, esculturas, sillerías y altares, dando lugar a grandes obras.

A partir de finales del siglo XIV se produce un aumento de la prosperidad económica en el Reino de Valencia, el cual beneficia a la contratación y la producción artística, dando lugar a un gran número de retablos y esculturas iconográficas realizadas en madera. El retablo fue adquiriendo poco a poco valor de expresión artística y sentimiento devocional por parte del pueblo. Los altos cargos y grandes familias nobiliarias solicitaron que los artistas con mayor prestigio de la ciudad de Valencia, realizasen muchos de los retablos que hoy se conservan y encuentran en la ciudad<sup>26</sup>.

A lo largo de los años, como se ha visto, la madera ha ido perdiendo protagonismo y se ha ido sustituyendo por otros materiales, como piedra, tela o materiales sintéticos más novedosos, estos últimos desde mediados del S. XX. Esto se debe a que la madera presenta ciertos inconvenientes estructurales a la hora de poder fabricar una obra u objeto. Las limitaciones vienen dadas por las dimensiones del ancho del tronco, que en ocasiones requiere un ensamblado de varias piezas haciendo difícil ocultar la unión. Este material da como resultado una serie de inconvenientes naturales y difíciles de subsanar como son los nudos y vetas que dificultan la representación y provocan en ocasiones graves daños.

Aunque el uso de la madera ya no abarca el elevado número de sectores que ocupaba antiguamente, sigue teniendo una gran importancia en sectores como la carpintería y construcción, como elemento de combustión o para la fabricación de papel entre otros.



Fig.5. Taller Rafael Grafiá

<sup>26</sup> SERRA DESFILIS, A., MIQUEL JUAN, M., 2010, *La madera del retablo y sus maestros. Talla y soporte en retablos medievales valenciano*, Vol. XCI, p 14

### 3. RELACIÓN ENTRE MADERA Y AGUA. MOVIMIENTOS DE HINCHAZÓN Y MERMA

En cualquier proceso en el cual la superficie de la madera está funcionalmente implicada en un proceso de humectación, absorción, extensión del adhesivo o adherencia, la condición de la superficie se convierte en una variable o parámetro más a considerar. La humedad es uno de los factores más importantes en la vida y desarrollo de la madera, ya que afecta directamente sobre el comportamiento físico-mecánico de ésta.

Como la mayoría de los materiales orgánicos, la madera es un material higroscópico el cual varía su humedad en función de las condiciones atmosféricas de temperatura y humedad que haya en el medio donde se encuentra. Por ello, es imprescindible tener conocimiento de los movimientos que este soporte puede tener, ya que, en caso de no tener este factor en cuenta, se puede hacer un mal uso experimentando variaciones dimensionales irreversibles.

Entendemos por humedad, la cantidad de agua que hay en el interior de la madera, la cual representa entre el 50-60% del peso total del tronco y se encuentra de dos formas distintas. Por una parte, encontramos el agua de saturación o agua ligada que está retenida dentro los espacios microscópicos y submicroscópicos de las paredes celulares por enlaces de hidrógeno, por otra parte, está el agua libre que se encuentra en las cavidades celulares o lúmenes de las células en forma de agua líquida la cual se produce con la saturación de estas paredes celulares.

Durante el proceso de secado la madera se deforma debido a la contracción de sus fibras, siendo su parte periférica la más porosa por tener los vasos linfáticos más gruesos. Lo primero que la madera pierde en este proceso es el agua libre hasta llegar al punto de saturación de las fibras<sup>27</sup>, luego pierde el agua ligada y la madera empieza a contraerse hasta llegar a un 10-20% en contenido de agua. Existe un equilibrio higroscópico entre el agua ligada que se encuentra en las paredes celulares y la humedad del ambiente. Si se parte de una madera seca expuesta a una atmósfera con una humedad relativa alta, las moléculas de agua del ambiente penetrarán en el tejido de la madera quedando retenidas en su interior. Si por el contrario, se expone una madera húmeda a un ambiente seco, el agua retenida en la madera pasará a formar parte del ambiente. De esta forma, la madera y el ambiente en el que se encuentra crean procesos de equilibrio que continuarán hasta su adaptación<sup>28</sup>.

---

<sup>27</sup> El punto de saturación de las fibras está entre el 25-30% de su contenido en agua, a partir de ese punto, la madera no puede absorber más humedad del aire.

<sup>28</sup> BARROS, J.M., 2012, Apuntes C y R de pintura sobre tabla



Fig.6. Proceso de secado de la madera

La madera, al ser un soporte que no es homogéneo, presenta características muy diferentes según el plano o la dirección que se elija. Se aprecian tres direcciones: la dirección axial, que es la que corresponde al eje del árbol; la dirección radial, que como su nombre indica corresponde a la de la dirección de los radios y está perpendicular al eje; y la dirección tangencial, que también se encuentra perpendicular al eje en posición tangencial al árbol.



Fig.7. Cortes de la madera

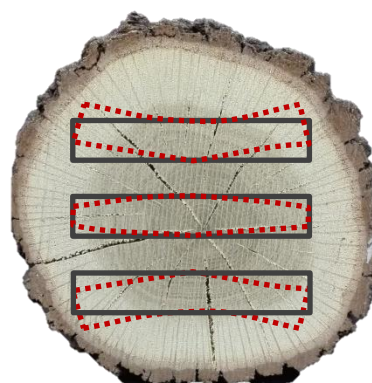


Fig.8. Movimientos de la madera según el corte

Debido a la anisotropía<sup>29</sup> que presenta la madera, cuanto más alejado sea el corte del centro del tronco, mayor serán las variaciones dimensionales que sufrirá. Normalmente el sentido tangencial experimenta el doble de la variación que puede llegar a tener el sentido radial, esto ha de tenerse en cuenta a la hora de elegir y encolar los tablones, ya que puede crear tensiones superiores a las soportadas por los adhesivos y causar daños en la pieza final.

<sup>29</sup> Característica de la madera por la cual varían sus propiedades de forma diferente según la dirección que se trabaje.

#### 4. ENCOLADO DE LA MADERA

La madera usada como material de soporte permite crear formas complejas alternándose y uniéndose de diferentes formas, por ello es importante conocer las propiedades y comportamientos de la madera, al igual que sus movimientos y estructura para evitar posibles variaciones en la madera una vez tallada.

Al proceso de unión de las diferentes partes que constituirán la escultura se le denomina de diversas formas según varios autores. Paolo Prada llama al proceso de unión de varios trozos de madera, para la formación de un bloque único, como "laminado"<sup>30</sup>. Por otro lado, Gañán Medina llama a este bloque inicial "embón", término más extendido entre el gremio de los escultores, el cual se construirá a partir de tablones ensamblados dependiendo de las dimensiones deseadas por el escultor. El tamaño de la pieza y su desenvolvimiento espacial determinarán el tipo de bloque a utilizar, ya sea un bloque macizo para las figuras de menor tamaño, o un embón ahuecado para las de mayor tamaño, ya que este ahuecamiento reducirá los movimientos de la madera.

*"Hasta bien entrado el siglo XVII, las figuras eran talladas casi siempre a partir de un tronco de dimensiones adecuadas. [...] Ahuecando siempre la figura una vez acabada a través de unas ventanas, normalmente posteriores, denominadas tapas, se libera el tronco de la médula, evitándose así que el embón de abriese. El ahuecado es uno de los procesos fundamentales para contrarrestar fuerzas y movimientos del tronco o del embón. [...] Si el volumen del tronco inicial era insuficiente, se le añadían piezas al hilo, para completar volúmenes."<sup>31</sup>*

Para una correcta estereotomía de la madera<sup>32</sup> es necesario conocer los diferentes tipos de unión o ensamble de la madera, divididos en tres bloques principales.

Los ensambles de acoplamiento son los más sencillos y por ello más utilizados normalmente por los artesanos. También pueden llamarse de superposición o unión al hilo. Consiste en la unión de la madera viva, pegando una pieza con otra respetando la dirección de la veta (Véase Fig. 9)

Otro tipo son los ensambles de empalme, que suelen utilizarse cuando los planos de unión no ofrecen las caras al hilo y son uniones inestables. Se han de estudiar bien y requieren técnicas y recortes específicos para resistir las fuerzas de compresión y tracción que tengan que

<sup>30</sup> PRADA, P., 1998, "Esculturas en madera", p 52-54

<sup>31</sup> GAÑÁN, C., 1999, "Técnicas y evolución de la imaginería polícroma en Sevilla"

<sup>32</sup> Se denomina estereotomía de la madera al conjunto de métodos, procesos y leyes que permiten uniones estables, a través de cortes y enlaces que garanticen la correcta y equilibrada transmisión del esfuerzo.

soportar. Dentro de este bloque hay varios tipos de uniones, como son las uniones a media madera, de caja o espiga, con cola de milano o doble cola de milano.

Por último, están los ensambles de nudos, usados por carpinteros en la fabricación de muebles complejos y sistemas de ornamentación.

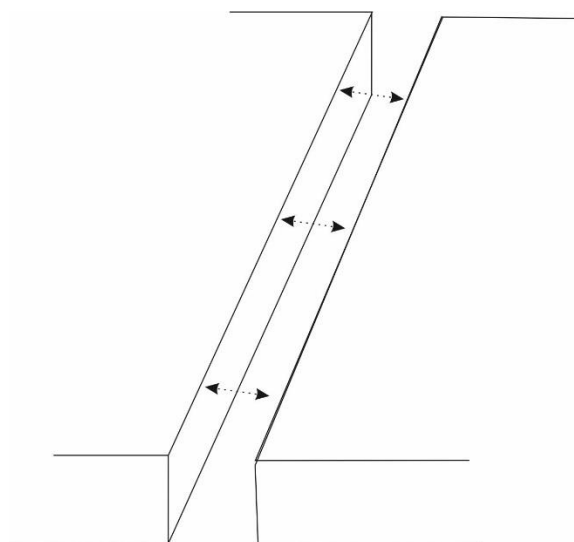


Fig.9. Ensamble de acoplamiento

Para el encolado del embón hay que tener clara de distribución de cada tablón, teniendo en cuenta los volúmenes de la pieza a construir. Cada pieza de madera consta de tres partes o caras bien diferenciadas. La testa, que es el corte perpendicular a través del cual se ve el anillado del tronco; la cara, que es el corte equivalente al ancho de la pieza de madera y el canto, que es el lado equivalente al ancho de la pieza<sup>33</sup>.

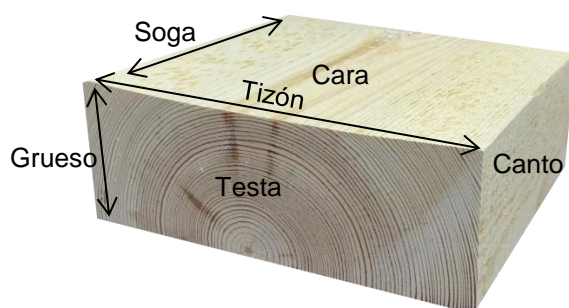


Fig.10. Partes de un tablón de madera

Para una buena distribución se ha de tener en cuenta que la albura contrae más que el duramen debido a que tiene una mayor porosidad y por tanto pierde más agua. Los tablones se

<sup>33</sup> GAÑÁN, C., 1999, "Técnicas y evolución de la imaginería polícroma en Sevilla"

han de disponer orientando sus fibras en sentido de la mayor longitud, esto evitará mayores movimientos en la pieza acabada. Una de las premisas más importantes en el encolado de tablones es la disposición de estos, ya que la orientación del anillado debe tener siempre la misma disposición, de forma que los anillos no lleguen nunca a cerrar un círculo perfecto, invirtiendo así los tablones que conformarían el tronco original<sup>34</sup>.

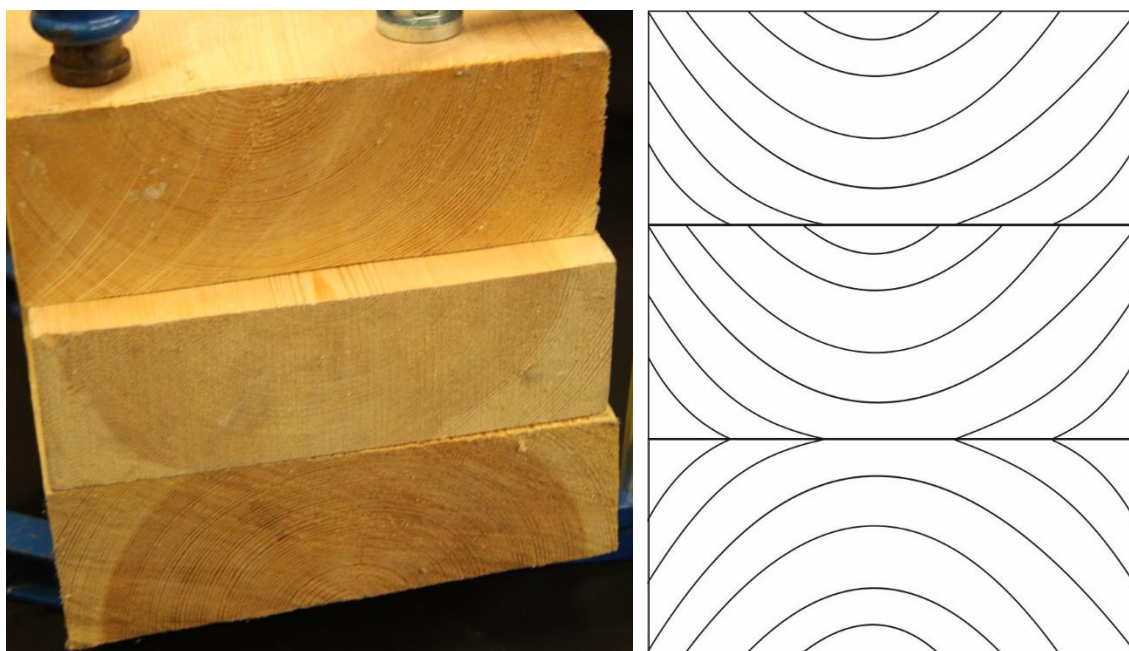


Fig.11 y 12. Distribución de los anillos para el encolado de tablones

Una vez la distribución está hecha se procede al cepillado de las piezas para realizar un buen ensamble. Desde la Edad Media, las colas más usadas eran las colas naturales como cola de conejo, cola de carpintero, cola de pescado o cola de queso<sup>35</sup> entre otras para el encolado de los tablones, pero con la aparición en el mercado actual de colas sintéticas, el uso de lo natural

<sup>34</sup> Se debe siempre ensamblar albura con albura y duramen con duramen, alternando las capas izquierda-derecha-izquierda y así sucesivamente. Esto se debe a que el alabeo o encorvamiento de la madera es siempre inverso al arco que describen los anillos de la testa.

<sup>35</sup> "Esta cola es un producto medieval que corresponde a la cola moderna de caseinato de cal. Con la descripción de Theophilus [...] y de otros recetarios medievales estamos perfectamente informados de la preparación de esta cola. Repito aquí la receta del Ms. boloñés: "Toma quesos de cualquiera clase, que sea medianamente viejo y ráelo como se hace con un papel. Coge dicha raedura y ponla a remojo en agua clara durante un día, y luego retira el agua con cuidado; toma después la misma cantidad de agua caliente y pon dentro dicha raedura y remuévela con la mano muy bien, como se hace con la masa de pan, y muévela hasta que el queso desprenda toda su grasa y vaya espesando el agua; luego amásala y haz un pan y ponlo en un recipiente con agua clara, e forma que dicho pan esté bien en remojo. Y cuando lo vayas a usar, cuece la cantidad de pan que vayas a necesitar y añádele un poco de cal viva. Luego añade un poco de yeso molido y vuelve a removerlo todo junto durante un buen rato y obtendrás cola de queso para pegar madera y vasijas. Y úsala lo antes que puedas, ya que pega mejor". Esta cola se refería a la cola fuerte para pegar tablas."

ha ido desapareciendo cada vez más en los talleres sustituyéndose por la llamada “cola blanca de carpintero”<sup>36</sup>. La cola se aplica mediante espátula en ambas caras a pegar, ejerciendo una mínima presión para que impregne bien el poro de la madera y tenga buen agarre. Una vez se han encolado los tablones ha de sujetarse toda la estructura mediante sargentos y dejándolo secar mínimo 24 horas.



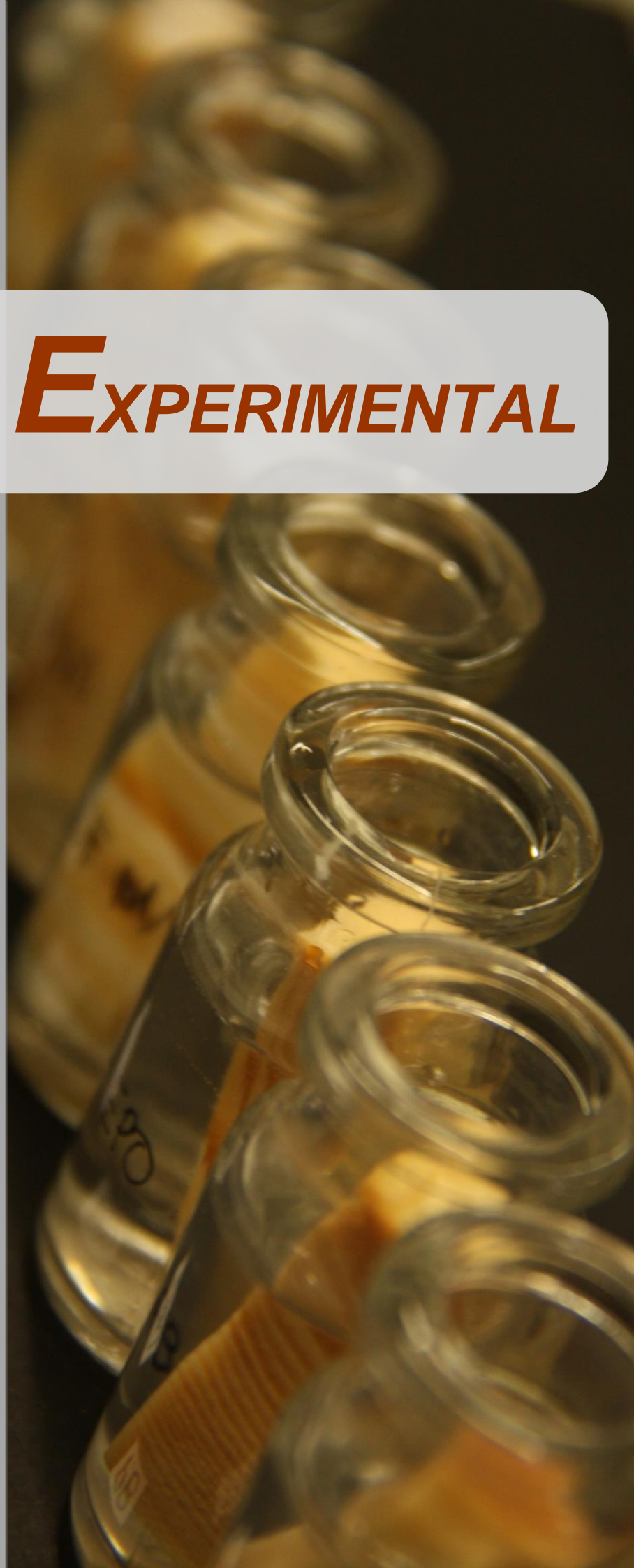
Fig.13 y 14. Encolado de tablones

<sup>36</sup> Nombre coloquial que se le da al acetato de polivinilo o PVAc





# ***P***ARTE ***E***XPERIMENTAL



## **PARTE EXPERIMENTAL**

---

### **5. ELECCIÓN DE MADERA Y ADHESIVOS UTILIZADOS EN LA PREPARACIÓN DE PROBETAS**

#### **5. 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. Además, se necesitaron 28 probetas de 10 x 10 x 25mm para las pruebas de reversibilidad. Esta diferencia en las medidas se debe a que la máquina de tracción determina unas proporciones específicas, por tanto las pruebas de reversibilidad fueron adaptadas a los recipientes a utilizar en dicho ensayo.

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.

##### **5. 1.1. El abeto y su morfología interna**

El abeto blanco o *abies alba mil.*, crece en el sur y centro de Europa con una densidad de 0,45 g/cm<sup>3</sup>. Su color es blanco cremoso con la veteadura un poco más oscura<sup>37</sup>. Este tipo de madera pertenece al grupo de las coníferas o gimnospermas, cuya microestructura es menos compleja que las frondosas.

Dentro de su anatomía se encuentran varios elementos constituyentes, cada uno con una función sustentante diferente que diferencia a las coníferas del resto. En esta estructura celular toman gran importancia las traqueidas, que son las encargadas de conducción y soporte, además son un elemento fundamental para la definición del grado de porosidad o aspecto de una madera. Es un material fibroso compuesto de punteaduras, por el cual se realiza el movimiento de líquidos entre células contiguas longitudinales, constituyendo así el 90% de su

---

37 SOLER. M., 2001, Mil maderas, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

totalidad<sup>38</sup>. A esto se le han de añadir los radios leñosos, que son canales finos que pasan por el tronco radialmente, desde la parte interna o médula hasta la parte externa. Estos radios cumplen la función de almacenar las sustancias nutritivas por las cuales el árbol se alimenta, y constituyen un 6% del volumen total de la madera. Por último, otro elemento característico de la madera de conífera son los canales resiníferos, que como su nombre indica, son canales por los que el árbol exuda resina o brea. Están distribuidos de forma longitudinalmente entre las traqueidas y transversalmente entre los radios, recubiertos por células epiteliales de parénquima.

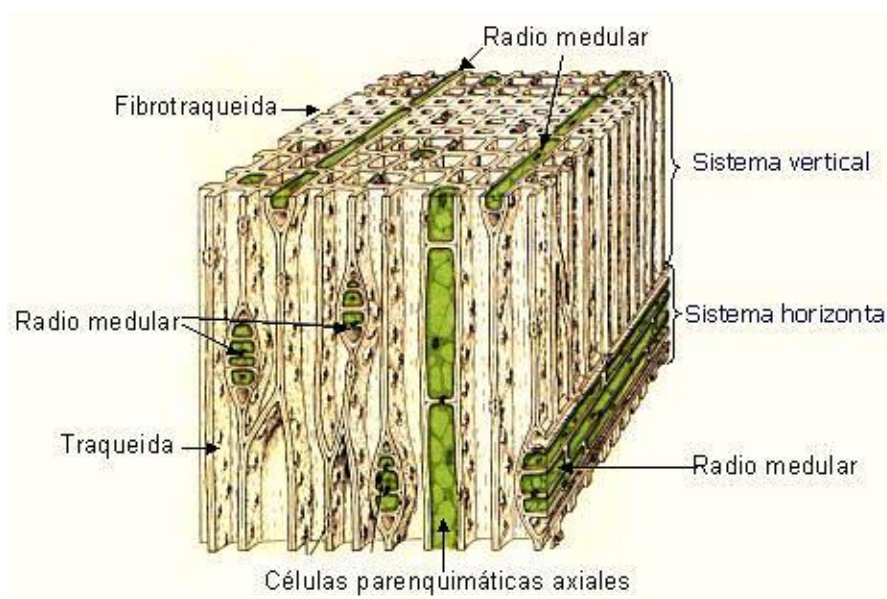


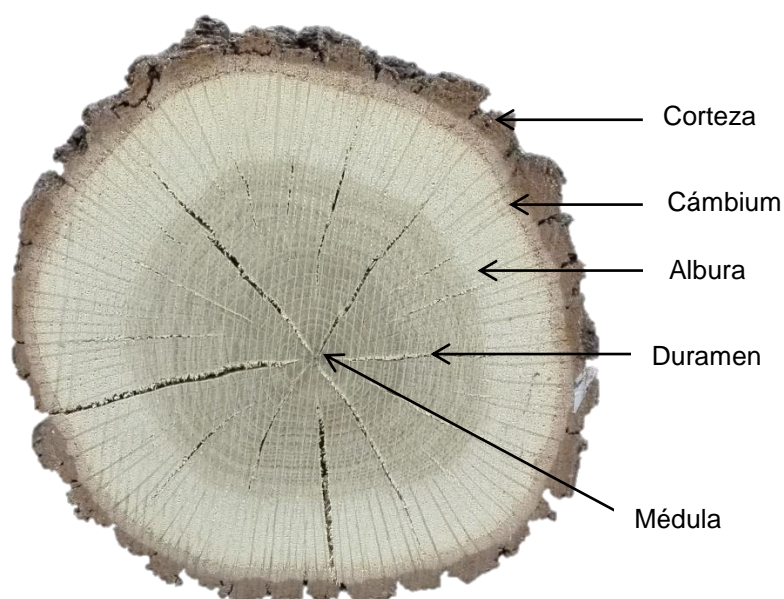
Fig. 15. Microestructura de la madera de conífera

Para ver la distribución de la madera desde el punto de vista de macroestructura, se debe hacer un corte transversal del tronco para así poder ver las diferentes zonas de las que se compone. Empezando por la parte más externa encontramos la corteza, que ejerce de capa protectora, siendo así un tejido impermeable que protege al árbol de los agentes atmosféricos, los insectos y los golpes<sup>39</sup>. La siguiente capa que encontramos es el floema o líber, tejido vivo, delgado y más reciente formado por fibras elásticas las cuales sirven para la conducción de la savia descendente. Posteriormente se halla el cambio o cambium, que es un tejido elástico y vivo formado por células con una membrana de celulosa que por la parte interior da lugar al xilema y por la parte exterior al floema. Se encarga de formar la totalidad de las células de la madera y a lo largo de los periodos de crecimiento da lugar a los anillos. Después encontramos el xilema o albura, que es la madera nueva y en formación, la cual es delicada al contener las

38 VIVANCOS RAMÓN, M.V., 2007. La Conservación y Restauración De Pintura De Caballete : Pintura Sobre Tabla. p 104-105.

39 RODRIGUEZ BARREAL, J. A., 1998, Patología de la madera, p 36

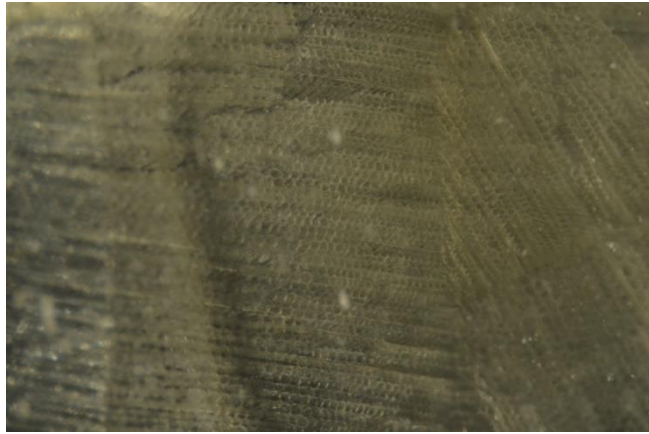
células cargadas de agua y nutrientes que pueden pudrirse con facilidad. Presenta una coloración clara y se encarga del almacenaje y transporte del agua. En ella aparecen los anillos, que según la aportación de nutrientes recibida en ese periodo estacional será más oscura y dura o más clara y blanda, distinguiéndose normalmente a simple vista. Encontramos en la parte interna del tronco el duramen, que es la madera de mayor dureza y más vieja. Su función es la de dar consistencia, rigidez y estabilidad al árbol. Por último aparece la médula que es una madera formada por células blandas que puede llegar a contraer y desaparecer en muchas especies<sup>40</sup>.



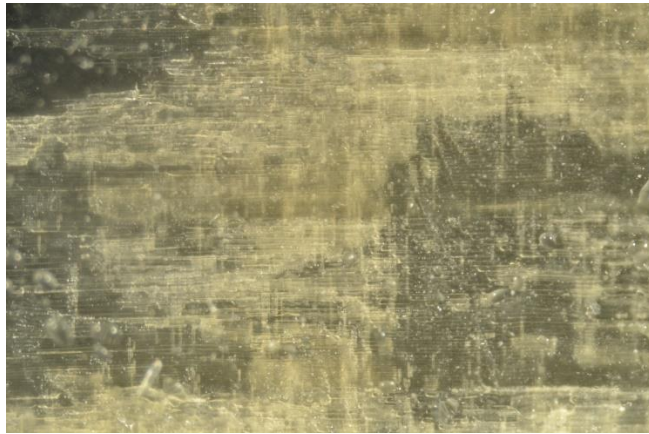
**Fig.16.** Partes constituyentes de un tronco en sección transversal

---

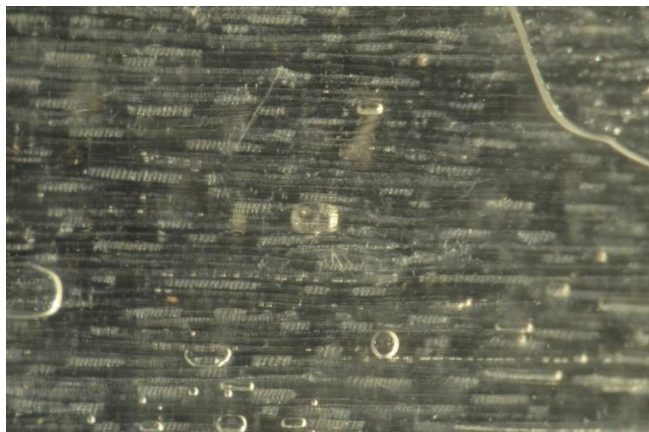
<sup>40</sup> VIVANCOS RAMÓN, M.V., 2007. *La Conservación y Restauración De Pintura De Caballete: Pintura Sobre Tabla*. p 108-109



**Fig.17.** Microfotografía corte transversal del abeto blanco, 40x



**Fig.18.** Microfotografía corte radial del abeto blanco, 20x



**Fig.19.** Microfotografía corte tangencial del abeto blanco, 40x

## 6. SELECCIÓN ADHESIVOS

Con la finalidad de estudiar el comportamiento físico-químico de adhesivos sintéticos usados en el encolado de tablonés 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.

### 6.1 ACETATO DE POLIVINILO (PVAc)

Como se ha comentado en apartados anteriores, el acetato de polivinilo es uno de los adhesivos más usados en uniones de madera desde su aparición en 1912 hasta hoy en día. Los polímeros de vinilo son sustancias resultantes de la polimerización por adición de compuestos orgánicos monomoleculares que tienen un doble enlace de vinilo. De entre los ésteres de polivinilo, el más importante es el acetato de polivinilo (PVAc), que se prepara normalmente en dispersión acuosa. Se prepara por emulsión en agua y posteriormente se polimeriza por calentamiento añadiendo un catalizador. El producto resultante es una dispersión acuosa de partículas sólidas, que tiene como ventaja el uso del agua como medio y una mayor relación entre sólido/viscoso que una solución.



Fig. 20 y 21. Acetato de polivinilo y su envase comercial de la casa Rayt

Para hacer el producto más plástico se le añaden plastificantes tipo acetato de butil carbitol o ftalato de dibutilo, lo cual produce una desventaja sobre adhesivos en emulsión porque disminuye la fluencia bajo esfuerzo que se produce a temperaturas elevadas. La fluencia puede reducirse añadiendo resinas de urea formaldehído a una emulsión de PVA. Este adhesivo contiene un 50% de contenido en sólidos y suele aplicarse sobre superficies que ayuden a la eliminación del agua, formando así una película adhesiva.



Fig.22. Estructura química del acetato de polivinilo

Las características generales de estos adhesivos son: su buena flexibilidad y elasticidad, buena adhesión, no son tóxicos, tienen un empleo sencillo y limpio, presentan resistencia al calor hasta 50-60°C y su aspecto físico es blanco con textura líquida-viscosa.

Tabla.1. Propiedades físico-mecánicas del PVAc

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| <b>Estado</b>  | Líquido- viscoso                 |
| <b>Tiempo de trabajabilidad</b>                        | 15 min                           |
| <b>Temperatura de ebullición a presión atmosférica</b> | 100 °C                           |
| <b>Viscosidad Brookfield AA</b>                        | 14000-22000 mPa.s Sp6/20rpm/25°C |
| <b>Resistente al agua</b>                              | No                               |
| <b>Color</b>   | Blanco                           |
| <b>Densidad a 25°C</b>                                 | 1070 – 1090 kg/m <sup>3</sup>    |
| <b>Ph</b>  | 3,5 – 4,8                        |



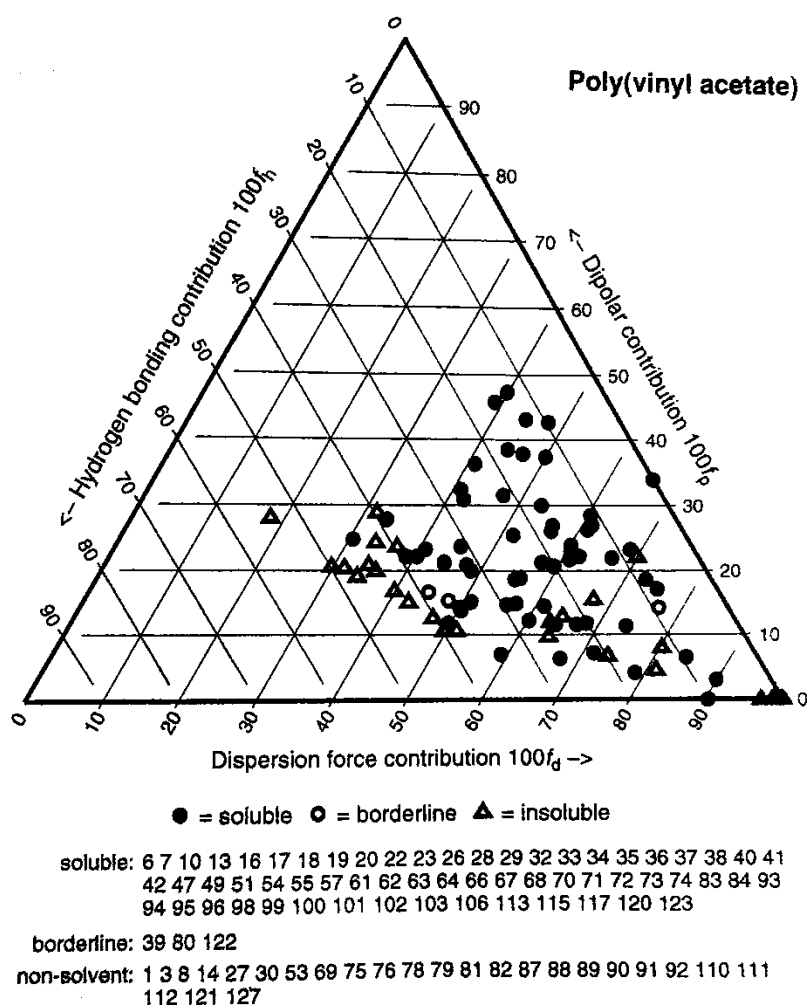


Fig.23. Solubilidad del acetato de polivinilo (PVAc)

## 6.2 EPO 150/151

La aparición de las resinas epoxi se centra en los años 50 cuando se pensaba que este tipo de adhesivos eran una especie de “super-adhesivos” capaces de unirlo todo.

El EPO 150 es una resina epoxidica bi-componente fluida reticulable en frío mediante un endurecedor a base de aminas cicloalifáticas. La mezcla de los dos componentes produce un sistema de elevada resistencia altamente adhesivo. Se suministra por la casa CTS en dos componentes: uno es la resina pura EPO-150 y otro el endurecedor K-150, los cuales se preparan en proporción EPO-150: K-150 (100:25gr).



Fig.24 Resina EPO-150 y endurecedor K-151

Este tipo de resinas tienen una estructura que se compone de oxígeno unido a dos átomos de carbono, los cuales forman el grupo epoxídico. Este grupo epoxídico lo contienen sustancias como la epiclorhidrina, que unidas por condensación a sustancias contenedoras de átomos de hidrógeno reemplazables como el bisfenol-A, forman un componente base para esta resina.

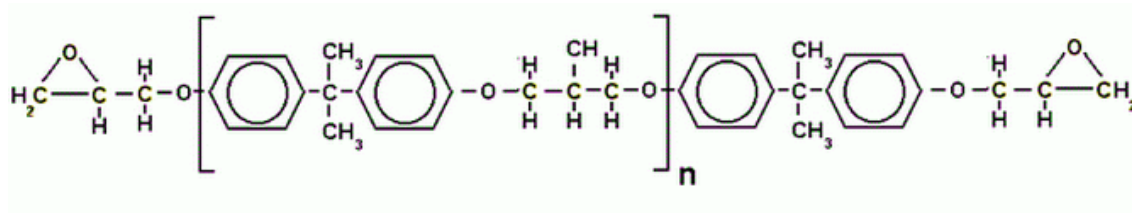


Fig.25. Estructura química de resinas epoxi a base de bisfenol- A

Sus propiedades generales son: excelente adhesividad sobre diversos materiales, baja viscosidad, ligera contracción debido a que no se vuelve rígido por pérdida de agua, resistente a la humedad, aspecto líquido-denso con color amarillo-transparente.

Tabla.2. Propiedades físico-mecánicas del EPO 150

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| Aspecto                                 | Líquido-denso                  |
| Color                                   | Amarillo-transparente          |
| Peso específico                         | 1.11 – 1.16 gr/cm <sup>3</sup> |
| Tiempo de laborabilidad de 200gr a 25°C | 30 – 50min.                    |
| Resistencia a la tracción               | 400Kg/cm <sup>2</sup>          |
| Resistencia a la flexión                | 1000Kg/cm <sup>2</sup>         |
| Resistencia a la compresión             | 1220Kg/cm <sup>2</sup>         |
| Viscosidad del sistema (25°C)           | 500-800 mPa-s                  |
| Punto/intervalo de congelado            | Puede solidificar a T < -15°C  |
| Punto de inflamabilidad                 | 121°C                          |

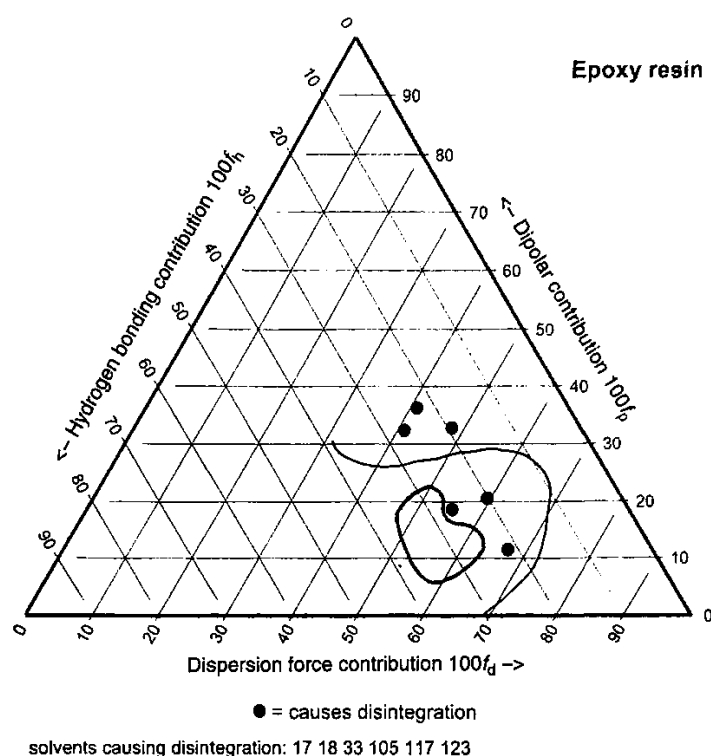


Fig.26. Solubilidad de las resinas epoxi

### 6.3 TITEBOND ULTIMATE III

El Titebond Ultimate III es un adhesivo que pertenece al grupo de los adhesivos termoplásticos polivinílicos. Ya que son de la misma familia de adhesivos, su estructura química, solubilidad y propiedades generales son iguales que el PVAc (Véase apartado 6.1).



Fig.27. Aspecto comercial del adhesivo Titebond Ultimate III

Tabla.3. Propiedades físico-mecánicas del Titebond Ultimate III

| Estado                     | Líquido             |
|----------------------------|---------------------|
| Tiempo de trabajabilidad   | 10 min              |
| Temperatura*               | 8,3 °C              |
| Viscosidad                 | 4200 cps            |
| Resistente al agua         | Sí                  |
| Fuerza                     | 4000 psi            |
| Color                      | Marrón claro        |
| Congelación/descongelación | Estable ( 5 ciclos) |
| Ph                         | 2,5 – 3,0           |

\*Temperatura más baja recomendable en la que el pegamento se puede aplicar en exteriores sin perder la adherencia.

#### 6.4 PARALOID B72

El Paraloid B-72 es un copolímero de metacrilato de etilo y acrilato de metilo (70: 30), fabricado por *Röhm & Haas*<sup>41</sup>. En 1950, el Paraloid B72 ya fue utilizado en el campo de la conservación como capa de protección en objetos metálicos para una exposición itinerante.

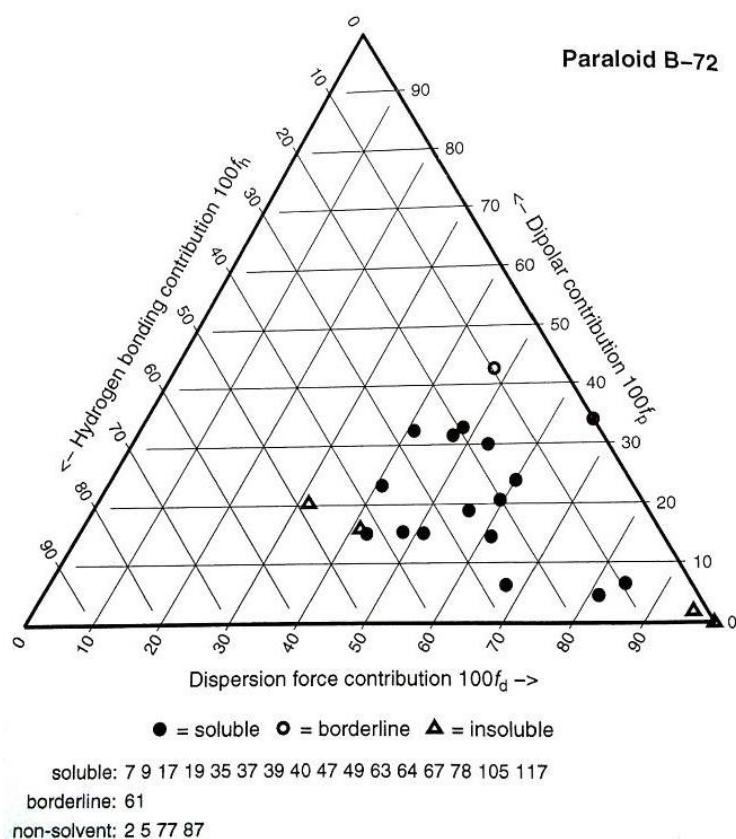
La popularidad del Paraloid B-72 se debe a su versatilidad y aparente estabilidad. Se vende ya sea en solución o en forma de gránulos sólidos transparentes e incoloros. Los gránulos han de ser disueltos con un disolvente orgánico compatible para su aplicación.



**Fig.28.** Granos de Paraloid B72 sin diluir

Alrededor de 1975, el aspecto irregular de los granos del Paraloid B72 y la proporción de metacrilato de etilo y de acrilato de metilo se cambió de 68:32 a 70:30, lo cual produjo un aumento en el índice de refracción y cambios en la solubilidad. El nuevo Paraloid B72 (el que se conoce hoy en día) era menos soluble en hidrocarburos no polares como los alcoholes minerales, y más soluble en polares como el etanol.

<sup>41</sup> BORGIOLO, L., CREMONESI, P., 2005. *Le Resine Sintetiche Usate Nel Trattamento Di Opere Policrome*.



**Fig.29.** Solubilidad del Paraloid B72

Sus propiedades generales son: formación de películas transparentes resistentes a la decoloración, gran durabilidad, excelente resistencia al agua, alcohol, álcalis y ácidos, estabilidad química, presenta una gran dureza y resistencia además de una gran flexibilidad. Todas estas características varían según el disolvente orgánico empleado y el medio en el que ha sido polimerizado.

Se disuelve en disolventes orgánicos, los cuales determinan su reversibilidad. Los más comunes son: xileno, tolueno y acetona, aunque también se disuelve en cloruro de metileno, dimetilformamida, diacetona alcohol y amil acetato.

Es reversible, ya que con el mismo disolvente en el que se ha diluido se regenera, y no es acuoso.

Es una resina sintética acrílica muy estable con un grado de transición vítrea ( $T_g$ ) de  $40^{\circ}\text{C}$  y un índice de refracción 3 de 1,49. Estas son algunas de sus características químicas más destacables entre las presentes en la siguiente tabla:

Tabla.4. Propiedades físico-químicas del Paraloid B72

|   |  |
|---|--|
| <b>Resina base:</b>                     | Homopolímero de isobutylmetacrilato                    |
| <b>Forma física:</b>                    | Pellets sólidos incoloros                              |
| <b>Densidad, 25°C, lb/gal:</b>          | 9.6  |
| <b>Parámetros de solubilidad:</b>       | 9.3  |
| <b>Tg (°C):</b>                         | 40   |
| <b>Última dureza en películas, KHN:</b> | De 10 a 11   |
| <b>Estabilidad/durabilidad:</b>         | Estable mientras no se supere los 260°C. <sup>42</sup> |
| <b>Índice de refracción:</b>            | 3 de 1.49  |
| <b>Composición química:</b>             | Copolimero EMA   |

Su estructura química es la siguiente:

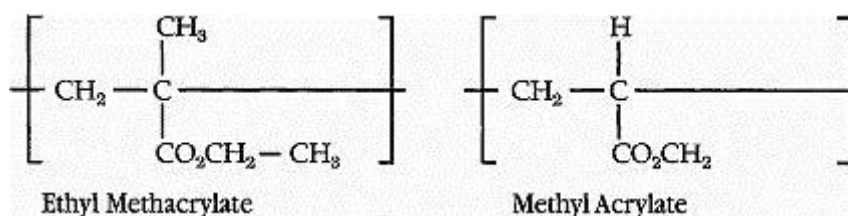


Fig.30. Estructura química del Paraloid B72

Para poder aplicar el Paraloid B72 en las probetas se disolvió en xileno en proporción: 109gr de Paraloid B72 en grano y 80ml de xileno.

<sup>42</sup> Según Feller, el Paraloid B72 puede ser eficaz durante cien años en el interior de un museo, a humedad controlada y sin exceso de iluminación, mientras que en exteriores humedecidos resiste un margen de cinco años. GÓMEZ, M<sup>a</sup> Luisa. *La restauración; examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. 5<sup>a</sup> ed. Madrid: Cátedra, 2008. P. 348

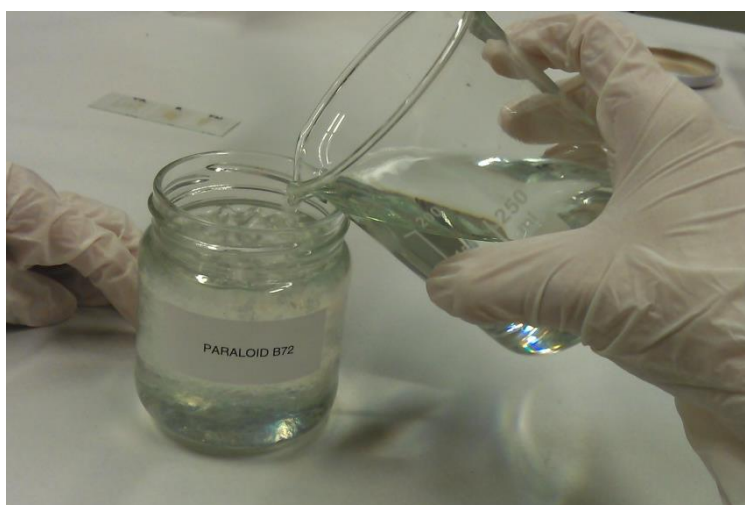


Fig.31. Disolución del Paraloid B72 en xileno

### 6.5 ACRIL 33

El Acril 33 es una dispersión acuosa de resina acrílica pura al 100% con óptimas características de resistencia y estabilidad tanto en interiores como en exteriores. Es distribuido por CTS España S.L. como producto alternativo al Primal AC-33 de Röhm and Haas.

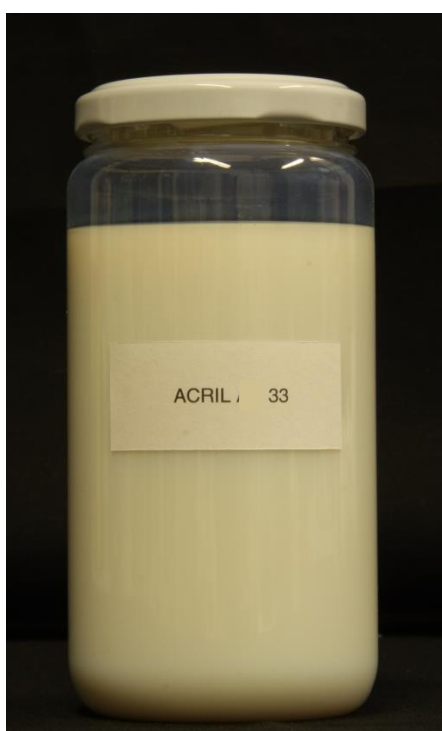


Fig 32 y 33. Acril 33 y su envase comercial de la casa CTS España S.L.



La formulación de este producto se caracteriza por una óptima resistencia a los alcalinos y resulta particularmente indicado para dar mayor adhesión y manejabilidad a ligantes hidráulicos y no hidráulicos.

Sus propiedades generales son: elevada resistencia a los rayos UV, buena transparencia, resistencia a sales solubles, estabilidad al hielo – deshielo, óptimo poder ligante y gran resistencia a los alcalinos.

*Tabla.5. Propiedades físico-mecánicas del Acril 33*

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Estado físico             | Líquido blanco y lechoso                   |
| Resina base               | Copolimero etil acrilato-metil metacrilato |
| Olor                      | Amoniacal                                  |
| pH                        | 9-10                                       |
| Solubilidad en agua       | Completamente diluible                     |
| Viscosidad                | 2500-5000 mPa.s                            |
| Resistencia a la tracción | 35 N/mm <sup>2</sup>                       |
| Alargamiento a rotura     | 560%                                       |

## 6.6 UREA DE FORMALDEHÍDO (UF)

Las colas UF se producen industrial y tradicionalmente por la reacción de urea y formaldehído en tres etapas: la primera, de adición en medio ligeramente alcalino, la segunda de condensación en medio ácido y la tercera, de adición de urea y neutralización. Por tanto, estos adhesivos se obtienen a través de la polimerización de condensación de la Urea y el Formaldehído, en un proceso que se interrumpe al alcanzarse un determinado punto. La fase final de la reacción del adhesivo es llevada a cabo por la persona que use dicho adhesivo, que efectúa el proceso de curado de la unión adhesiva.

Según la cantidad de Urea y Formaldehído que se le añada a la fórmula adhesiva, tendrá un comportamiento u otro dependiendo de la formulación final.



Fig.34. Urea formaldehído 446 y 111

En ocasiones el curado de este tipo de adhesivos se lleva a cabo mediante un catalizador o liberador de ácido que se añade justo antes de aplicar el adhesivo al sustrato. Se ha demostrado que estos ácidos acortan la vida de este material, por lo que se empezaron a usar sales amónicas que tienen el inconveniente de que liberan rápidamente el ácido de la sal, reduciendo el tiempo de aplicación considerablemente.

Para evitar la aparición de grietas en este tipo de adhesivos, se les añaden una serie de cargas o extendedores que aumentan la viscosidad. Estas cargas pueden ser harinas de tubérculos, harinas de cereales y harinas de madera entre otras.

Las propiedades generales de las resinas a base de urea de formaldehído son: buena resistencia frente disolventes orgánicos, forma una película dura y quebradiza tras el curado, presenta una buena resistencia frente a hongos, termitas y carcomas, tienen una buena humectación y poca sensibilidad a la humedad presente en la madera. Su aspecto físico puede ser de diversas formas, en el caso de los adhesivos que se van a usar, presentan un color crema y blanco con una textura líquida y fluida. La diferencia de color se debe a que cada tipo de formulación es diferente. Su estructura química es la siguiente:

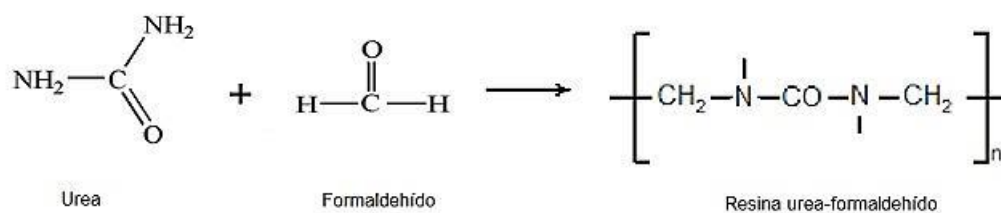


Fig.35. Estructura química de la resina de Urea-formaldehído

## 7. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Uno de los objetivos de este trabajo de fin de máster, es poder estudiar diferentes adhesivos aplicados sobre soporte lúneo, con el fin de determinar cuál o cuáles son más idóneos a la hora del encolado de tablonos o la adhesión de faltantes en escultura. Para ello se han elaborado una serie de probetas donde se han aplicado adhesivos de diferentes composiciones usados en el campo de la restauración.

### 7.1 Probetas de madera y aplicación de adhesivos

Como se cita en el apartado 5.1, la madera empleada en la elaboración de las probetas ha sido un listón de abeto blanco. Éste listón se cortó a las medidas adecuadas para cada tipo de ensayo, diferenciando un total de cuatro cortes diferentes (Ver tabla 8 de abajo). Una vez cortados se lijaron con lijas del N° 150 para eliminar las irregularidades y se aplicó cinta adhesiva de papel para evitar el posterior goteo de los adhesivos.

Para el siglado se empleó, en el siguiente orden, típex, permanente negro, una fina capa de PVA y una lámina transparente de endurecedor, de forma que se crease una capa resistente a las cámaras de envejecimiento artificial acelerado y no se perdiese la información.

Cuando las probetas estuvieron cortadas, lijadas, protegidas y sigladas se procedió a la aplicación de los adhesivos, la cual 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 (Ver tabla 6 de abajo). Una vez los adhesivos fueron colocado sobre la madera se dejaron secar según el tiempo de secado requerido por cada adhesivo.

Tabla.6. Capas de adhesivo por probeta y método de aplicación

| ADHESIVO | CAPAS POR ADHESIVO | MÉTODO DE APLICACIÓN |
|----------|--------------------|----------------------|
| EPO      | 2                  | ESPÁTULA             |
| AC       | 4                  | BROCHA               |
| PB       | 2                  | ESPÁTULA             |
| TIT      | 2                  | ESPÁTULA             |
| PVA      | 2                  | ESPÁTULA             |
| UF111    | 3                  | BROCHA               |
| UF446    | 3                  | BROCHA               |



Fig.36. Probetas iniciales



Fig.37. Lijado de probetas



Fig.38. Aplicación Acril 33 con brocha



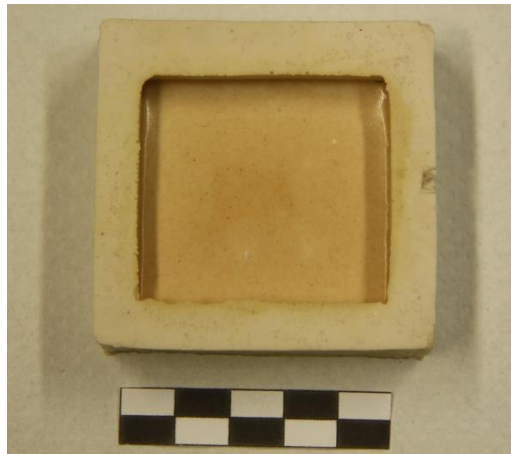
Fig.39. Aplicación PVA con espátula

## 7.2 Probetas adhesivas para ensayos de flexibilidad

Este tipo de probetas se han tenido que realizar sólo para los ensayos de flexibilidad, ya que lo único que se iba a testear era la flexibilidad de los adhesivos 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. Este material es un caucho de silicona bicomponente compuesto por una solución fluida y un endurecedor SILASTIC83, que al mezclarse catalizan a temperatura ambiente por condensación. Se eligió este material por ser resistente ante esfuerzos de torsión y flexión ante la operación de desmoldeo de los adhesivos.

*Tabla.7. Fórmula de la silicona empleada en los moldes para las probetas de flexibilidad*

| PROPIEDADES   | VALOR      |
|---|------------|
| Mezcla de base y agente de curado (100:5 en peso)   |            |
| Viscosidad de la mezcla                             | 15.000     |
| Color   | Azul claro |
| Tiempo de aplicación de la mezcla catalizada a 23°C | 90-120     |
| Tiempo de curado                                    | 24         |
| Curado después de 7 días a 23°C                     |            |
| Dureza  |            |
| Resistencia a la tracción                           | 2,1        |
| Alargamiento de rotura                              | 450        |
| Resistencia al desgarre                             | 6          |
| Densidad relativa a 23°C                            | 1,15       |
| Contracción lineal                                  | 0,4-0,5    |



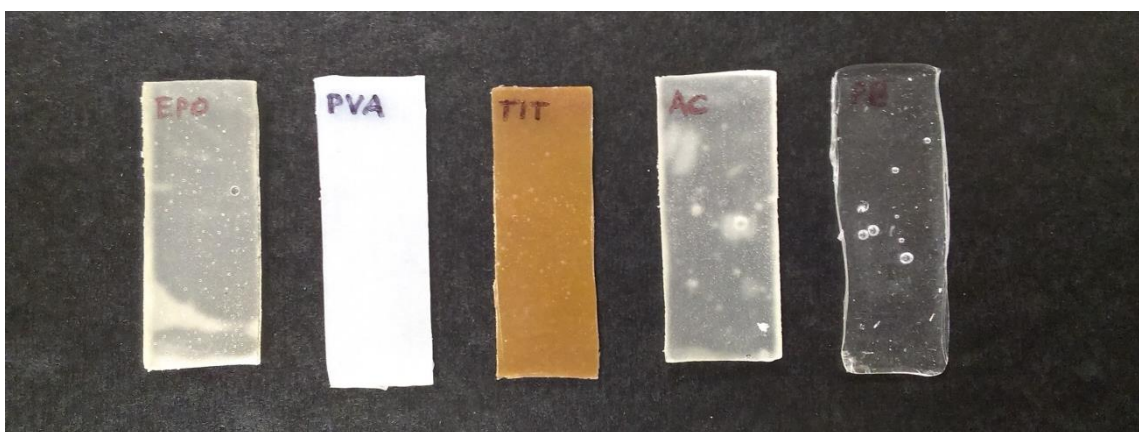
**Fig.40.** Molde de silicona usado en la realización de las probetas de flexibilidad



**Fig.41.** Aplicación Acril 33 en molde de silicona para las probetas de flexibilidad












**Fig.42.** Preparación probetas de flexibilidad



**Fig.43.** Probetas de flexibilidad

Tabla.8. Número y diseño de las probetas según cada ensayo

| ENSAYO         | TOTAL<br>PROBETAS | TIPO DE<br>PROBETA  | PROBETA X<br>ENSAYO | ADHESIVO X<br>ENSAYO |
|----------------|-------------------|---|---------------------|----------------------|
| PROBETA MADRE  | 7                 |    | 7                   | 7                    |
| HR             | 35                |    | 5                   | 7                    |
| TEMPERATURA    | 35                |    | 5                   | 7                    |
| CORROSIÓN      | 35                |    | 5                   | 7                    |
| ABRASIÓN       | 5                 |    | 5                   | 5                    |
| REVERSIBILIDAD | 28                |   | 4                   | 7                    |
| FLEXIBILIDAD   | 15                |  | 3                   | 5                    |
| TRACCIÓN       | 35                |  | 5                   | 7                    |
|                | 35                |  |                     |                      |



Abeto → 55 x 55 x 25mm



Abeto → 25 x 7 x 7mm



Adhesivo → 12 x 35 x 2mm



Abeto → Ø45mm x 15mm de altura



Abeto → 70 x 70 x 17mm

### 7.3 Preparación de probetas para ensayo de tracción

Para el ensayo de tracción se han necesitado unas probetas de dimensiones determinadas por la máquina que realiza dicho ensayo. Se necesitaron dos tipos de probetas de diferente forma y tamaño para crear la unión adhesiva entre las dos partes. Una de ellas cuadrada y otra redonda, donde se ha aplicado adhesivo y se ha unido mediante una prensa, de forma que la fuerza ejercida es uniforme en todas las probetas.

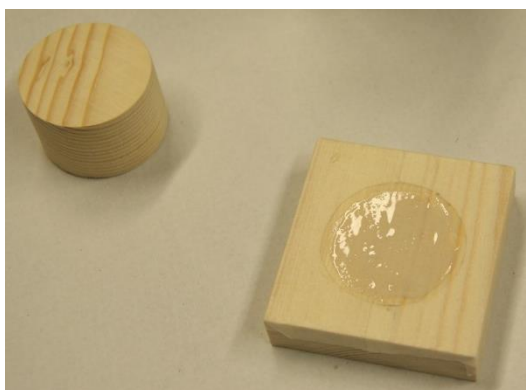


Fig.44. Aplicación adhesivo en probetas de tracción

Fig.45. Prensado de las probetas



Fig.46. Probeta de tracción



#### 7.4 Preparación de las probetas para ensayos de reversibilidad

Al igual que para el ensayo de tracción, para el ensayo de reversibilidad se necesitaron unas medidas específicas en las probetas de madera. En este caso se cortaron probetas pequeñas que cupiesen en recipientes herméticos de cristal, donde han estado sumergidas en diferentes disolventes. Las probetas se cortaron con el adhesivo ya aplicado para que el grosor de cada capa de adhesivo fuese homogéneo en todas.

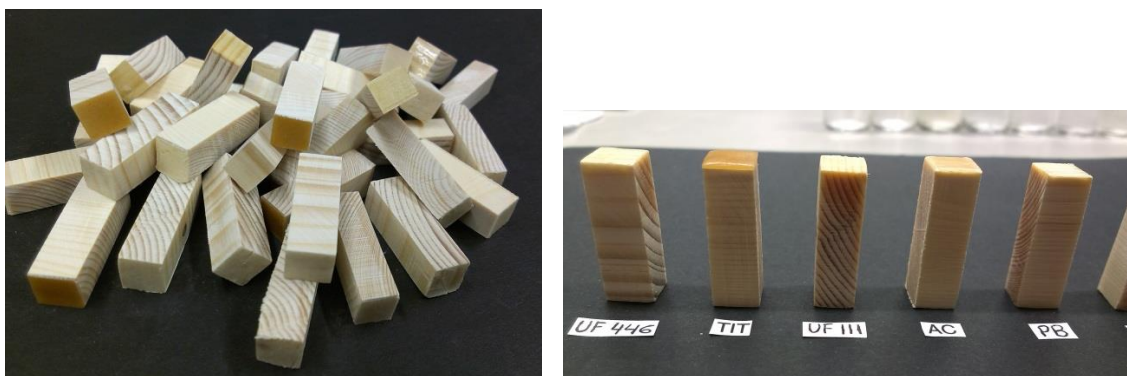


Fig.47 y 48. Probetas de reversibilidad cortadas

#### 8. Nomenclatura y siglado

En la tabla 9 se presentan los diferentes adhesivos a estudiar en las probetas descritas.

Tabla 9. Nomenclatura de adhesivos

| ADHESIVOS                | NOMENCLATURA |
|--------------------------|--------------|
| EPO 150/151              | EPO          |
| ACRIL 33                 | AC           |
| PARALOID B72             | PB           |
| RAYT STANDARD            | PVA          |
| TITEBOND ULTIMATE III    | TIT          |
| UREA DE FORMALDEHÍDO 446 | UF 446       |
| UREA DE FORMALDEHÍDO 111 | UF 111       |

En la tabla 10 se presentan las diferentes nomenclaturas establecidas para las pruebas a realizar sobre los adhesivos.

*Tabla 10. Nomenclatura de análisis realizados*

| <b>ANÁLISIS</b>                | <b>NOMENCLATURA</b> |
|--------------------------------|---------------------|
| <b>Probeta Madre</b>           | PM                  |
| <b>Cámara Humedad Relativa</b> | HR                  |
| <b>Cámara Temperatura</b>      | T                   |
| <b>Cámara Ultravioleta</b>     | UV                  |
| <b>Cámara Corrosión</b>        | C                   |
| <b>Abrasión</b>                | A                   |
| <b>Reversibilidad</b>          | R                   |

## 9. INSTRUMENTACIÓN Y PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES DE ANÁLISIS

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.

Con el fin de lograr los objetivos establecidos, se han realizado diversas técnicas analíticas para evaluar las propiedades los diferentes adhesivos propuestos a estudio y reconocer los deterioros al ser expuestos a distintos ensayos de envejecimiento artificial acelerado. Estos ensayos se han realizado en varias instalaciones pertenecientes a la Universidad Politècnica de València:

Instituto de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politècnica de València:

- Envejecimiento acelerado por irradiación de luz ultravioleta
- Envejecimiento en atmósfera saturada de SO<sub>2</sub>
- Envejecimiento acelerado térmico. Humedad relativa y temperatura
- Espectrofotometría- Colorimetría
- Ensayos de adherencia por tracción

Servicio de Microscopía Electrónica de la Universidad Politècnica de València:

- Ensayos de flexibilidad

Taller de Conservación y Restauración de Material Lúneo del Dpto. de Conservación y Restauración de la Facultad de Bellas Artes San Carlos de la Universidad Politècnica de València:

- Ensayos de abrasión
- Determinación de la reversibilidad de los adhesivos
- Determinación del pH
- Determinación de la HR mediante xilohigrómetro
- Determinación de la trabajabilidad y comportamiento de los adhesivos

### 9.1. MICROSCOPIA ÓPTICA (LM)

Los instrumentos de aumento como los microscopios ópticos, son capaces de dotar al ojo humano de cualidades excepcionales, ya que agranda la imagen del objeto penetrando en el campo de lo imperceptible. Por el contrario, la vista es limitada y sólo puede apreciar con nitidez imágenes a escala 1:1, esto hace que sea necesario el uso de sistemas ópticos de aumento que muestren la microestructura de la materia<sup>43</sup>.

---

<sup>43</sup> GÓMEZ, M.L., 2008. *La Restauració : Examen Científico Aplicado a La Conservación De Obras De Arte*, 186

#### 9.1.1. Instrumentación:

Las microfotografías se hicieron con un microscopio estereoscópico modelo MZ APO de la marca Leica, con aumentos de 8x hasta 80x. El microscopio dispone de un sistema fotográfico digital conectado a una cámara fotográfica Nikon D50 e iluminación por fibra óptica bilateral.

#### 9.1.2. Proceso experimental:

Se realizaron registros fotográficos digitales de las probetas con aumentos de 10x, 16x, 25x, 40x, 50x, 63x y 80x con variaciones en los tiempos de exposición, pudiendo observar las probetas antes y después de someterlas a ensayos.

### 9.2. ANÁLISIS COLORIMÉTRICOS

La colorimetría es un método de ensayo no destructivo que se define como la parte óptica que se dedica al estudio de la medida del color en base a la cantidad de la magnitud por comparación con otra de base<sup>44</sup>. Mediante este estudio se pueden transmitir los datos obtenidos haciendo que la persona que los reciba interprete el mismo color con dicha información.

El uso de la colorimetría tiene una aplicación relevante en el campo de la Conservación y Restauración, ya que la variación de determinados parámetros relacionados con el color de un material indica una modificación estética más o menos importante, llegando a prever causas potenciales de deterioro en obras de arte.

#### 9.2.1. Instrumentación:

Las coordenadas cromáticas se hicieron con un espectrofotómetro de la marca Minolta modelo CM-2600d, eligiendo como condiciones de medida el iluminante estándar CIE tipo D<sub>65</sub> (luz día, temperatura de color 6504° K) y el observador estándar 10°. El área de medida elegida es de 8mm Ø, ya que las dimensiones de las probetas lo permitían y así permite obtener automáticamente un valor medio de un área mayor de color. Los datos obtenidos se han tomado con componente especular incluida (SCI), que minimiza la influencia de las condiciones de la superficie de medida y con componente especular excluida (SCE), que corresponde más cercanamente a la evaluación visual profesional. Estos dos parámetros de medida se han introducido para tener en cuenta las variaciones de brillo experimentadas por las probetas.

La fuente de luz que presenta este medidor está formada por tres lámparas de xenón. Su intervalo de longitud de onda va desde los 360nm a 740nm, cada 10nm, siendo su intervalo de reflectancia de 0 a 175% con resolución de 0,01%. En cuanto a su repetitividad, presenta una reflectancia espectral con desviación estándar de 0,1%, y de 0,04 para los valores de cromaticidad.

---

<sup>44</sup> SOTO, O., 2010. Técnicas de análisis para el estudio de soportes lúneos en retablos de la Isla de Tenerife

Como espacio de color se ha utilizado el parámetro CIELAB<sup>45</sup>, que ha servido como base para calcular la diferencia cromática total entre varios estímulos a partir de la siguiente fórmula<sup>46</sup>:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

← Distancia euclidiana existente entre dichos puntos

Siendo:  $\Delta L^* = L^* \text{ final} - L^* \text{ inicial}$

$\Delta a^* = a^* \text{ final} - a^* \text{ inicial}$

$\Delta b^* = b^* \text{ final} - b^* \text{ inicial}$

Este sistema es idóneo para la medición de fuentes secundarias, que son en este caso las que se estudian.

#### 9.2.2. Proceso experimental:

Para este ensayo se han evaluado los cambios cromáticos producidos en los siguientes grupos de probetas:

- Probeta madre de cada adhesivo (PM)
- Envejecimiento acelerado por irradiación de luz ultravioleta (UV)
- Envejecimiento en atmósfera saturada de SO<sub>2</sub> (C)
- Envejecimiento acelerado térmico. Humedad relativa y temperatura (HR y T)

En la superficie de cada probeta se realizaron cinco disparos distribuidos de igual forma en todas, a fin de detectar posibles anomalías de medición y poder sacar la media con la mínima desviación posible.



**Fig.49.** Ensayo de colorimetría

<sup>45</sup> L\*a\*b\*, ΔE\*: espacio de color L\*a\*b\* y diferencia de color por fórmula "ΔE\*ab (CIE1976)"

<sup>46</sup> SIMÓN, J.M., 2012, *Caracterización físico- química de las alteraciones de los paneles devocionales y vía crucis del siglo XVIII en la Comunidad Valenciana*, pp 188-189

### 9.3. 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. Permite la programación de seis velocidades diferentes y hasta 99.999 ciclos.

#### 9.3.1. Instrumentación:

Se ha utilizado un *Linear Abraser* modelo 5750 de la marca Taber. Los cabezales utilizados han sido el H-18 (lija con mayor dureza) y el CS-10 (goma de menor dureza).

#### 9.3.2. Procedimiento experimental:

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. En la siguiente tabla se detalla los cabezales usados en cada adhesivo, los ciclos y la velocidad empleada:

*Tabla.11. Probetas de Linear abraser:*

| ADHESIVO | CICLOS | VELOCIDAD | CABEZAL |
|----------|--------|-----------|---------|
| EPO      | 10     | 60        | H-18    |
|          | 30     | 60        | H-18    |
|          | 60     | 60        | H-18    |
| AC       | 10     | 60        | H-18    |
|          | 20     | 60        | H-18    |
|          | 30     | 60        | H-18    |
| PB       | 5      | 60        | CS- 10  |
|          | 15     | 60        | CS- 10  |
|          | 22     | 60        | CS- 10  |

|            |    |    |      |
|------------|----|----|------|
|            | 10 | 60 | H-18 |
| <b>TIT</b> | 20 | 60 | H-18 |
|            | 30 | 60 | H-18 |
|            | 7  | 60 | H-18 |
| <b>PVA</b> | 15 | 60 | H-18 |
|            | 22 | 60 | H-18 |

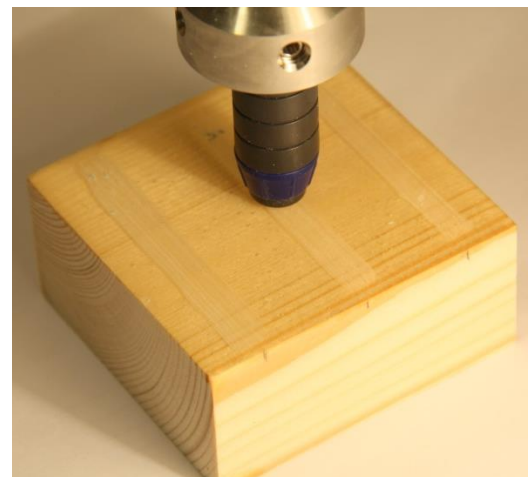
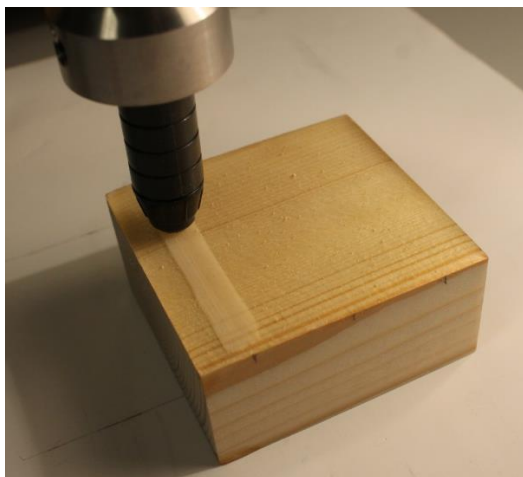


Fig 50 y 51 . Ensayo de abrasión con Linear Abraser a diferentes ciclos

Sólo se han realizado ensayos en cinco de los siete adhesivos estudiados. En las probetas de urea-formaldehído se hizo imposible realizar esa prueba debido a que su secado es muy lento y el adhesivo en superficie ha permanecido a textura mordiente, imposibilitando ejercer ningún tipo de rallado al quedar los cabezales pegados. Ante la posibilidad de obtener resultados erróneos, se descartaron a estudio estos dos adhesivos: UF 111 y UF 446.

#### 9.4. 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. Este concepto está ligado al concepto de elasticidad, que es la facultad de elongación y orientación de las cadenas intermoleculares en la dirección de la fuerza ejercida sobre ellas.<sup>47</sup>

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

<sup>47</sup> GÓMEZ, M.L., 2008. La Restauración: Examen Científico Aplicado a La Conservación De Obras De Arte, p127

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.

#### 9.4.1. Instrumentación:

Se ha usado un MICROTTEST de la marca DEBEN- GATAN, con células de carga<sup>48</sup> de 2kN y unas mordazas específicas diseñadas para realizar pruebas de flexión en un punto. Dispone de conexión a un ordenador donde tiene instalado el software “Deben microtest” exclusivo para almacenar los datos obtenidos.

Para introducir las dimensiones de las probetas en el software, se midieron con un pie de rey para determinar el largo y ancho de la pieza, y para medir el espesor, se usó un micrómetro de la marca TESA.

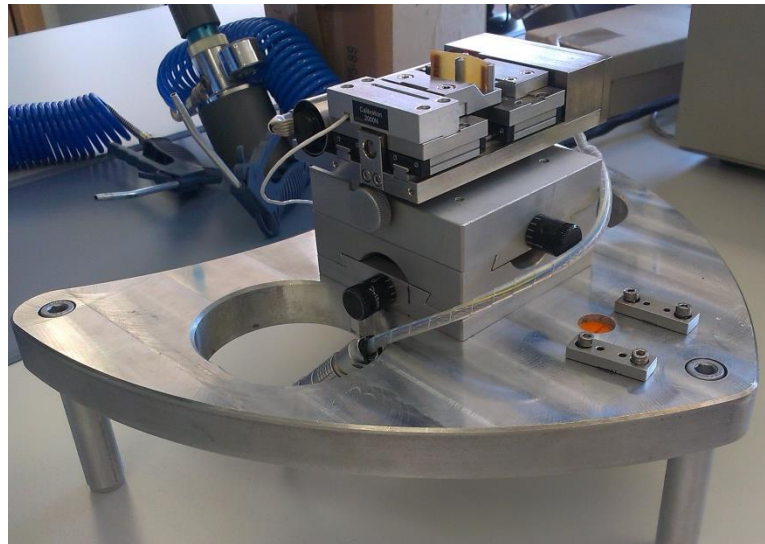


Fig.52. Microtest Deben-Gatan

#### 9.4.2. Proceso experimental:

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)

---

<sup>48</sup> Se hicieron ensayos previos con células de carga de 150N, pero definitivamente se decidió realizarlo con la célula de carga de 2kN por falta de tensión en la primera



- 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.

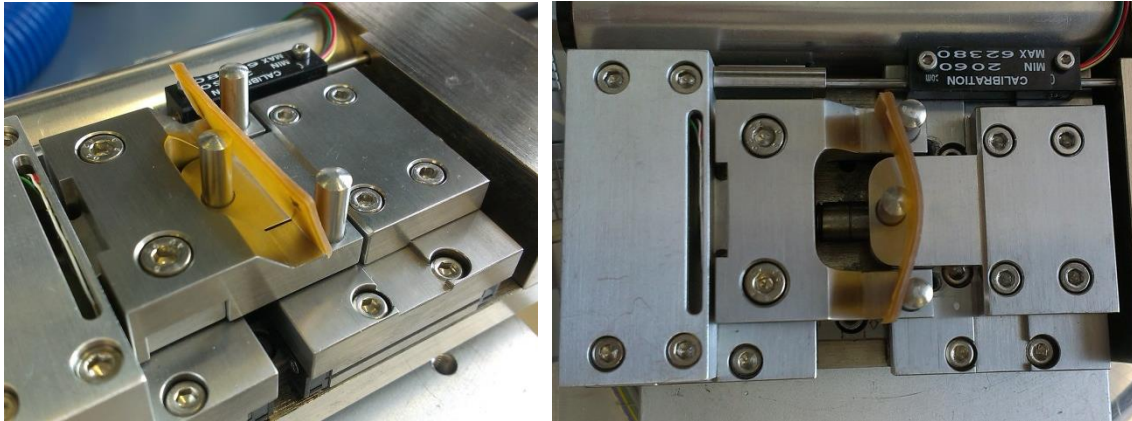


Fig.53 y 54. Ensayo de flexibilidad del Titebond Ultimate III

## 9.5. 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 proceso técnico que supone producir adherencia entre dos partes se llama unión adhesiva<sup>49</sup>. La unión adhesiva depende de varios factores, como son la humectación, rugosidad, estado superficial, deslizamiento del adhesivo líquido y las fuerzas existentes entre adhesivo y sustrato.

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<sup>50</sup>.

### 9.5.1. Instrumentación:

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:

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

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

<sup>49</sup> HOUWINKS, R., SALOMON, G., 1978, *Adherencia y adhesivos Vol.I tomo 3*, p 24

<sup>50</sup> BILURBINA, L., LIESA, F.,1990, *Adhesivos Industriales*, p 113

De esta forma, con la fórmula de la izquierda pasamos los datos medidos en Kgf a  $\text{Kgf/cm}^2$ , y con la fórmula de la derecha obtenemos los megapascuales (MPa) a partir de los Kgf o  $\text{Kgf/cm}^2$ .



**Fig.55.** Máquina de tracción Neurtek KN-10 **Fig.56.** Sufridera metálica de Ø50mm y Araldite Standart

#### 9.5.2. Proceso experimental:

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, en este caso la marca Araldite Standart de la casa Ceys. Se han dejado secar durante 48h para asegurar una buena unión. Una vez adheridas, se han sometido a la máquina de tracción todos los adhesivos dando alguno de ellos resultados erróneos en varias ocasiones al no separar por la zona adecuada.



Fig.57. Probetas sometidas a fuerzas de tracción



Fig.58. Soporte, sufridera y mordaza de sujeción

## 9.6. ENSAYOS DE REVERSIBILIDAD

Según el *Diccionario de restauración y diagnóstico*, se define el concepto de reversibilidad como:

*“Principio según el cual se puede devolver un objeto al estado anterior a una operación de restauración. La reversibilidad absoluta no existe [...] Es un requisito necesario de los productos utilizados en el campo de la restauración, especialmente en el caso de materiales sintéticos. Este principio se formuló en la primera → “Carta del restauro”: el*

*empapelado, por ejemplo tiene que hacerse con adhesivos reversibles. [...] Se considera un principio ético orientativo.*<sup>51</sup>

Reafirmando la definición citada, los productos empleados en restauración no deben afectar a los soportes; ni durante el proceso de aplicación, ni en su propio envejecimiento cuando se dé el caso, ni en su eliminación cuando ésta sea necesaria. Para evitar posibles daños sobre el soporte hay que elegir adhesivos que no modifiquen el aspecto superficial de la obra, como por ejemplo brillos, cambios de tono, amarilleamientos u oscurecimientos.

Un término que va unido al de reversibilidad es la solubilidad<sup>52</sup>, en este caso, de adhesivos en diferentes disolventes. Existen varios test predeterminados para estudiar la solubilidad, como por ejemplo el Test de Feller o el Test de Cremonesi. Para seleccionar un disolvente adecuado hay que valorar los parámetros que determinan la polaridad, el poder de penetración y la volatilidad del disolvente.

La actuación de un disolvente sobre un sólido dependerá de la polaridad que presenten ambos, así pues, cuanto más semejantes sean, mayor será el hinchamiento y ablandamiento de la capa. Para determinar los parámetros de solubilidad se necesita representar los valores en un diagrama triangular como el *Triángulo de solubilidad de Teas*<sup>53</sup>.

Este ensayo determinará si los adhesivos propuestos a estudio son solubles o insolubles a determinados disolventes, dando como resultado un grado de reversibilidad óptimo para el campo de la restauración.

#### 9.6.1. Proceso experimental:

Para este ensayo se han tenido que cortar las probetas a una medida determinada por los recipientes contenedores de los diferentes disolventes elegidos. Estas probetas se cortaron con el adhesivo ya aplicado en su superficie para evitar posibles desviaciones en los resultados, de este modo, todas presentan una superficie homogénea apta para su estudio.

Se han elegido los siguientes disolventes de distinta volatilidad, polaridad y poder de penetración para abarcar varias de las tipologías usadas comúnmente en el campo de la restauración.

---

<sup>51</sup> GIANNINNI, C., ROANI, R., 2008, *Diccionario de restauración y diagnóstico. A-Z*, pp 179-180

<sup>52</sup> "La solubilidad se suele expresar como concentración molar máxima de un sólido en un líquido en condiciones estándar". MATTEINI, M., MOLES, A., 2008. *La Química En La Restauración: Los Materiales Del Arte Pictórico*, p 146

<sup>53</sup> Diagrama triangular donde se sitúan los disolventes en función de su contribución a las fuerzas intermoleculares de las fuerzas de Van der Waals ( $f_a$ ), dipolo-dipolo ( $f_p$ ) y enlaces de puente de hidrógeno ( $f_h$ ).

Tabla.12. Propiedades de los disolventes usados en el ensayo de reversibilidad.

| Disolvente | Familia                     | Loc <sup>a</sup> | P <sub>e</sub> <sup>b</sup> | P <sub>v</sub> (T) <sup>c</sup> | N <sup>d</sup> | D <sup>e</sup> | H <sup>f</sup> | C.D. <sup>g</sup> |
|------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| AGUA       | Agua                        | W                | 100                         | 17 (20)                         | 18             | 28             | 54             | 80                |
| ACETONA    | Cetonas                     | E1               | 56                          | 178(20)                         | 47             | 32             | 21             | 21,4              |
| ETHANOL    | Alcoholes                   | C2               | 78                          | 40 (20)                         | 36             | 18             | 46             | 25,7              |
| XILENO     | Hidrocarburos<br>aromáticos | B3               | 138-144                     | 10 (30)                         | 83             | 5              | 12             | 24                |

<sup>a</sup> Loc: localización en el diagrama de Teas.

<sup>b</sup> P<sub>e</sub>: punto de ebullición en grados centígrados (°C).

<sup>c</sup> P<sub>v</sub>(T): presión de vapor en mm de Hg (temperatura en °C a la que se mide el parámetro).

<sup>d</sup> N:100f<sub>d</sub> (contribución porcentual de las fuerzas de Van der Waals

<sup>e</sup> D:100f<sub>d</sub> (dipolo-dipolo)

<sup>f</sup> H:100f<sub>d</sub> (enlace de hidrógeno)

<sup>g</sup> C.D.: constante dieléctrica a una temperatura dada.

Una vez se cortaron las probetas y se determinaron los adhesivos que se iban a estudiar, se introdujeron las probetas de forma que el adhesivo no estuviese en contacto con el disolvente<sup>54</sup>.

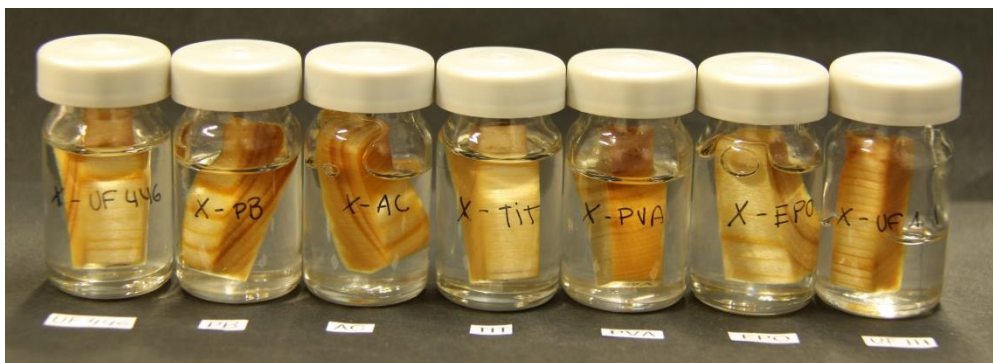


Fig.59. Probetas de reversibilidad sumergidas en Xileno

Para cada probeta se pusieron 5ml de cada disolvente en recipientes transparentes y herméticos y permanecieron dentro durante 24h.

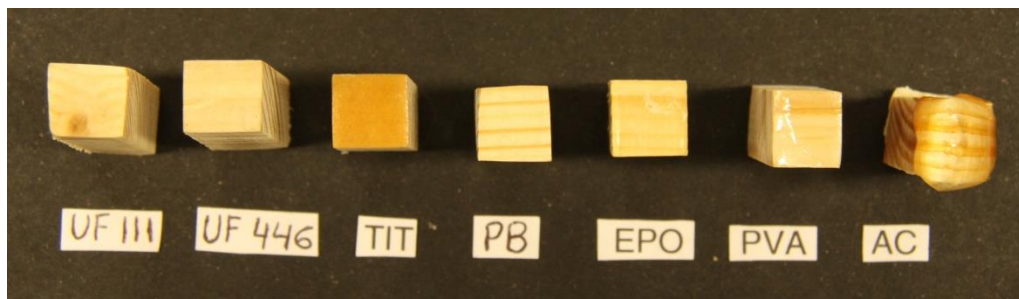


Fig.60. Probetas de reversibilidad una vez se han sometido

<sup>54</sup> Método por capilaridad

## 9.7. PH

En el estudio de los adhesivos, sobre todo con fines aplicados al campo de la conservación y restauración, el pH es un concepto muy importante a estudiar de dos formas: pH del adhesivo líquido y pH de la película curada.

El valor normal de pH varía en función de cada tipo de adhesivo, pero no son convenientes valores de acidez o alcalinidad extremas<sup>55</sup>.

### 9.7.1. Tiras medidoras de papel

#### 9.7.1.1. Instrumentación:

Tiras con escala de color de la marca Panreac.

#### 9.7.1.2. Proceso experimental:

Se han sumergido las tiras medidoras en cada adhesivo de forma que al sacarlas, la escala de color de la tira cambia y ha de compararse con la tabla predeterminada de color que está en el envase del producto.



Fig.61-63 .Mediciones de pH mediante tiras de papel en diferentes adhesivos

<sup>55</sup> Se atribuye una gran importancia a la medición del pH de la película ya curada (ASTM D 1583-61) Especialmente la American Specification para adhesivos de la madera, que determina los límites entre 2,5 y 11, considerando que un pH fuera de este intervalo, supone un peligro de degradación de los sustratos o del adhesivo mismo. HOUWINKS, R., SALOMON, G., 1978, *Adherencia y adhesivos Vol.II tomo 4*, p 546

## 9.7.2. PH-metro de contacto

### 9.7.2.1. Instrumentación:

Se ha usado el Microprocessor pH Meter modelo pH 213 de la casa HANNA instruments. Incluye el electrodo de pH HI 1131B y el de temperatura HI 7669/2W cuyo rango de medición es de 2 a 16 pH y de -9,9 a 120°C. Estos electrodos generan una corriente eléctrica cuando se sumergen en una sustancia, que dependerá de la cantidad de iones de hidrógeno que presente. El pH-metro se calibra mediante una solución suministrada por la casa.

### 9.7.2.2. Proceso experimental:

El uso del pH-metro de contacto se limitó a las medidas sobre los adhesivos acuosos, es decir, el PVA, TIT, UF 111, UF 446 y AC. Esto se debió a que el proceso de medición requería depositar una gota de agua sobre cada probeta para que efectuase una mínima remoción de la superficie curada. De esta forma, se superponía el electrodo de medición sobre la gota de agua midiendo la temperatura y el pH de cada adhesivo.



Fig.64. Medición de pH mediante pH-metro de contacto

## 9.8. XILOHIGRÓMETRO

En el punto 3 de la parte teórica se ha hablado de la relación entre madera y agua, y los movimientos que puede sufrir con cambios bruscos de HR y Tª, por ello es necesario conocer las características termohigrométricas que presentan las probetas, antes y después de ser sometidas a ensayos de envejecimiento.

#### 9.8.1. Instrumentación:

Permite efectuar un ensayo rápido, fácil y cuantitativo de la humedad de la madera junto con la humedad y temperatura ambiental. Según la madera que se quiera medir, se programará de una forma u otra. En este caso se puso en el número dos ya que corresponde al abeto entre otros. El xilohigrómetro es de la marca *Testo* modelo 606-2.

#### 9.8.2. Proceso experimental:

Mediante dos sensores que presenta el xilohigrómetro se midió la HR y la Tª de las probetas madre (PM) y de las probetas de corrosión (C) después de ser sometidas al envejecimiento artificial acelerado en la cámara de SO<sub>2</sub>.



**Fig.65.** Medición de la HR de la madera mediante xilohigrómetro

## 10. ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO

Hoy en día, se dispone de métodos de ensayo capaces de simular, en tiempos más breves, procesos de alteración similares a los reales causados por el paso del tiempo. Estos ensayos permiten la evaluación de diferentes materiales antes de su uso en conservación y restauración, de esta forma, se podrán conocer anticipadamente las alteraciones que podrían llegar a presentar dichos materiales si se usasen. Los ensayos más comunes son los referentes a variables climáticas y luminosas.



## 10.1. ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO EN ATMÓSFERA SATURADA DE DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

La realización de este ensayo se ha realizado para poder evaluar los posibles cambios que podría experimentar un adhesivo usado sobre soporte lúneo expuesto a una atmósfera saturada en SO<sub>2</sub>. Estas atmósferas son poco comunes en soportes leñosos, ya que normalmente, al ser un soporte fácilmente degradable en entornos al exterior, se suele situar en interiores donde sufren menos daños estructurales y físicos. Por ello, se ha realizado el estudio a fin de evaluar los posibles casos en los que se pudiese dar el empleo de la madera como soporte de una obra expuesta al exterior, donde la contaminación atmosférica entrase en contacto con la obra.

### 10.1.1. Instrumentación:

Cámara de corrosión en atmósfera saturada de dióxido de azufre, modelo VCK- 300 de la marca DYCOMETAL.



Fig.66. Cámara de corrosión por SO<sub>2</sub>

### 10.1.2. Proceso experimental:

Las probetas se metieron en la cámara un total de 5 ciclos divididos en dos fases. La primera fase de 2 ciclos de 24h cada uno, donde se extrajeron las probetas para observar los cambios que habían sufrido. La segunda fase fue de 3 ciclos de 24h cada uno.

## 10.2. ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO POR RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Este ensayo simula las condiciones que son más dañinas para los productos usados a la intemperie. Puede acelerar los efectos que sufren los materiales después de meses o años de exposición a la luz ultravioleta, altas temperaturas y humedad, para reproducir el daño en los materiales, como por ejemplo: pérdida de brillo, resquebrajamiento, cuarteado, oxidación y cambios de color.

### 10.2.1. Instrumentación:

Cámara de envejecimiento artificial acelerado por radiación ultravioleta modelo QUV de la marca Accelerated Weathering Tester. Esta cámara suministrada por la casa Q-Panel Lab, utiliza ocho lámparas UVB-313EL que reproducen los efectos dañinos de la luz solar, incrementando al máximo la aceleración utilizando la luz ultravioleta de onda corta más severa, con un máximo de intensidad en 310nm, las cuales equivalen a lámparas fluorescentes de 40W. Su distribución se dispone en dos bancadas de cuatro lámparas cada una con una temperatura constante de 45°C.



Fig.67. Cámara de radiación ultravioleta



Fig.68. Probetas dentro de la cámara de UV

#### 10.2.2. Proceso experimental:

Se han hecho tres ciclos de 100h cada uno. Para poder comparar entre 100, 200 y 300h en una probeta con un solo adhesivo, se ha dividido en tres partes, tapando con papel de aluminio las zonas que se querían reservar. De este modo, la probeta experimenta un aumento gradual de la radiación ultravioleta y permite apreciar las diferencias organolépticamente y de forma rápida.

### 10.3. ENVEJECIMIENTO TÉRMICO. VARIACIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

El ensayo crea una simulación a corto tiempo de la exposición natural a los agentes atmosféricos, partiendo de una exposición a un elevado grado de humedad y temperaturas elevadas.

En este caso se han dividido las variables para crear diferentes ambientes y cambios bruscos sobre la superficie de los adhesivos, creando climas de temperatura ambiente estable con variaciones cada 24h de humedad relativa normal y alta.

Este sistema de envejecimiento ayuda a evaluar los riesgos que podría sufrir una obra, por ejemplo, una escultura lígnea encolada con un adhesivo sintético en el interior de una iglesia, cuyas paredes están construidas con bloques de piedra, lo cual crea climas poco adecuados para este tipo de piezas ubicadas en su interior. Así pues, con la ayuda de estos métodos se puede determinar el material más estable para cada condición climática.

#### 10.3.1. Instrumentación:

Cámara climática Dycometal modelo CCK-25/300NG para ensayo de materiales a partir de un sometimiento de los mismos a condiciones variables de temperatura y humedad relativa controlada. Su rango de temperatura es de -25° C a 150°C, y su rango de humedad relativa es del 15% al 98%.

#### 10.3.2. Proceso experimental:

Probetas de HR:

Estas probetas fueron sometidas a dos tipos distintos de ciclos de 24h cada uno alternados durante dos semanas con los siguientes parámetros: Ciclo 1 → 25°C y 85-90% HR y Ciclo 2 → 25°C y 50-55% HR. Como se puede ver, la temperatura es estable en 25°C y lo que varía es la humedad relativa que varía entre valores de humedad normal y humedad alta.

Probetas de Tª:

Estas probetas estuvieron durante un mes a 45°C con una humedad relativa del 50%.



**Fig.69.** Probetas dentro de la cámara de T<sup>a</sup> y HR





# ***R**ESULTADOS*

## RESULTADOS

### 11. RESULTADOS

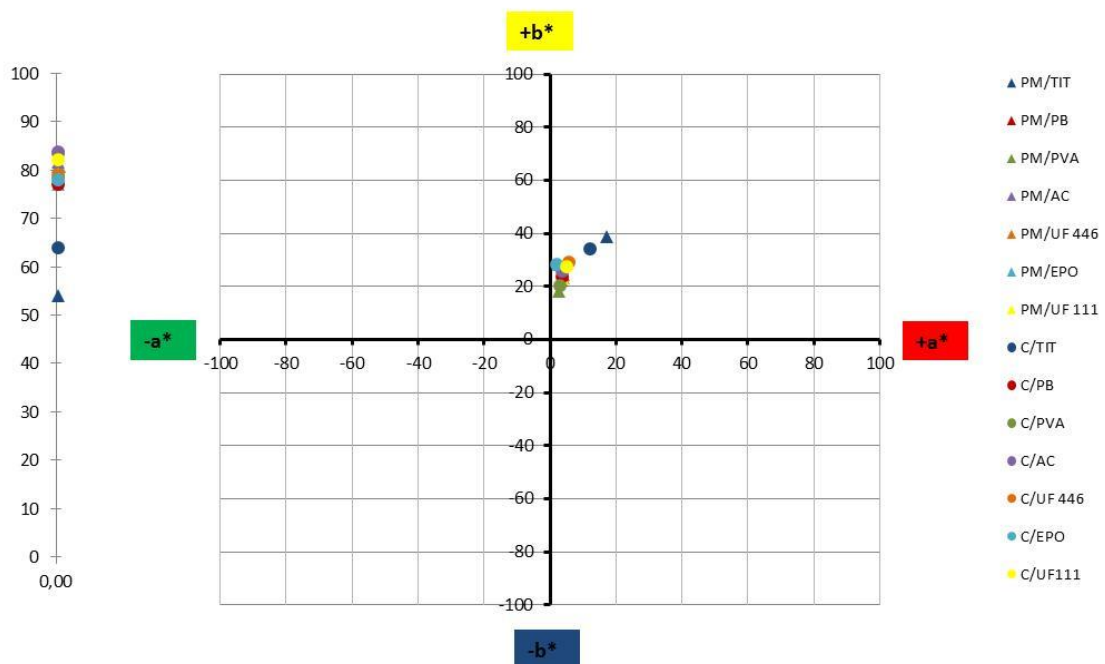
#### 11.1. ENSAYO DE CORROSIÓN

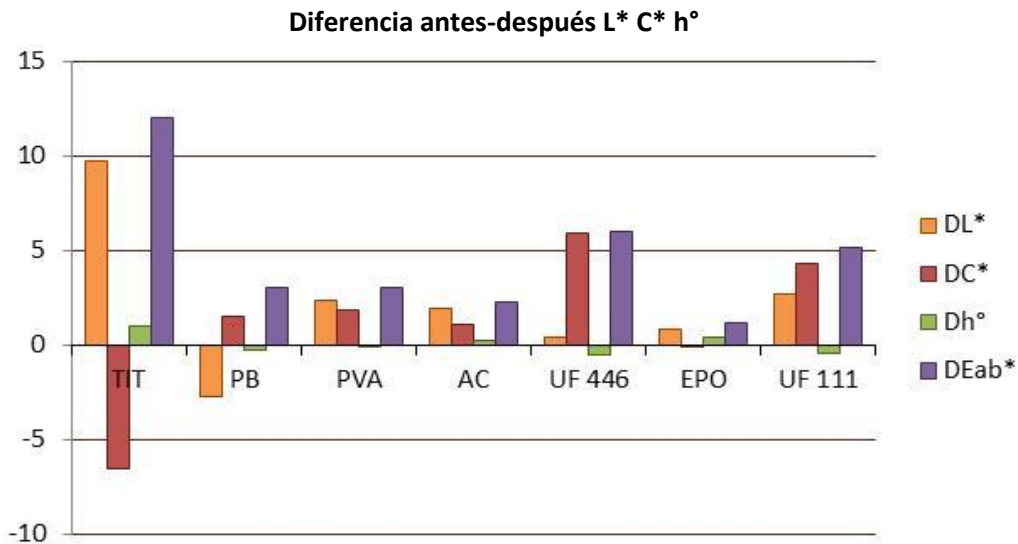
##### 11.1.1. Análisis colorimétrico y de brillo

Tabla: 13. Valores de variación de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab^*}$ ) correspondientes al ensayo de corrosión.

| Adhesivo | $L^*(1)$ | $L^*(2)$ | $DL^*(2-1)$ | $a^*(1)$ | $a^*(2)$ | $Da^*(2-1)$ | $b^*(1)$ | $b^*(2)$ | $Db^*(2-1)$ | $\Delta E_{ab^*}$ |
|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|-------------------|
| TIT      | 54,15    | 63,86    | 9,72        | 17,41    | 12,39    | -5,03       | 38,78    | 33,83    | -4,95       | 12,01             |
| PB       | 79,59    | 76,94    | -2,66       | 3,40     | 3,96     | 0,56        | 22,04    | 23,52    | 1,47        | 3,09              |
| PVA      | 81,02    | 83,44    | 2,43        | 2,81     | 3,15     | 0,34        | 18,25    | 20,10    | 1,85        | 3,07              |
| AC       | 81,70    | 83,67    | 1,97        | 4,19     | 3,99     | -0,19       | 24,36    | 25,56    | 1,20        | 2,31              |
| UF 446   | 78,28    | 78,69    | 0,41        | 4,07     | 6,04     | 1,97        | 23,23    | 28,88    | 5,65        | 6,00              |
| EPO      | 77,08    | 77,94    | 0,86        | 2,91     | 2,11     | -0,79       | 27,93    | 27,98    | 0,05        | 1,17              |
| UF 111   | 79,16    | 81,92    | 2,76        | 3,81     | 5,14     | 1,33        | 23,12    | 27,28    | 4,16        | 5,17              |

#### Corrosión. Diagrama CIELAB antes y después (SCI)





### 11.1.2 Valoraciones de las mediciones con brillo (SCI)

Las mediciones efectuadas con SCI han mostrado que el adhesivo que más se ha alterado cromáticamente es el TIT, con una diferencia de color total ( $\Delta E^*$ ) en torno a las 12 unidades CIELAB, seguida por la probeta UF 446 con un  $\Delta E^* \approx 6$ , la UF 111 con un  $\Delta E^* \approx 5$ , la PB y PVA con un  $\Delta E^* \approx 3$ , la AC con un  $\Delta E^* \approx 2$  y por último la EPO con un  $\Delta E^* \approx 1$ .

A continuación, se detallarán de manera específica los cambios producidos por los adhesivos en el ensayo de corrosión, pudiendo observarse los datos extraídos en las mediciones colorimétricas en los anexos.

Precisando más en cuanto a la variación total sufrida por este tipo de adhesivos, el TIT ha ganado claridad, siendo inapreciable cualquier movimiento en su croma y manteniendo su tono en naranja amarillento.

El UF 446 ha mantenido la claridad, pero ha variado ganando cromatismo de débil a medio y ha modificado el tono de amarillo anaranjado a naranja amarillento.

En el UF 111 ha sido imperceptible el cambio en su claridad, ha ganado cromatismo y ha mantenido su tono en amarillo anaranjado.


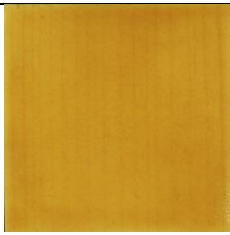
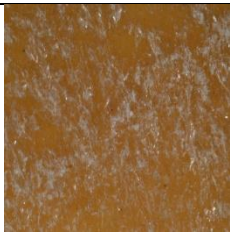





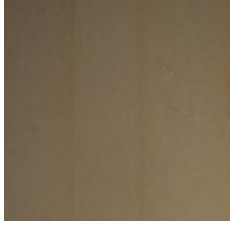





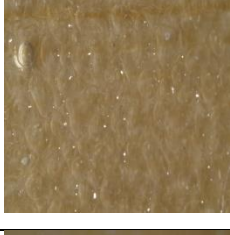






El PB ha mantenido la claridad bajando ligeramente, no modificando su croma ni su tono, quedando en amarillo anaranjado.

Ha sido inapreciable el movimiento de claridad, croma y tono en el PVA, siendo este último, amarillo anaranjado.

El adhesivo AC ha sufrido un ligero ascenso en claridad, perdiendo cromatismo y manteniendo su tono en amarillo anaranjado. El EPO ha conservado estable la claridad (muy claro), siendo inapreciable algún cambio en el cromatismo así como su tono, siendo amarillo anaranjado.



11.1.3. Comparativa antes – después y microfotografía

|       | ANTES   | DESPUÉS   | MICROSCOPIA   |
|-------|---|---|---|
| TIT   |    |    |    |
| PB    |    |    |    |
| PVA   |   |   |   |
| AC    |  |  |  |
| UF446 |  |  |  |
| EPO   |  |  |  |
| UF111 |  |  |  |

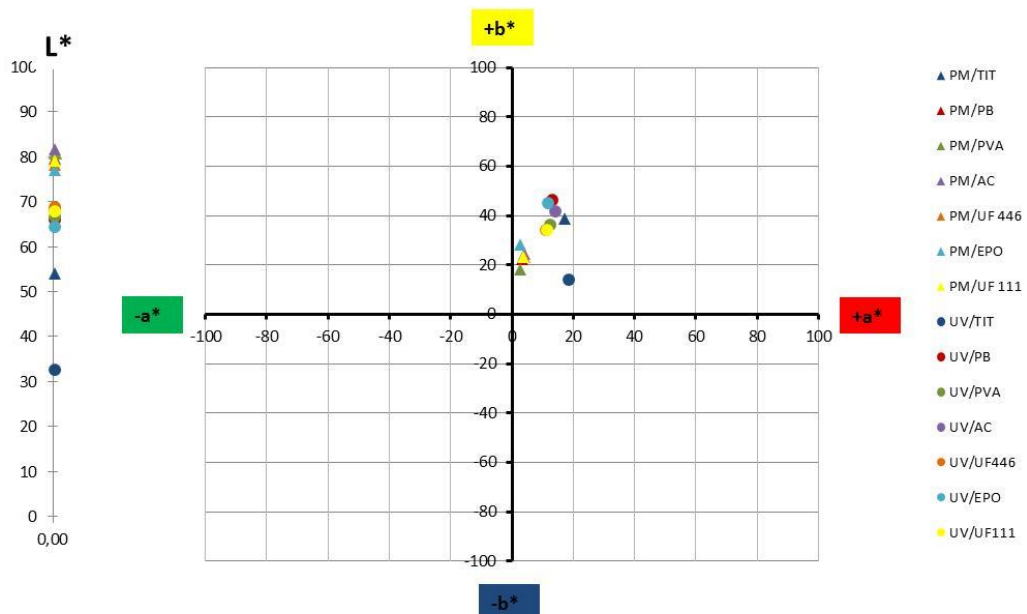
## 11.2. PROBETAS SOMETIDAS A RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

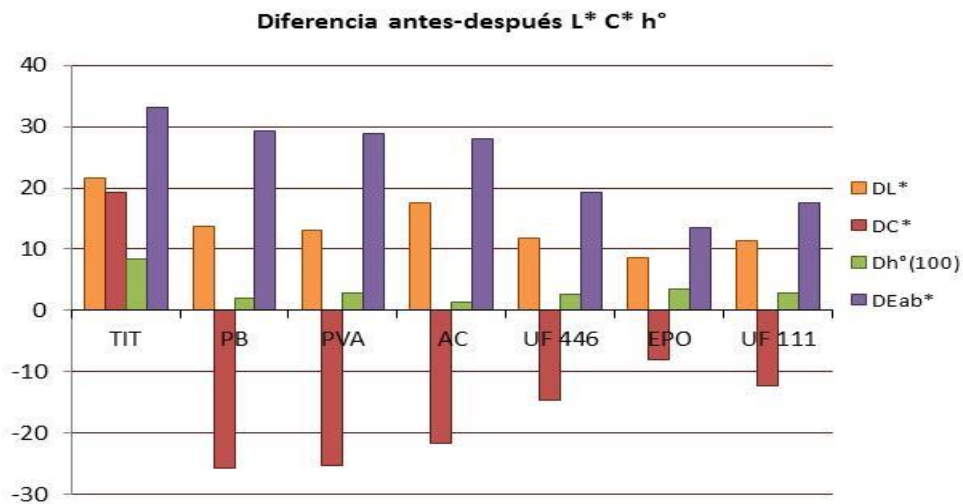
### 11.2.1. Análisis colorimétrico y de brillo

Tabla:14 Valores de variación de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ) correspondientes al ensayo de ultravioleta.

| Adhesivo | $L^*(1)$ | $L^*(2)$ | $\Delta L^*(2-1)$ | $a^*(1)$ | $a^*(2)$ | $\Delta a^*(2-1)$ | $b^*(1)$ | $b^*(2)$ | $\Delta b^*(2-1)$ | $\Delta E_{ab}^*$ |
|----------|----------|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|-------------------|-------------------|
| TIT      | 54,15    | 32,58    | 21,56             | 17,41    | 18,76    | -1,35             | 38,78    | 13,81    | 24,96             | 33,01             |
| PB       | 79,59    | 65,95    | 13,65             | 3,40     | 13,15    | -9,75             | 22,04    | 46,14    | -24,09            | 29,36             |
| PVA      | 81,02    | 67,95    | 13,07             | 2,81     | 14,17    | -11,36            | 18,25    | 41,34    | -23,09            | 28,86             |
| AC       | 81,70    | 64,17    | 17,53             | 4,19     | 11,92    | -7,73             | 24,36    | 44,80    | -20,44            | 28,02             |
| UF 446   | 78,28    | 66,58    | 11,70             | 4,07     | 12,47    | -8,40             | 23,23    | 36,15    | -12,92            | 19,35             |
| EPO      | 77,08    | 68,58    | 8,50              | 2,91     | 11,31    | -8,41             | 27,93    | 34,18    | -6,25             | 13,49             |
| UF 111   | 79,16    | 67,82    | 11,34             | 3,81     | 11,76    | -7,96             | 23,12    | 33,82    | -10,70            | 17,50             |

Ultravioleta. Diagrama CIELAB antes y después (SCI)





### 11.2.2. Valoraciones de las mediciones con brillo (SCI)

Las mediciones efectuadas con brillo (SCI) han expuesto que el adhesivo que más se ha alterado cromáticamente es el TIT, con una diferencia de color total ( $\Delta E^*$ ) en torno a las 33 unidades CIELAB, seguida por la probeta PB y PVA con un  $\Delta E^* \approx 29$ , la AC con un  $\Delta E^* \approx 28$ , la UF 446 con un  $\Delta E^* \approx 19$ , la UF 111 con un  $\Delta E^* \approx 18$  y por último la EPO con un  $\Delta E^* \approx 13$ .

A continuación, se detallarán de manera específica los cambios producidos por los adhesivos en el ensayo de ultravioleta, pudiendo observarse los datos extraídos en las mediciones colorimétricas en los anexos.

Profundizando más en cuanto a la variación total sufrida por este tipo de adhesivos, el TIT ha perdido claridad, oscureciéndose y perdiendo cromatismo, virando su tono de naranja amarillento a rojo anaranjado.

El PB ha perdido claridad, ganando cromatismo de débil a fuerte y ha modificado el tono de amarillo anaranjado a naranja-amarillo.

El PVA ha perdido claridad, ha ganado cromatismo y ha variado su tono de amarillo anaranjado a naranja- amarillo.


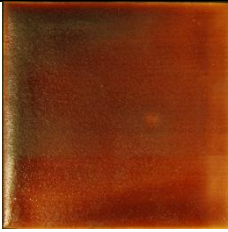

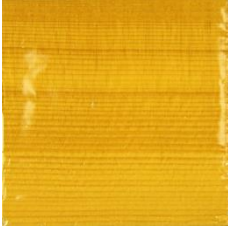










El adhesivo AC ha sufrido una ligera pérdida en claridad, ganando cromatismo de débil a fuerte y ha modificado su tono de amarillo anaranjado a naranja-amarillo.

El UF 446 ha perdido claridad de muy claro a claro, ha aumentado su croma de débil a medio y el tono ha pasado de amarillo anaranjado a naranja amarillento.

El UF 111 ha pasado de muy claro a claro, su croma de débil a medio y ha modificado su tono de amarillo anaranjado a naranja amarillento.

El EPO ha perdido claridad bajando ligeramente, no modificando su croma pero si su tono de amarillo anaranjado a naranja-amarillo.

11.2.3. Comparativa antes – después

|       | ANTES   | DESPUÉS  |
|-------|---|--|
| TIT   |    |    |
| PB    |    |    |
| PVA   |   |   |
| AC    |  |  |
| UF446 |  |  |
| EPO   |  |  |
| UF111 |  |  |

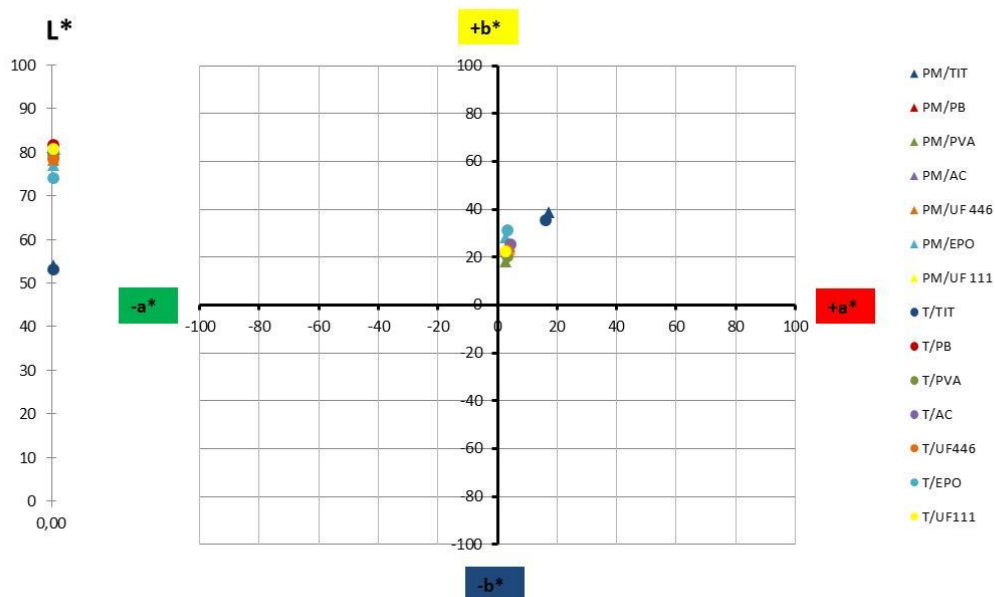
### 11.3. PROBETAS SOMETIDAS A TEMPERATURA

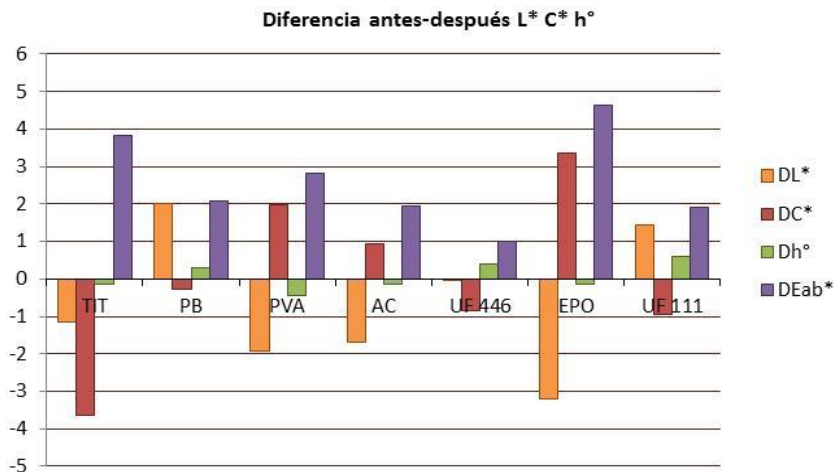
#### 11.3.1. Análisis colorimétrico y de brillo

Tabla:15 Valores de variación de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab^*}$ ) correspondientes al ensayo de temperatura.

| Adhesivo | $L^*(1)$ | $L^*(2)$ | $DL^*(2-1)$ | $a^*(1)$ | $a^*(2)$ | $Da^*(2-1)$ | $b^*(1)$ | $b^*(2)$ | $Db^*(2-1)$ | $\Delta E_{ab^*}$ |
|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|-------------------|
| TIT      | 54,15    | 53,00    | -1,15       | 17,41    | 16,24    | -1,17       | 38,78    | 35,33    | -3,45       | 3,82              |
| PB       | 79,59    | 81,60    | 2,01        | 3,40     | 2,94     | -0,46       | 22,04    | 21,82    | -0,22       | 2,07              |
| PVA      | 81,02    | 79,11    | -1,91       | 2,81     | 3,67     | 0,86        | 18,25    | 20,12    | 1,87        | 2,81              |
| AC       | 81,70    | 80,03    | -1,67       | 4,19     | 4,55     | 0,37        | 24,36    | 25,25    | 0,89        | 1,93              |
| UF 446   | 78,28    | 78,25    | -0,04       | 4,07     | 3,38     | -0,69       | 23,23    | 22,49    | -0,73       | 1,01              |
| EPO      | 77,08    | 73,88    | -3,20       | 2,91     | 3,53     | 0,63        | 27,93    | 31,25    | 3,31        | 4,65              |
| UF 111   | 79,16    | 80,59    | 1,43        | 3,81     | 2,82     | -0,99       | 23,12    | 22,32    | -0,80       | 1,91              |

Temperatura. Diagrama CIELAB antes y después (SCI)





### 11.3.2. Valoraciones de las mediciones con brillo (SCI)

Las mediciones efectuadas con brillo (SCI) han determinado que el adhesivo que más se ha alterado cromáticamente es el EPO, con una diferencia de color total ( $\Delta E^*$ ) en torno a las 5 unidades CIELAB, seguida por la probeta TIT con un  $\Delta E^* \approx 4$ , la PVA con un  $\Delta E^* \approx 3$ , la PB, AC y UF111 han variado su cromatismo de manera similar con un  $\Delta E^* \approx 2$  y por último la UF 446 con un  $\Delta E^* \approx 1$ .

A continuación se detallarán de manera específica los cambios producidos por los adhesivos en el ensayo de temperatura, pudiendo observarse los datos extraídos en las mediciones colorimétricas en los anexos.

Comentando de manera más precisa los cambios sufridos en este tipo de adhesivos, se puede concretar que el EPO ha perdido levemente claridad, siendo mínimo el movimiento en su cromatismo y manteniendo su tono en amarillo anaranjado.

El TIT ha mantenido la claridad, ha variado de manera sutil su cromatismo y no ha modificado su tono.

En el PVA ha ganado ligeramente claridad, ha sido imperceptible el cambio en su cromatismo, ha ganado cromatismo y ha mantenido su tono en amarillo anaranjado.

El PB ha mantenido la claridad subiendo ligeramente, no modificando su cromatismo ni su tono, quedando en amarillo anaranjado.

El adhesivo AC ha sufrido una ligera pérdida en claridad, ganando cromatismo y manteniendo su tono en amarillo anaranjado.

El UF 111 ha conservado estable la claridad (muy claro), siendo inapreciable algún cambio en el cromatismo así como su tono, siendo amarillo anaranjado.

El UF 446 ha mantenido la claridad, el cromatismo y el tono, siendo amarillo anaranjado.

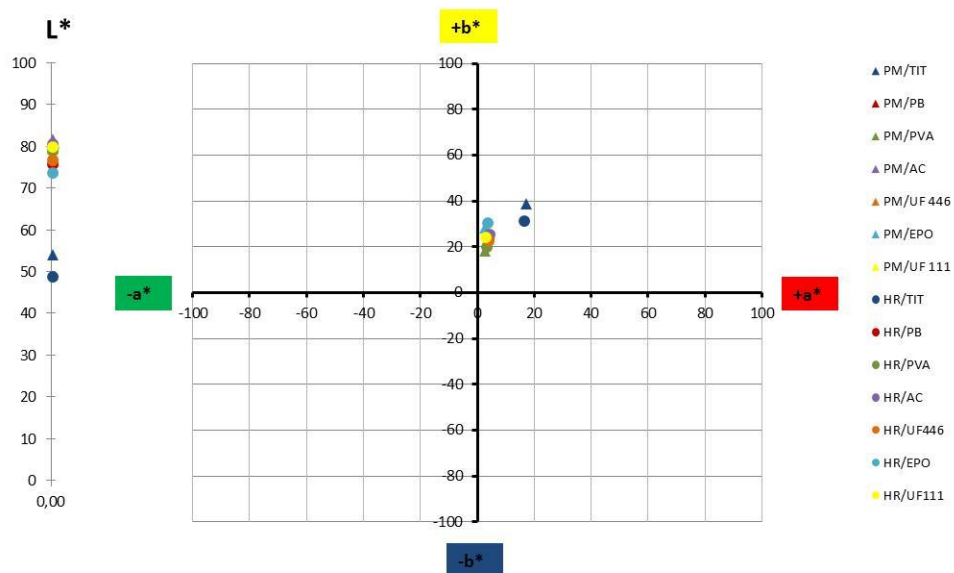
#### 11.4. PROBETAS SOMETIDAS A HUMEDAD RELATIVA

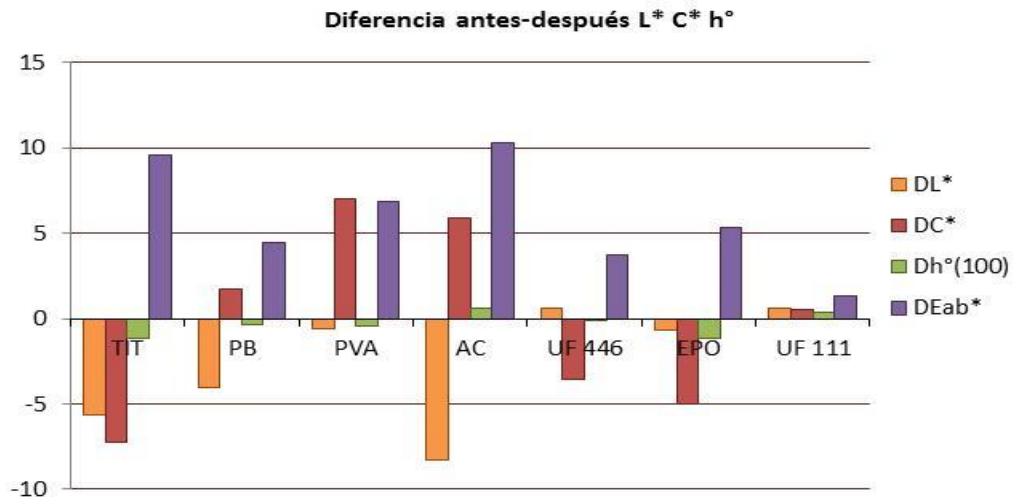
##### 11.4.1. Análisis colorimétrico y de brillo

Tabla:16 Valores de variación de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab^*}$ ) correspondientes al ensayo de humedad relativa.

| Adhesivo | $L^*(1)$ | $L^*(2)$ | $DL^*(2-1)$ | $a^*(1)$ | $a^*(2)$ | $Da^*(2-1)$ | $b^*(1)$ | $b^*(2)$ | $Db^*(2-1)$ | $\Delta E_{ab^*}$ |
|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|-------------------|
| TIT      | 54,15    | 48,52    | -5,63       | 17,41    | 16,63    | -0,79       | 38,78    | 31,10    | -7,67       | 9,55              |
| PB       | 79,59    | 75,59    | -4,00       | 3,40     | 4,25     | 0,85        | 22,04    | 23,65    | 1,61        | 4,43              |
| PVA      | 81,02    | 80,44    | -0,58       | 2,81     | 4,60     | 1,79        | 18,25    | 25,05    | 6,80        | 6,90              |
| AC       | 81,70    | 73,40    | -8,30       | 4,19     | 4,01     | -0,18       | 24,36    | 30,32    | 5,96        | 10,27             |
| UF 446   | 78,28    | 78,87    | 0,59        | 4,07     | 3,55     | -0,52       | 23,23    | 19,70    | -3,52       | 3,71              |
| EPO      | 77,08    | 76,43    | -0,65       | 2,91     | 4,08     | 1,18        | 27,93    | 22,75    | -5,18       | 5,32              |
| UF 111   | 79,16    | 79,77    | 0,61        | 3,81     | 3,28     | -0,52       | 23,12    | 23,71    | 0,59        | 1,31              |

Humedad relativa. Diagrama CIELAB antes y después (SCI)





#### 11.4.2. Valoraciones de las mediciones con brillo (SCI)

Las mediciones efectuadas con brillo (SCI) han mostrado que los adhesivos que más se han alterado cromáticamente son el AC y el TIT, con una diferencia de color total ( $\Delta E^*$ ) en torno a las 10 unidades CIELAB, seguida por la probeta PVA con un  $\Delta E^* \approx 7$ , la EPO con un  $\Delta E^* \approx 5$ , la PB y UF 446 con un  $\Delta E^* \approx 4$  y por último la UF 111 con un  $\Delta E^* \approx 1$ .

De manera más puntual sobre la variación total sufrida por los diferentes adhesivos, a continuación se detallarán de manera específica aquellos cambios producidos por los adhesivos en el ensayo de humedad relativa, pudiéndose observar los datos extraídos de las mediciones colorimétricas en los anexos.

Precisando, el adhesivo AC ha perdido levemente claridad, siendo inapreciable cualquier movimiento en su cromatismo y manteniendo su tono en amarillo anaranjado.

El TIT ha mantenido la claridad, pero ha variado su cromatismo perdiendo y ha modificado el tono de naranja amarillento a naranja.

En el PVA ha sido imperceptible el cambio en su claridad, ha ganado cromatismo y ha mantenido su tono en amarillo anaranjado.

El EPO ha perdido claridad bajando ligeramente, no modificando su cromatismo ni su tono, quedando en amarillo anaranjado.


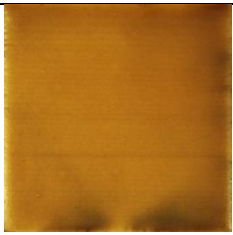


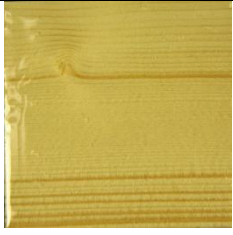
















Ha sido inapreciable en el adhesivo PB el movimiento de claridad y cromatismo, variando su tono de amarillo anaranjado a naranja amarillo.

El adhesivo UF 446 ha sufrido un ligero descenso en claridad, manteniendo cromatismo y tono en amarillo anaranjado.

El UF 111 ha conservado estable la claridad (muy claro), siendo inapreciable algún cambio en el cromatismo así como su tono, siendo amarillo anaranjado.



11.4.3. Comparativa antes – después y microfotografía

|       | ANTES   | DESPUÉS   | MICROSCOPIA   |
|-------|---|---|---|
| TIT   |    |    |    |
| PB    |    |    |    |
| PVA   |   |   |   |
| AC    |  |  |  |
| UF446 |  |  |  |
| EPO   |  |  |  |
| UF111 |  |  |  |

## 11.5. ENSAYO DE ABRASIÓN

### 11.5.1. Valoración del rallado

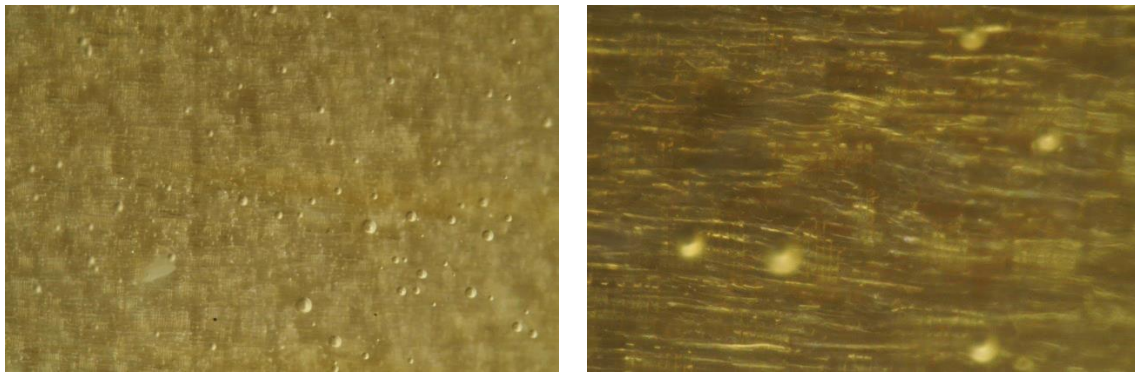
Se han hecho pruebas sólo en cinco de los siete adhesivos, ya que los dos adhesivos a base de urea formaldehído son adhesivos de contacto y no terminan de secar. Debido a su estado mordiente, se ha decidido no incidir con las puntas del linear abraser para no dar un resultado erróneo frente a los demás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

*Tabla.17 Resultados de la prueba de abrasión*

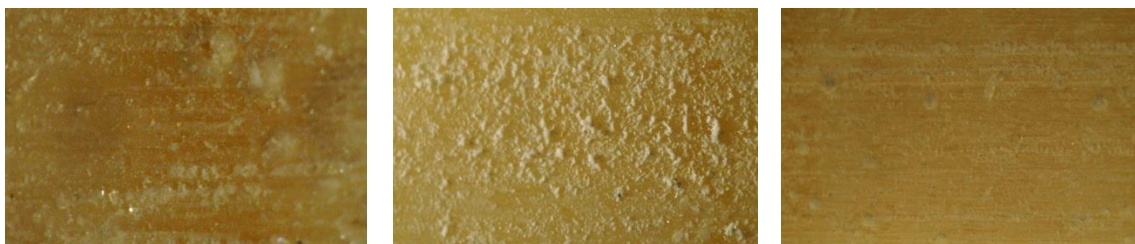
| ADHESIVO   | CICLOS | CABEZAL | RESULTADO   |
|------------|--------|---------|---|
| <b>EPO</b> | 10     | H-18    | Desgaste superficial y homogéneo, sólo ha arañado el adhesivo sin llegar a la madera.   |
|            | 30     | H-18    | Rallado superficial y homogéneo, sólo ha arañado el adhesivo sin llegar a la madera.  |
|            | 60     | H-18    | Raspado superficial y homogéneo, sólo ha arañado el adhesivo sin llegar a la madera.  |
| <b>AC</b>  | 10     | H-18    | Rallado un poco agresivo con el adhesivo pero superficial y homogéneo, sólo ha arañado el adhesivo sin llegar a la madera.                            |
|            | 20     | H-18    | Fuerte abrasión con el adhesivo.  |
|            | 30     | H-18    | Desgaste acusado llegando al soporte.   |
| <b>PB</b>  | 5      | CS- 10  | Raspado superficial casi inapreciable y homogéneo.  |
|            | 15     | CS- 10  | Rallado discontinuo pero superficial. Se han quedado restos del cabezal debido a la viscosidad del material.  |
|            | 22     | CS- 10  | Desgaste discontinuo pero superficial, un poco más agresivo que con 15 ciclos. Se han quedado restos del cabezal debido a la viscosidad del material. |
| <b>TIT</b> | 10     | H-18    | Deterioro superficial y discontinuo, sólo ha arañado el adhesivo sin llegar al soporte.   |
|            | 20     | H-18    | Rallado superficial, sólo ha arañado el adhesivo sin llegar a la madera   |
|            | 30     | H-18    | Desgaste poco agresivo pero superficial y discontinuo, sólo ha arañado el adhesivo sin llegar a la madera   |

|            |    |      |   |
|------------|----|------|---|
| <b>PVA</b> | 7  | H-18 | Fricción superficial llegando a la madera.  |
|            | 15 | H-18 | Daño superficial, un poco discontinuo y heterogéneo. Sólo ha arañado el adhesivo sin llegar a la madera. Ha dejado restos del cabezal incrustados debido a la textura del material.               |
|            | 22 | H-18 | Rallado un poco agresivo y superficial, discontinuo y heterogéneo. Sólo ha arañado el adhesivo sin llegar a la madera. Ha dejado restos del cabezal incrustados debido a la textura del material. |

### 11.5.2. Microfotografía



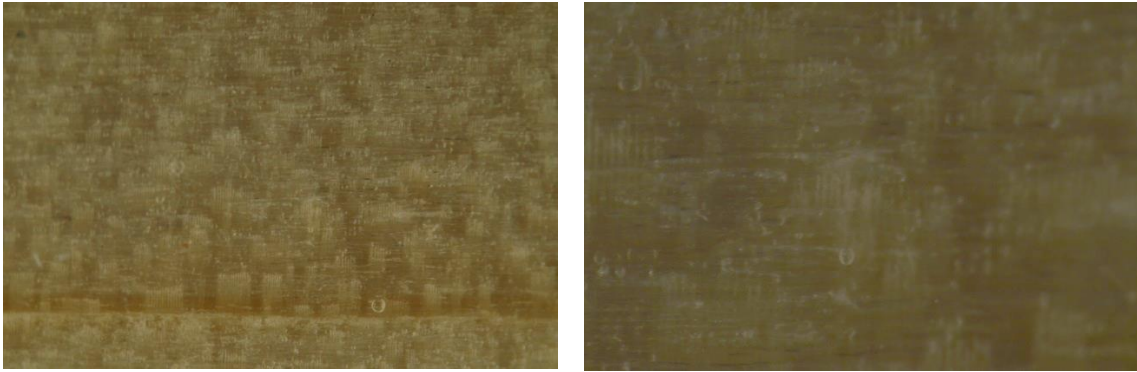
**Fig.70** Microfotografías de la probeta EPO/PM, 25x y 80x



**Fig.71** Microfotografías de la probeta EPO/A, 20x, sometida a 10-30-60 ciclos/min de abrasión



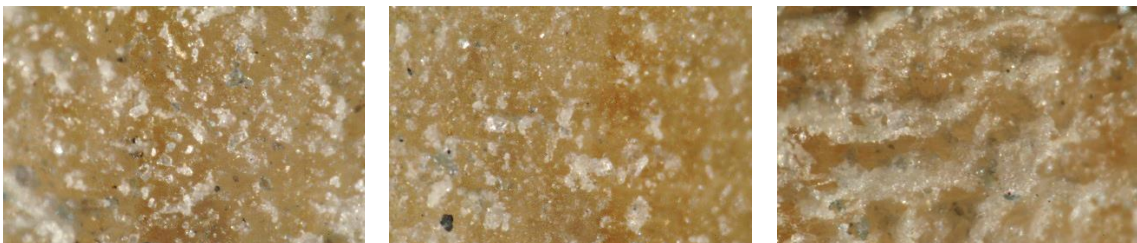
**Fig.72** Microfotografías de la probeta EPO/A, 80x, sometida a 10-30-60 ciclos/min de abrasión



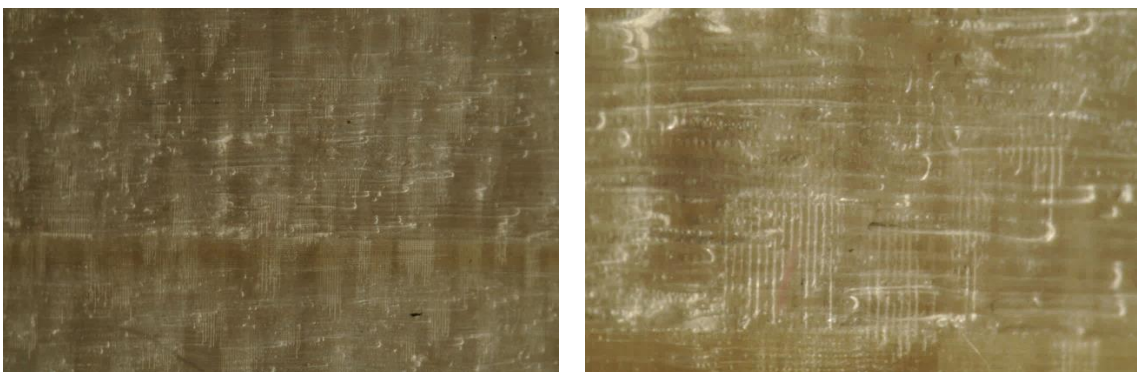
**Fig.73** Microfotografías de la probeta AC/PM, 25x y 80x



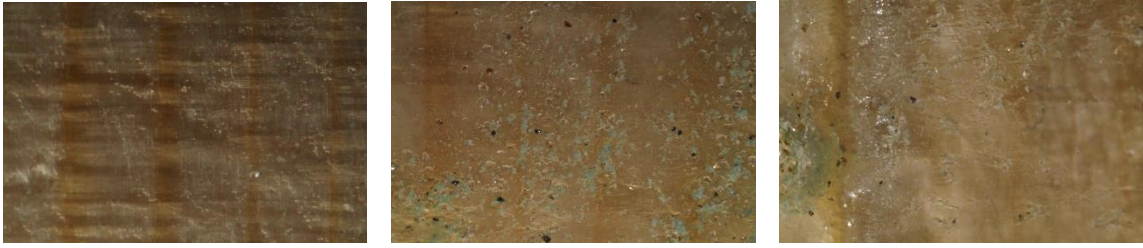
**Fig.74** Microfotografías de la probeta AC/A, 20x, sometida a 10-20-30 ciclos/min de abrasión



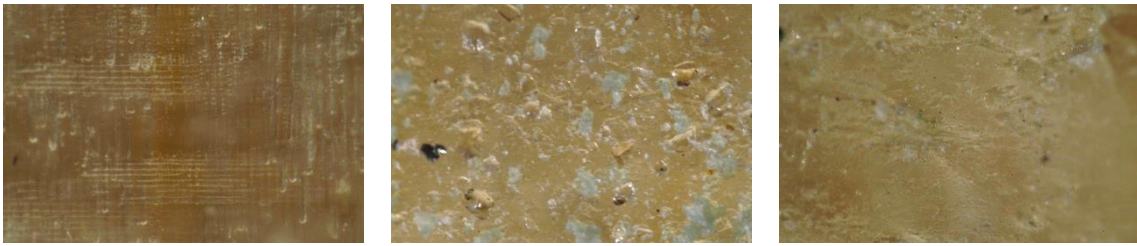
**Fig.75** Microfotografías de la probeta AC/A, 80x, sometida a 10-20-30 ciclos/min de abrasión



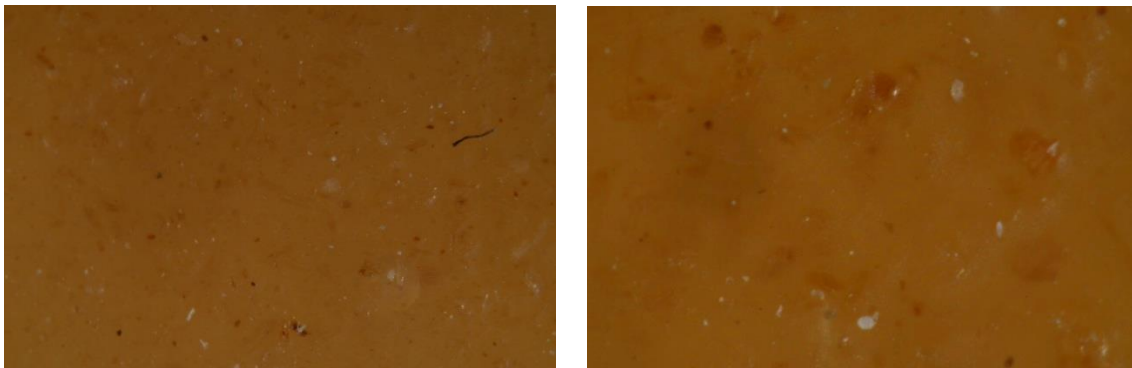
**Fig.76** Microfotografías de la probeta PB/PM, 25x y 80x



**Fig.77** Microfotografías de la probeta PB/A, 20x, sometida a 5-15-22 ciclos/min de abrasión



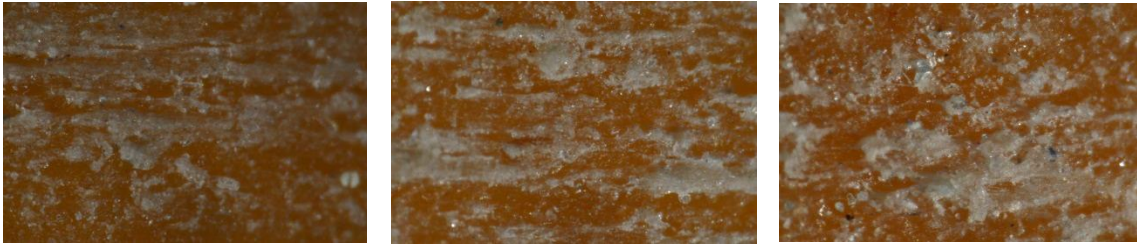
**Fig.78** Microfotografías de la probeta PB/A, 80x, sometida a 5-15-22 ciclos/min de abrasión



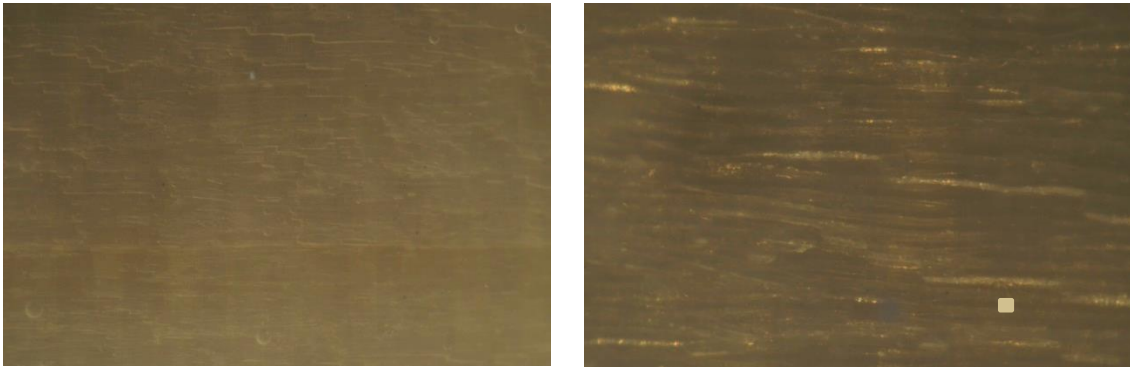
**Fig.79** Microfotografías de la probeta TIT/PM, 25x y 80x



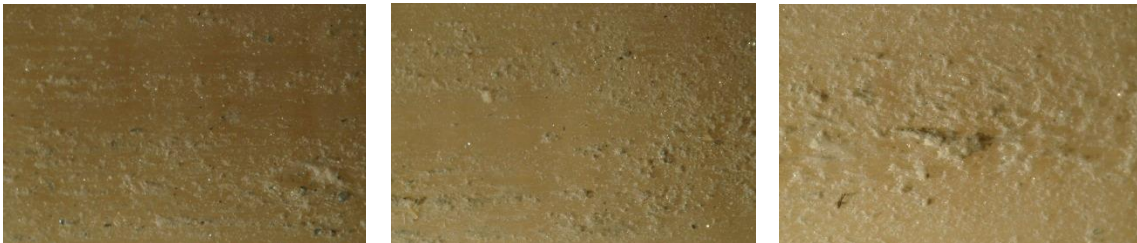
**Fig.80** Microfotografías de la probeta TIT/A, 20x, sometida a 10-20-30 ciclos/min de abrasión



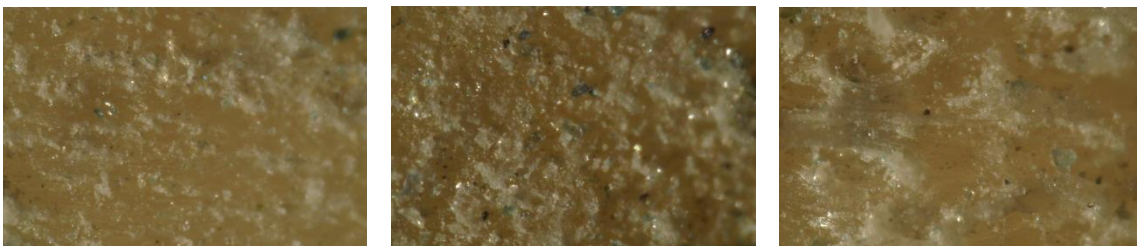
**Fig.81** Microfotografías de la probeta TIT/A, 80x, sometida a 10-20-30 ciclos/min de abrasión



**Fig.82** Microfotografías de la probeta PVA/PM, 25x y 80x



**Fig.83** Microfotografías de la probeta PVA/A, 20x, sometida a 7-15-22 ciclos/min de abrasión



**Fig.84** Microfotografías de la probeta PVA/A, 80x, sometida a 7-15-22 ciclos/min de abrasión

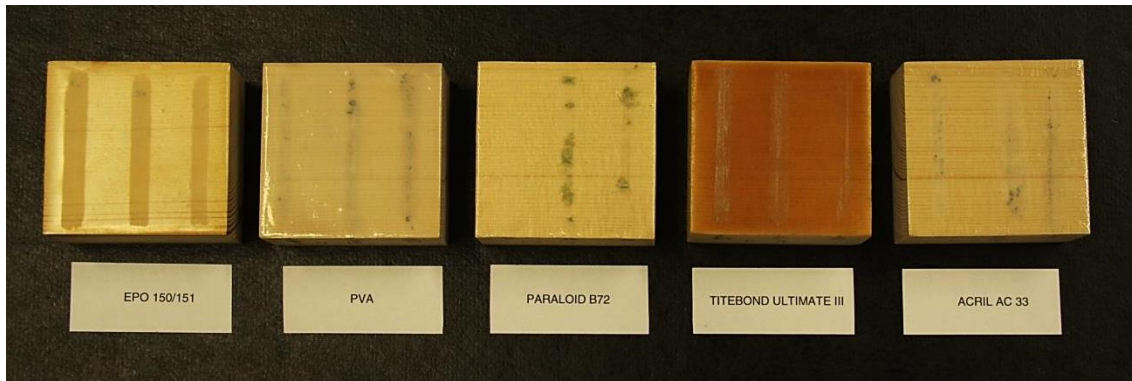


Fig.85 Probetas de abrasión sometidas al Linear Abraser

## 11.6. ENSAYO DE FLEXIBILIDAD

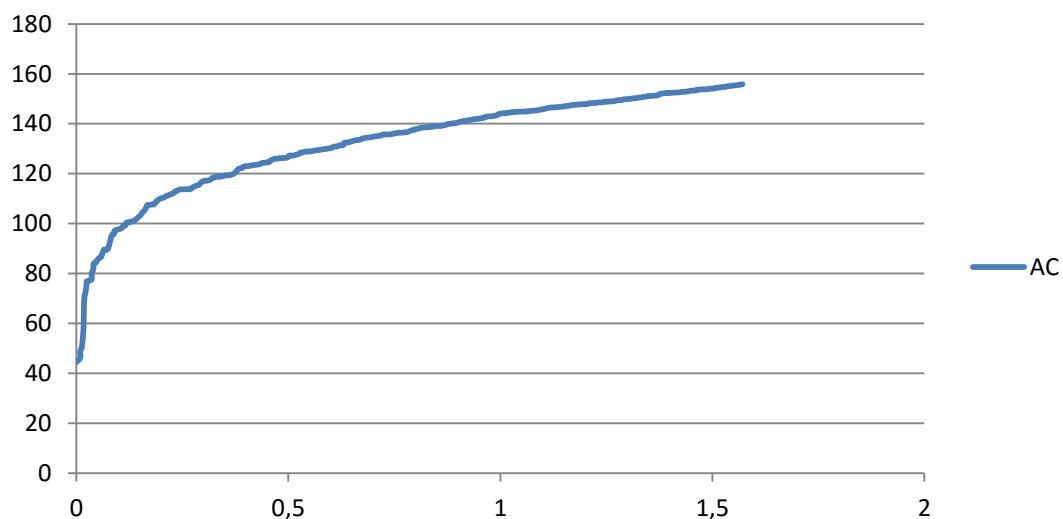
### 11.6.1. Valoración de la resistencia a la rotura

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.

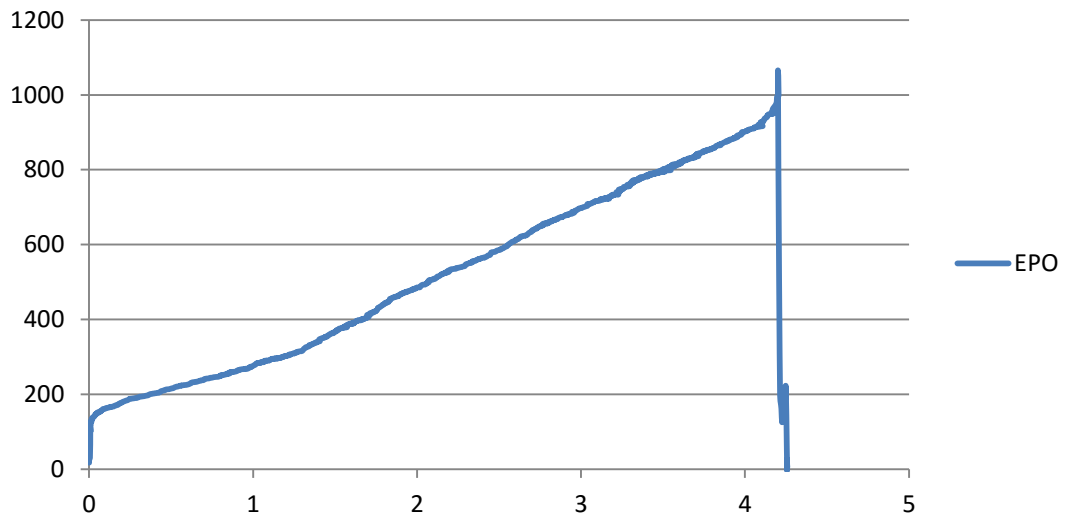
Como excepción, los adhesivos a base de urea de formaldehído UF 111 y UF 446, no pudieron ser sometidos a este ensayo por su elevado tiempo de secado, de forma que no se pudo conseguir una lámina rígida y homogénea como en los casos anteriores.

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

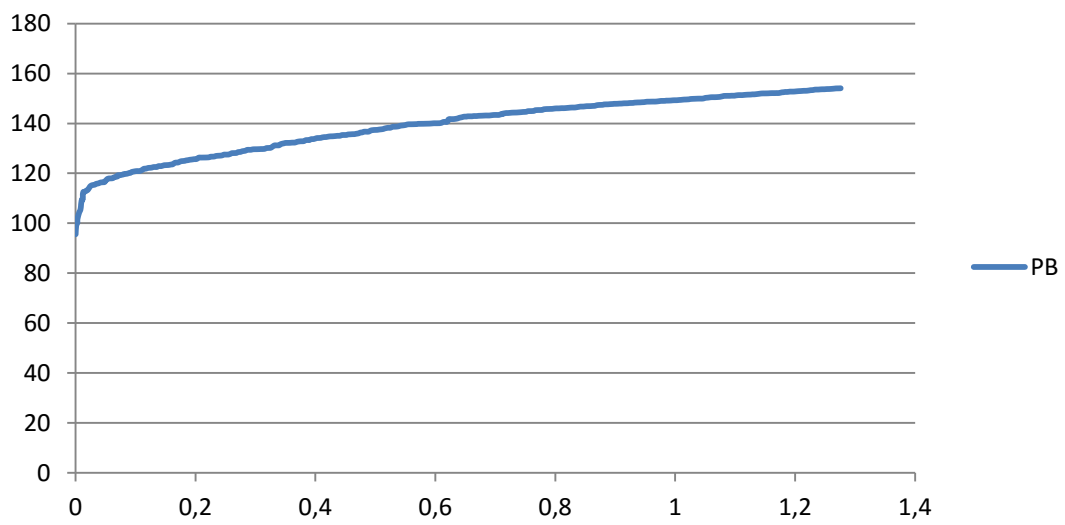
### ACRIL 33



### EPO 150

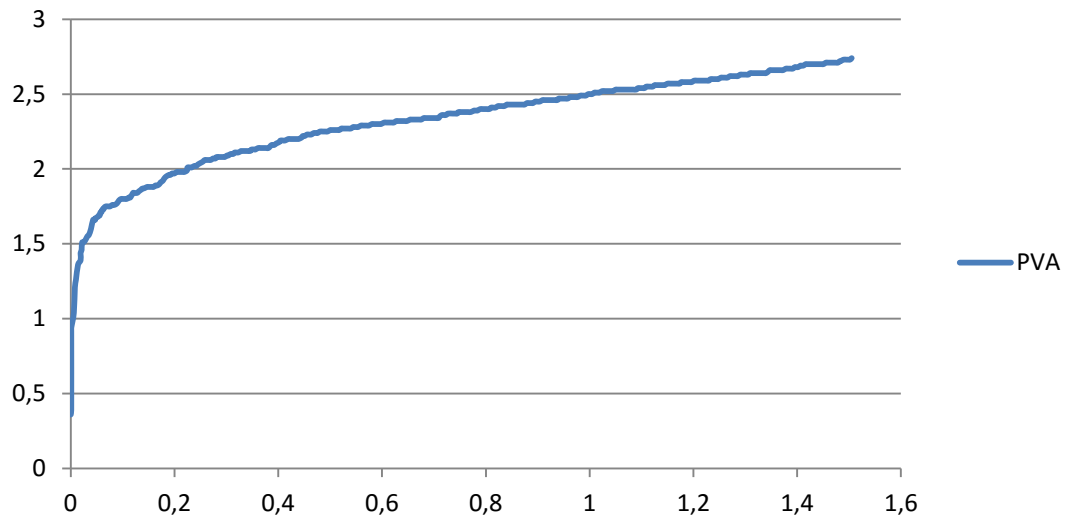


### PARALOID B72

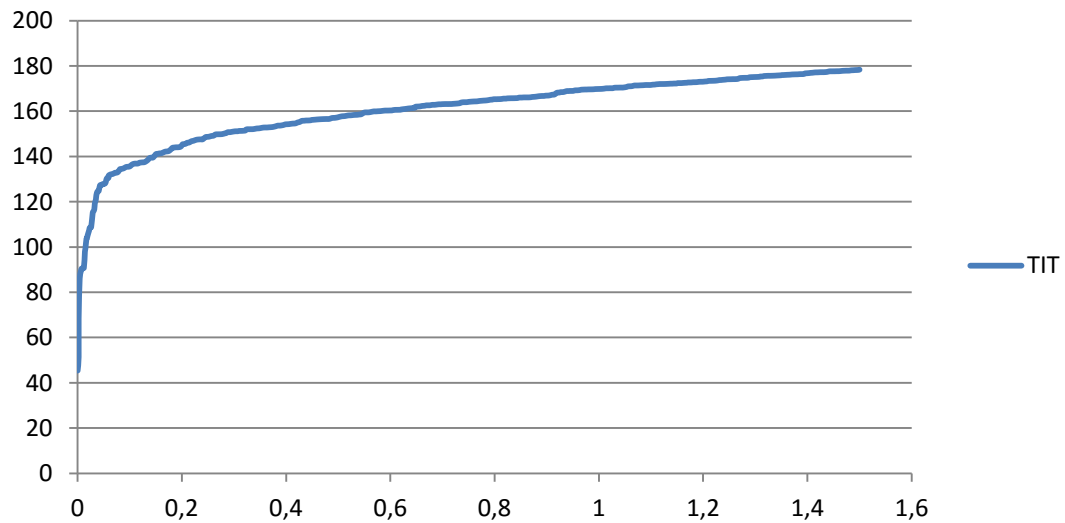




## ACETATO DE POLIVINILO



## TITEBOND



### 11.7. ENSAYO DE TRACCIÓN

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.

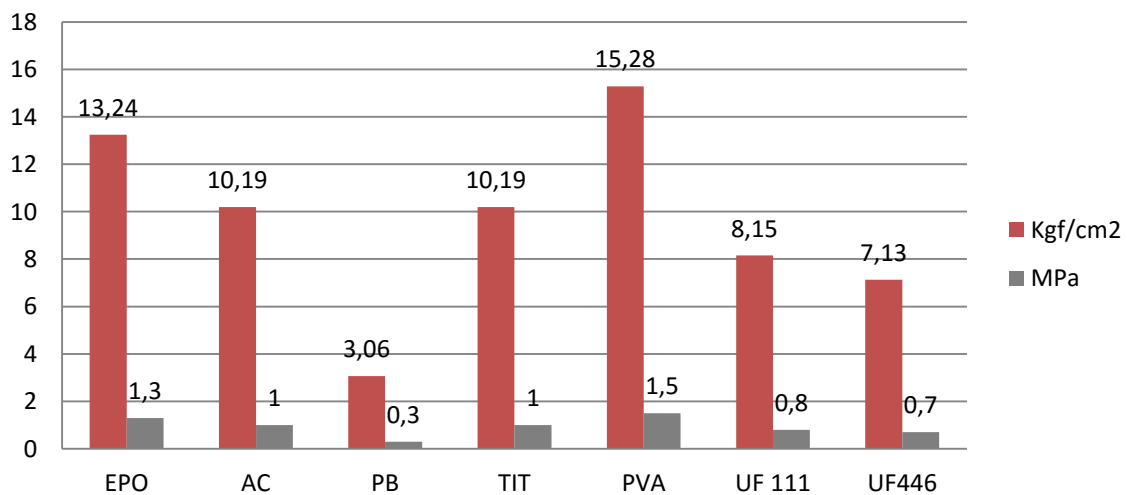
11.7.1. Valoración de la resistencia a la rotura

Tabla.18: Resultados de la prueba de tracción en Kg/cm<sup>2</sup> y MPa

| ADHESIVO | Kgf/cm <sup>2</sup> | MPa  |
|----------|---------------------|------|
| EPO      | 13,24               | 1,30 |
| AC       | 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 |

\*Véase en anexos la Tabla 23

Valores de tracción en Kg/cm<sup>2</sup> y MPa de cada adhesivo



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 gráfica superior.

Vemos también de la Fig.86 a la Fig.92 que 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.

11.7.2. Documentación fotográfica después del ensayo de tracción



Fig.86 Ensayo de tracción EPO 150/151

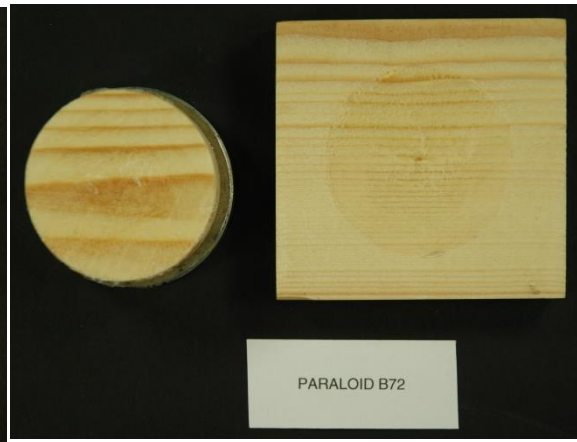


Fig. 87 Ensayo de tracción Paraloid B72



Fig.88 Ensayo de tracción Titebond Ultimate III

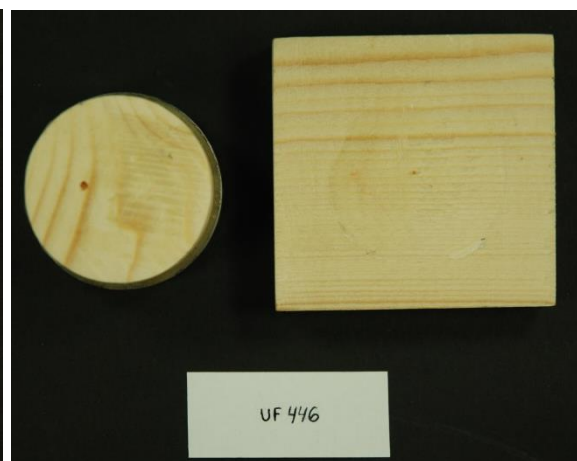


Fig.89 Ensayo de tracción Urea formaldehído 446

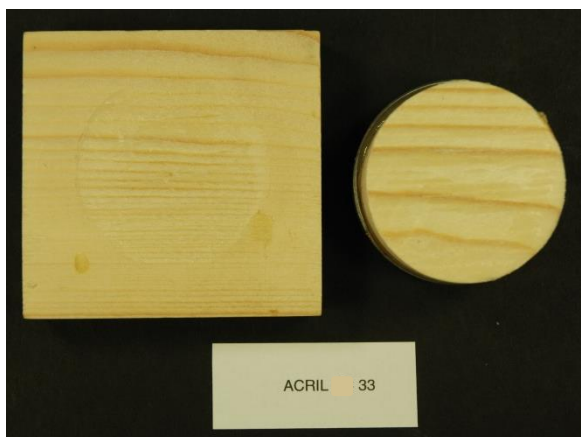


Fig.90 Ensayo de tracción Acril 33

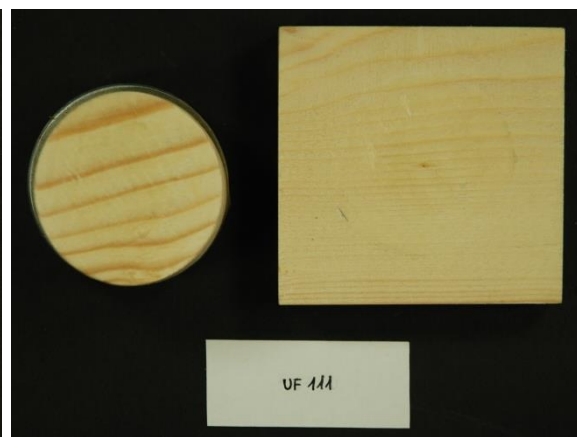
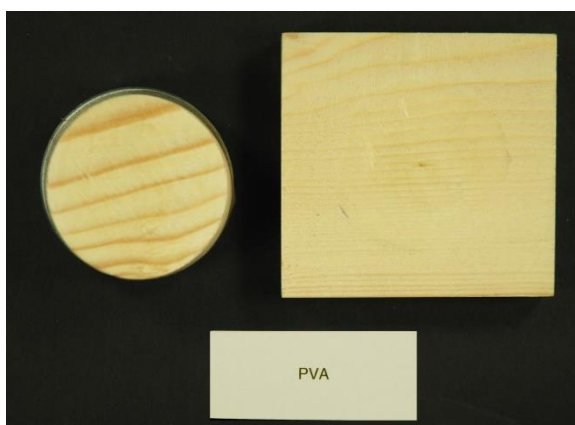





Fig.91 Ensayo de tracción Urea formaldehído 111



**Fig.92** Ensayo de tracci3n PVA

## 11.8. ENSAYO DE REVERSIBILIDAD





### 11.8.1. EPO 150

| ADHESIVO                    | FOTO  | RESULTADO   |
|-----------------------------|---|---|
| ACETONA<br>(AC)             |    | -El adhesivo se ha disuelto por completo, quedando en la madera mínimos restos viscosos.  |
| ETHANOL<br>ABSOLUTE<br>(AL) |   | -El adhesivo se ha diluido completamente dejando en la madera pequeños restos viscosos.   |
| AGUA<br>DESIONIZADA<br>(A)  |  | -El adhesivo se ha quedado en superficie como originalmente, pero ha cambiado su textura hidratándose un poco.<br>- Cambio de color a blanquecino.<br>- Difícil de retirar. |
| XILENO (X)                  |  | -El adhesivo no ha presentado cambios en la superficie pero si ha variado su textura hinchándose ligeramente.   |


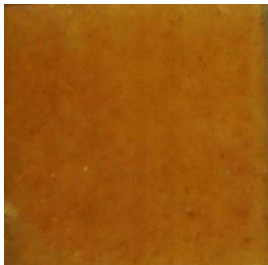
11.8.2. Acril 33

| ADHESIVO                    | FOTO  | RESULTADO   |
|-----------------------------|---|---|
| ACETONA<br>(AC)             |    | -Textura gelificada y viscosa, se hidrata y triplica su tamaño.<br>-Separación total del soporte y fácil eliminación                              |
| ETHANOL<br>ABSOLUTE<br>(AL) |    | -Textura viscosa y gelificada. El adhesivo se ha hidratado triplicando su tamaño.<br>-Separación total del soporte y fácil eliminación            |
| AGUA (A)                    |  | -Se ha hidratado mínimamente<br>-Cambio de color a blanco<br>-No se separa del soporte por sí solo, pero se retira fácil con ayuda de un bisturí. |
| XILENO (X)                  |  | -Textura gelificada y viscosa, se hidrata y triplica su tamaño.<br>-Separación total del soporte y fácil eliminación                              |

11.8.3. Paraloid B72

| ADHESIVO                    | FOTO  | RESULTADO  |
|-----------------------------|---|--|
| ACETONA<br>(AC)             |    | -El adhesivo de ha disuelto por completo quedando la madera vista.                     |
| ETHANOL<br>ABSOLUTE<br>(AL) |    | -El adhesivo ha desaparecido totalmente dejando la madera vista.                       |
| AGUA<br>DESIONIZADA<br>(A)  |  | -El adhesivo se ha quedado igual, sólo ha reblandecido un poco.<br>-Difícil de retirar |
| XILENO (X)                  |  | -El adhesivo de ha disuelto por completo, dejando el soporte visto.                    |

11.8.4. Titebond Ultimate III

| ADHESIVO                    | FOTO  | RESULTADO  |
|-----------------------------|---|--|
| ACETONA<br>(AC)             |    | -El adhesivo se ha quedado en la superficie hidratado y un poco hinchado.<br>-Se retira medianamente fácil toda la capa de forma homogénea con ayuda de un bisturí |
| ETHANOL<br>ABSOLUTE<br>(AL) |    | -El adhesivo se ha quedado en la superficie hidratado mínimamente.<br>- Difícil de retirar   |
| AGUA<br>DESIONIZADA<br>(A)  |  | -El adhesivo ha permanecido en la superficie hidratado e hinchado.<br>-Se retira fácilmente toda la capa de forma homogénea con ayuda de un bisturí                |
| XILENO (X)                  |  | -El adhesivo se ha quedado en la superficie reblandecido mínimamente.<br>- Difícil de retirar  |



11.8.5. PVA

| ADHESIVO                    | FOTO  | RESULTADO  |
|-----------------------------|---|--|
| ACETONA<br>(AC)             |    | <p>-El adhesivo se ha quedado en superficie hidratado e hinchado y en la esquina superior derecha se ha despegado.</p> <p>-Se retira fácilmente toda la capa de forma homogénea con ayuda de un bisturí</p>        |
| ETHANOL<br>ABSOLUTE<br>(AL) |    | <p>-El adhesivo se ha hidratado mínimamente quedando en superficie.</p> <p>- Difícil de retirar</p>  |
| AGUA<br>DESIONIZADA<br>(A)  |  | <p>-El adhesivo ha vuelto a su estado original, quedándose en superficie una capa homogénea que se retira fácilmente con un bisturí. Quedan restos un poco viscosos.</p> <p>-Cambio en el color a blanco opaco</p> |
| XILENO (X)                  |  | <p>-El adhesivo se ha quedado en superficie sin presentar cambios, pero ha cambiado su textura hidratándose un poco.</p> <p>-Se retira fácilmente toda la capa de forma homogénea con ayuda de un bisturí</p>      |

11.8.6. Urea formaldehído 111

| ADHESIVO                    | FOTO  | RESULTADO   |
|-----------------------------|---|---|
| ACETONA<br>(AC)             |    | -El adhesivo se ha quedado igual, sólo ha reblandecido un poco.<br>-Difícil de retirar  |
| ETHANOL<br>ABSOLUTE<br>(AL) |    | -El adhesivo se ha disuelto un poco y ha cambiado su textura volviéndose un poco más lisa.<br>-Eliminación con dificultad media       |
| AGUA<br>DESIONIZADA<br>(A)  |  | -El adhesivo se ha disuelto casi por completo quedando sólo una fina capa.<br>-Fácil eliminación mediante un bisturí y mínima presión |
| XILENO (X)                  |  | -El adhesivo ha desaparecido casi por completo dejando una fina capa.<br>-La textura está un poco quebradiza<br>-Fácil eliminación    |

11.8.7. Urea formaldehído 446

| ADHESIVO                    | FOTO  | RESULTADO   |
|-----------------------------|---|---|
| ACETONA<br>(AC)             |    | -El adhesivo se ha quedado igual, sólo ha reblandecido un poco.<br>-Difícil de retirar  |
| ETHANOL<br>ABSOLUTE<br>(AL) |    | -El adhesivo se ha disuelto un poco y ha cambiado su textura volviéndose un poco más lisa.<br>-Eliminación con dificultad media   |
| AGUA<br>DESIONIZADA<br>(A)  |  | -El adhesivo ha menguado quedando una capa muy fina por eliminar. El resto se ha disuelto.<br>-Cambio en el color a blanquecino<br>- Fácil eliminación mediante un bisturí y mínima presión |
| XILENO (X)                  |  | -El adhesivo se ha disuelto casi por completo quedando sólo una fina capa.<br>-La textura está un poco quebradiza<br>-Fácil eliminación   |

#### 11.8.8. Cambios cromáticos experimentados tras la aplicación de disolventes

Tras realizar el ensayo de reversibilidad por capilaridad, se observaron cambios cromáticos en dos de los siete adhesivos: EPO 150 y Titebond Ultimate III. El cambio cromático más acentuado en los dos adhesivos ha sido provocado por el etanol absoluto, que en ambos casos ha virado a un tono más oscuro y rojizo. En el caso del agua desionizada se aprecia un oscurecimiento menor que el ethanol. Estos resultados podrían ser un tema a desarrollar en futuras investigaciones, donde se podría determinar mediante estudios colorimétricos el grado de variación tonal sufrida en cada adhesivo con un determinado disolvente.



Fig.93 Cambio cromático del EPO 150/151

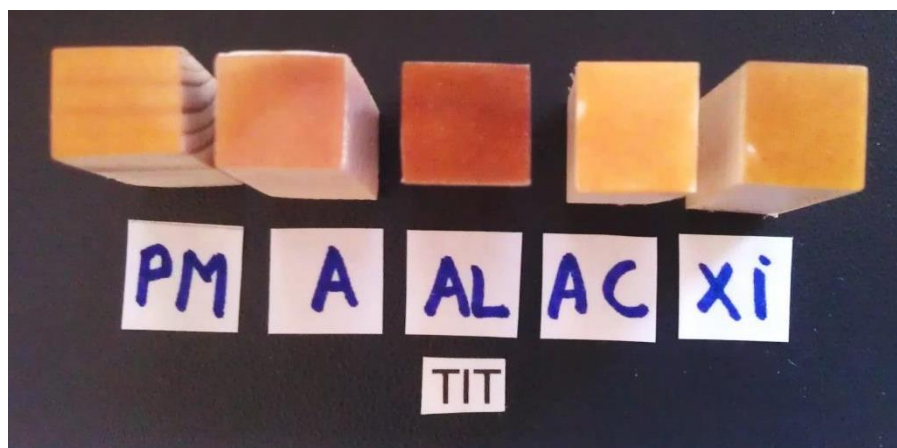


Fig. 94 Cambio cromático del Titebond Ultimate III

### 11.9. PH

#### 11.9.1. Comparativa entre medición de pH con tiras de papel y pH-metro de contacto.

Tabla.19: Mediciones de pH

| ADHESIVOS | PH TIRAS | PH CONTACTO |
|-----------|----------|-------------|
| EPO       | 10       | -           |
| AC        | 7        | 6,94        |
| PB        | 6,5      | -           |
| TIT       | 1        | 3,55        |
| PVA       | 7        | 5,27        |
| UF111     | 7        | 7,13        |
| UF446     | 7        | 7,25        |

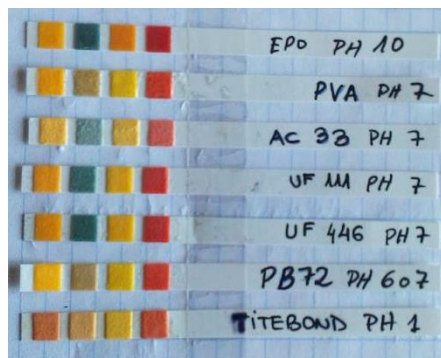
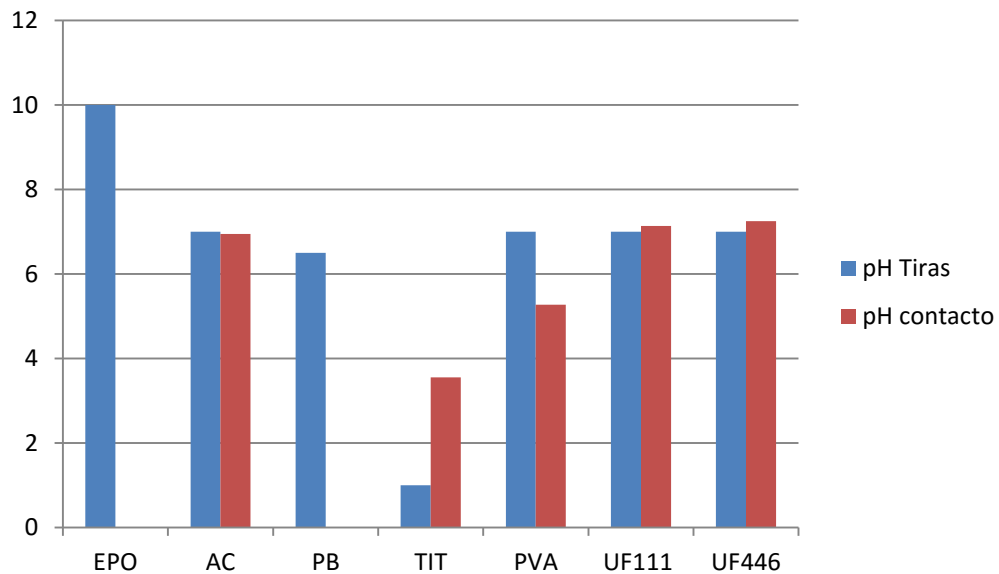


Fig.95 Medición pH mediante tiras de papel

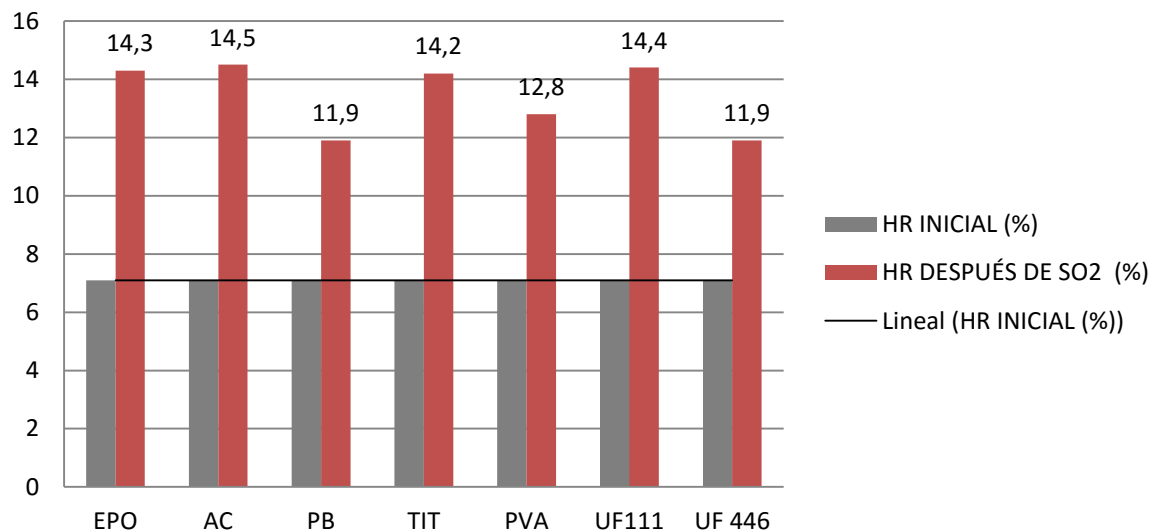
### 11.10. XILOHIGRÓMETRO

Se midió la humedad relativa de cada probeta nada más ser sacadas de la cámara para comparar la humedad relativa original que era 7,1%. Se ha calculado la variación sufrida para así poder determinar que después de una exposición a  $SO_2$ , la madera sufre una humidificación considerable, llegando a duplicar en ocasiones la original.

*Tabla.20: Comparativa entre HR inicial y HR después de la corrosión por  $SO_2$*

| ADHESIVOS | HR INICIAL (%) | HR DESPUÉS DE $SO_2$ (%) | VARIACIÓN (%) |
|-----------|----------------|--------------------------|---------------|
| EPO       | 7,1            | 14,3                     | + 7,2         |
| AC        | 7,1            | 14,5                     | + 7,4         |
| PB        | 7,1            | 11,9                     | + 4,8         |
| TIT       | 7,1            | 14,2                     | + 7,1         |
| PVA       | 7,1            | 12,8                     | + 5,7         |
| UF111     | 7,1            | 14,4                     | + 7,3         |
| UF 446    | 7,1            | 11,9                     | + 4,8         |

**Variación de HR antes y después de la cámara de  $SO_2$**





The background of the slide is a grid of wood panels in various shades of yellow, tan, and brown, with a dark brown panel on the right side. A white rounded rectangle is centered horizontally across the top half of the slide.

# **C**ONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

---

A continuación, se exponen las conclusiones más importantes alcanzadas que se desprenden de los resultados del presente trabajo de fin de máster. Acentuando aquellos aspectos más importantes que ponen de manifiesto los logros obtenidos.

Después preparar las probetas con los adhesivos según los procesos de elaboración previamente establecidos, se han sometido a diferentes tipos de envejecimientos artificiales acelerados, por temperatura y humedad relativa, radiaciones ultravioleta, niveles de abrasión y corrosión por SO<sup>2</sup>.

El envejecimiento acelerado por corrosión ha determinado que el adhesivo que ha sufrido más alteraciones a nivel colorimétrico es el Titebond Ultimate III (con un  $\Delta E^* \approx 12$ ) y el que menos la resina EPO 150 (con un  $\Delta E^* \approx 1$ ).

Los adhesivos sometidos a la cámara de radiación ultravioleta han determinado que aquel que más ha variado en cuanto a cromatismo ha sido el Titebond Ultimate III (con un  $\Delta E^* \approx 33$ ) y el que más estable ha permanecido ha sido la EPO 150 (con un  $\Delta E^* \approx 13$ ).

Las probetas envejecidas mediante la cámara de temperatura han concluido que el que ha soportado mejor los diferentes ciclos establecidos ha sido la Urea Formaldehído 446 (con un  $\Delta E^* \approx 1$ ) y el que más ha modificado es la EPO 150 (con un  $\Delta E^* \approx 5$ ) unidades CIELAB.

En la cámara de humedad relativa, las probetas envejecidas han reaccionado de manera dispar, siendo las que más se han visto afectadas el Acril 33 y el Titebond Ultimate III (con un  $\Delta E^* \approx 10$ ) y la que menos la Urea Formaldehído 111 (con un  $\Delta E^* \approx 1$ ).

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

La reversibilidad ha reaccionado según el tipo de solvente empleado en los diversos adhesivos, siendo el alcohol, la acetona y el xileno los que más reversibles han vuelto al EPO 150, el Acril 33, el Paraloid B72 y el Titebond Ultimate III, y siendo el agua el que antes disolvía el Acetato de Polivinilo, la Urea Formaldehído 111 y la Urea Formaldehído 446.

En cuanto a la medición del pH con os diferentes métodos citados, se concluye que el más neutro es la Urea Formaldehido 111, la más ácida es la EPO 150 y el más base es el Titebond Ultimate III.

El Acril 33 es el adhesivo que más ha variado su humedad relativa y el Paraloid B72 y la Urea Formaldehido 446 los que menos cambios han presentado.

Por último, como conclusión 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 contario el Paraloid B 72 que es el menos adhesivo, más flexible, menos resistente y al que menos afecta el pH al ser envejecido.

# BIBLIOGRAFÍA

ACONDICIONAMIENTO DE LA JUNTA, TIEN  
de acondicionamiento de la junta.

ADHERENTE, *n.*—Un cuerpo que está su  
po por medio de un adhesivo. (Ver  
trato.)

ADHERIRSE, *v.*—Causar que dos superf  
gan unidas por medio de la adhesión

ADHESIÓN ESPECÍFICA—La adhesión en  
cies en donde se mantienen unidas  
del mismo tipo de aqu  
ción. (Ver también  
cánica.)

ADHESIÓN MECÁNICA—La adhesión entr  
en donde un adhesivo detiene las d  
por la acción de interconexión. (Ve  
sión específica.)

ADHESIÓN, *n.*—El estado en que dos su  
tienen unidas por medio de fuerzas i  
pueden consistir en fuerzas de vale  
ción de interconexión o ambas. (Ve  
sión Mecánica y Adhesión Específica)

ADHESIVO DE APLICACIÓN SEPARADA—U  
para describir un adhesivo que cons  
tes, una para ser aplicada a un adh  
al otro adherente y, las dos junta  
de la unión.

ADHESIVO DE DISPERSIÓN—Un sistema  
donde una está en suspensión en u

ADHESIVO DE FRAGUADO A LA TEMPERA  
to—Un adhesivo que fragua a una  
tre 20 y 30°C (68 a 86°F), de acue  
tes de temperatura del cuarto estánd  
en la Standard Methods of Condition  
Electrical Insulating Materials for T  
ción: ASTM; D 618). (Ver tambie  
fraguado en frío; Adhesivos de frag  
te; y Adhesivo de temperatura int  
guado.)

ADHESIVO DE FRAGUADO AL CALOR—Un  
gunas veces se usa como sinónimo  
temperatura intermedia de fraguado  
de temperatura intermedia de fragu

ADHESIVO DE TEMPERATURA INTERMED

## BIBLIOGRAFÍA

---

ARCHÉ, 2006, Publicación Del Instituto Universitario De Restauración Del Patrimonio De La UPV = Journal of the Heritage Conservation Institute of the Polytechnical University of Valencia. *Arché : Publicación Del Instituto Universitario De Restauración Del Patrimonio De La UPV = Journal of the Heritage Conservation Institute of the Polytechnical University of Valencia.; Journal of the Heritage Conservation Institute of the Poly(TRUNCADO) ISSN 1887-3960.*

ARQUILLO TORRES, F., 2001. Las Colas: Adhesivos Naturales y Sintéticos. *Restauración & Rehabilitación*, no. 50, pp. 70-75 DIALNET. ISSN 1134-4571.

BENÍTEZ TELLES, J.E.; OLIVER VILLANUEVA, J.V.; IBIZA PALACIOS, M.S.; MARTÍNEZ RUIZ, G.; GRAFIÁ SALES, J.V.; VIVANCOS RAMÓN, M.V., 2008: *Valoración de los tratamientos de consolidación de madera deteriorada comparando los valores de módulo de elasticidad antes y después de los tratamientos.* Arché, no 3, p. 97-102.

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

BRANDI, C., 2002. *Teoría De La Restauración.* Madrid: Madrid: Alianza.

CALVO, A., 1997. *Conservación y Restauración: Materiales, Técnicas y Procedimientos: De La A a La Z.* Barcelona: Barcelona: Ediciones del Serbal.

Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales 12º, 1998 Alicante., 1998. *XII Congreso De Conservación y Restauración De Bienes Culturales: Alicante, Del 28 Al 31 De octubre 1998.* Asociación de Congresos de Conservación y Restauración de Bienes Culturales ed., (s.l.): s.l.: Asociación de Congresos de Conservación y Restauración de Bienes Culturales.

CONTACTO, D. and SALES, J.V.G. *Proceso De Intervención En La Restauración De Los Modelos Académicos De La Facultad De Bellas Artes.*

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.

GÓMEZ, M.L., 2008. *La Restauración: Examen Científico Aplicado a La Conservación De Obras De Arte.* Instituto del Patrimonio Histórico Español ed., 5ª ed. Madrid: Madrid: Cátedra.

GRAHAM, W., *Ciencia para los restauradores: Materiales, limpieza, adhesivos y recubrimientos*. Traducido por Fuster López, L., Yusa Marco, D.J., Antique Collecto-usa, edición ilustrada, 2012. ISBN: 1904982689.

HAAG, A.P., MAIER, R.M., COMBIE, J. and GEESEY, G.G., 2004. Bacterially Derived Biopolymers as Wood Adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 12, vol. 24, no. 6, pp. 495-502 ISSN 0143-7496.

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

HORTA ZUBIAGA, A., PÉREZ DORADO, A., SÁNCHEZ RENAMAYOR, C., and Fernández de Pierola Martínez de Olkoz, Inés, 2000, *Los Plásticos Más Usados*. eds., Madrid: Madrid: UNED.

INTERNATIONAL MEETING ON, H.C., 2008. *17th International Meeting on Heritage Conservation: 20-22 November Castellón, Vila-Real, Burriana*. P. ROIG PICAZO, M.T. MOLTÓ ORTS and J.C. BERNAL NAVARRO eds., Valencia: Valencia: Fundación de la Comunidad Valenciana La Luz de las Imágenes: Generalitat Valenciana. Conselleria de Cultura i Esport.

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

MÁRQUEZ, P., MATAMOROS, J.B., MIRASOL, J.R. and CORDERO, T., 2004. Los Residuos De La Industria Del Mueble De Madera (I). *Ingeniería Química-Madrid*, no. 412, pp. 118-136.

MARTÍN REY, S., 2008. *Adhesión y Adhesivos En Intervención De Pintura Sobre Lienzo*. J.M.

MARTÍN MARTÍNEZ and Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales eds., Valencia: Valencia: Editorial UPV.

MATTEINI, M., 2008. *La Química En La Restauración: Los Materiales Del Arte Pictórico*. A. MOLES and Andalucía Consejería de Cultura eds., Hondarribia; Sevilla: Hondarribia; Sevilla: Nerea: Consejería de Cultura.

MATTEINI, M., 2001. *Ciencia y Restauración: Método De Investigación*. A. MOLES ed., Sevilla; Hondarribia: Sevilla; Hondarribia: Junta de Andalucía, Consejería de Cultura : Nerea.

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

SANTIAGO, V.P., 2000. *Tecnología De La Madera*. F.J. JIMÉNEZ PERIS and España Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación eds., Madrid: Madrid : Mundi-Prensa : Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

SEDANO ESPÍN, P., 589. Desde Los Materiales Tradicionales a Los Nuevos Materiales y Métodos Aplicados En La Conservación De Obras De Arte. *Arbor*, vol. 169, no. 667-668, pp. 577-589 ISSN 0210-1963.

SIMÓN CORTÉS, J.M., 2012, *Caracterización físico-química de las alteraciones de los paneles devocionales y vía crucis del siglo XVIII en la Comunidad Valenciana*. Universidad Politécnica de Valencia: Valencia ;ISBN:978-849048-016-8.

SKEIST, I. ,1966. *Manual De Adhesivos*. ed., Mexico: Mexico: 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 Restauración del Patrimonio de la UPV.

TARRIO SAAVEDRA, J., NAYA FERNÁNDEZ, S., ARTIAGA DÍAZ, R.and FRANCISCO FERNÁNDEZ, M., 2012. *Evaluación y Clasificación De Materiales: Un Enfoque Estadístico*., 16 Nov, DIALNET.

VIVANCOS RAMÓN, M.V.; PÉREZ MARÍN, E., 2002, *La conservación y restauración de pintura de caballete. Prácticas de pintura sobre tabla*. Editorial UPV, Valencia.

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

## **AGRADECIMIENTOS**

---

Quiero dar las gracias a las diversas personas e instituciones que me han abierto las puertas para la realización de este trabajo. En primer lugar, al Instituto de Restauración del Patrimonio y el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, todo ello no hubiera sido posible sin su participación. En segundo lugar, expresar mi agradecimiento a Laura Osete, Xavier Más i Barberá, Jose Luis Regidor, Sofía Vicente Palomino, José Madrid y Susana Martín Rey, por haber puesto a mi alcance los medios necesarios y haberme asesorado en partes transcendentales de este trabajo.

Agradecer de manera especial y sincera al Dr. José Manuel Simón Cortés, por haberme enseñado a ver las cosas desde otro punto cuando parecía imposible otra opción y descubrirme el valor de transmitir y enseñar conocimientos con pasión y dedicación, disfrutando, incluso riendo, con cada lección aprendida. No pude tener mejor maestro, amigo y confidente.

Al Dr. José Vicente Grafiá Sales y a la Catedrática María Victoria Vivancos Ramón, por la paciencia, espíritu crítico y medios puestos a mi alcance, todo ello ha hecho que este trabajo sea el primero de muchos logros.

Gracias a mis amigos y compañeras de carrera por las risas y momentos vividos durante estos años, han sido de gran ayuda en esos momentos de desánimo.

A toda mi familia, a mis padres y hermana, en especial a mi tía Mila por darme la oportunidad de poder crecer un poco más dándome el aliento que necesitaba para seguir adelante. Habéis estado presentes en toda esta andadura por muy lejos que estuviéseis, espero estéis orgullosos de lo que hemos conseguido juntos.

A mi otra "familia", habéis sido mi apoyo y alegría cuando más lo necesitaba, espero poder compensároslo y seguir disfrutando de tan buenos momentos juntos.

Eterno agradecimiento a aquella persona que me rescató en el camino y me enseñó a vivir.





A stack of four colorful folders (blue, yellow, red, green) is shown against a dark background. The folders are slightly offset, creating a sense of depth. A white rounded rectangle is overlaid on the left side of the stack, containing the word 'ANEXOS' in a bold, brown, sans-serif font.

# ***ANEXOS***

**ANEXOS**

Tabla 21: Comparativa de datos técnicos extraídos de las fichas técnicas de cada producto.

|                                  | <b>EPO 150</b>                       | <b>PARALOID<br/>B72</b>                             | <b>ACRIL 33</b>                             | <b>PVA</b>            | <b>TITEBOND<br/>ULT.III</b>  |
|----------------------------------|--------------------------------------|---|---|-----------------------|------------------------------|
| <b>COMPOSICIÓN<br/>QUIMICA</b>   | Resina epoxi fluida                  | Resina acrílica. Metilacrilato-etilmetacrilato      | Copolimero etil acrilato- metil metacrilato | Acetato de polivinilo | Advanced Proprietary Polymer |
| <b>SOLUBILIDAD</b>               |                                      | Tolueno, xileno, acetona, butil acetato, dowanol PM | Agua  | Agua                  | Agua caliente y fría         |
| <b>ESTADO</b>                    | Líquido                              | Sólido  | Líquido                                     | Líquido-viscoso       | Líquido                      |
| <b>COLOR</b>                     | Transparente                         | Transparente  | Blanquecino-azulado                         | Blanco                | Marrón claro                 |
| <b>PH</b>                        |                                      |   | 9 - 10                                      | 3.5 – 4.5             | 2.5 – 3                      |
| <b>TG (°C)</b>                   |                                      | 40  | 6 -8  |                       |                              |
| <b>VISCOSIDAD</b>                | 500-800mPa-s (25°C)                  |   | 2500/5000 mPa-s (20°C)                      |                       | 4,200 cps.                   |
| <b>DENSIDAD<br/>RELATIVA</b>     |                                      | 9.6 (25°C)  |   | 1.04                  | 1.11                         |
| <b>PTO. EBULLICIÓN<br/>(°C)</b>  | Se descompone antes de la ebullición |   | 100   | 100                   | 98                           |
| <b>RESIST. TRACCIÓN</b>          | 400Kg/cm2                            |   | 35 N/mm2                                    |                       |                              |
| <b>RESIST. FLEXIÓN</b>           | 1000Kg/cm2                           |   |   |                       |                              |
| <b>RESIST.<br/>COMPRESIÓN</b>    | 1220Kg/cm2                           |   |   |                       |                              |
| <b>TIEMPO.<br/>LABORABILIDAD</b> | 30-50 min (200gr A 25°C)             |   |   |                       |                              |
| <b>MODO DE<br/>APLICACIÓN</b>    | Inyección o espátula                 | Espátula  | Brocha                                      | Espátula              |                              |
| <b>MARCA O CASA</b>              | CTS                                  | CTS   | CTS   | RAYT                  |                              |

Tabla 22: de conversión léxica para ensayos colorimétricos.

| CYAN   |          |
|--|----------|
| Esmeralda(180°)-CYAN (210°)- Turquesa (240°) |          |
| Croma  | Léxico   |
| 1-7  | Grisáceo |
| 7-25   | Débil    |
| 25-45  | Medio    |
| 45-60  | Vivo     |
| 60-80  | Puro     |

| ROJO / VERDE /PURPURA   |          |
|---|----------|
| Magenta(0°)- ROJO(30°)- naranja(60°)<br>Limón(120°) –VERDE (150°)- esmeralda(180°)<br>Violeta(300°) – PURPURA(330°)- magenta (360°) |          |
| Croma   | Léxico   |
| 1-7   | Grisáceo |
| 7-25  | Débil    |
| 25-45   | Medio    |
| 45-65   | Vivo     |
| 65-80   | Puro     |

| AZUL  |          |
|---|----------|
| Turquesa(240°)- AZUL (270°)- Violeta (300°) |          |
| Croma                                       | Léxico   |
| 1-9   | Grisáceo |
| 9-25  | Débil    |
| 25-45                                       | Medio    |
| 45-65                                       | Vivo     |
| 65-80                                       | Puro     |

| AMARILLO                                  |          |
|---|----------|
| Naranja(60°) –AMARILLO(90°)- Limón (120°) |          |
| Croma                                     | Léxico   |
| 1-7                                       | Grisáceo |
| 7-25                                      | Débil    |
| 25-45                                     | Medio    |
| 45-65                                     | Fuerte   |
| 65-80                                     | Vivo     |
| 80-100                                    | Puro     |

| TONOS            |                         |
|------------------|-------------------------|
| Angulo en grados | Léxico                  |
| 357-4            | <b>MAGENTA</b>          |
| 4-11             | Magenta rojizo          |
| 11-19            | <b>Magenta-Rojo</b>     |
| 19-27            | Rojo magentado          |
| 27-34            | <b>ROJO</b>             |
| 34-41            | Rojo anaranjado         |
| 41-49            | <b>Rojo-Naranja</b>     |
| 49-57            | Naranja rojizo          |
| 57-64            | <b>NARANJA</b>          |
| 64-71            | Naranja amarillento     |
| 71-79            | <b>Naranja-Amarillo</b> |
| 79-87            | Amarillo anaranjado     |
| 87-94            | <b>AMARILLO</b>         |
| 94-101           | Amarillo limonado       |
| 101-109          | <b>Amarillo-Limón</b>   |
| 109-117          | Limón amarillento       |
| 117-124          | <b>LIMON</b>            |
| 124-131          | Limón verdoso           |
| 131-139          | <b>Limón-Verde</b>      |
| 139-147          | Verde limonado          |
| 147-153          | <b>VERDE</b>            |
| 153-161          | Verde esmeraldado       |
| 161-169          | <b>Verde-Esmeralda</b>  |
| 169-177          | Esmeralda verdoso       |
| 177-184          | <b>ESMERALDA</b>        |
| 184-191          | Esmeralda cyanado       |
| 191-199          | <b>Esmeralda-Cyan</b>   |
| 199-207          | Cyan esmeraldado        |

| CLARIDADES   |              |
|--------------|--------------|
| L = Claridad | Nomenclatura |
| 86-100       | BLANCO       |
| 75-86        | Muy claro    |
| 56-75        | Claro        |
| 35-56        | Medio        |
| 20-35        | Oscuro       |
| 11-20        | Muy oscuro   |
| 0-11         | NEGRO        |

Tabla 23: Tabla de conversión para sufrideras de Ø20mm y Ø50mm

| Lectura equipo | Sufridera de Ø20mm |                     | Sufridera de Ø50mm |                     |             |
|----------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------|
|                | Kgf                | Kgf7cm <sup>2</sup> | MPa                | Kgf7cm <sup>2</sup> | MPa         |
| 10             |                    | 3.18                | 0.31               | 0.51                | 0.05        |
| 20             |                    | 6.37                | 0.62               | 1.02                | 0.10        |
| 30             |                    | 9.55                | 0.94               | 1.53                | 0.15        |
| 40             |                    | 12.73               | 1.25               | 2.04                | 0.20        |
| 50             |                    | 15.92               | 1.56               | 2.55                | 0.25        |
| 60             |                    | 19.10               | 1.87               | 3.06                | 0.30        |
| 70             |                    | 22.28               | 2.18               | 3.57                | 0.35        |
| 80             |                    | 25.46               | 2.50               | 4.07                | 0.40        |
| 90             |                    | 28.65               | 2.81               | 4.58                | 0.45        |
| 100            |                    | 31.83               | 3.12               | 5.09                | 0.50        |
| 120            |                    | 38.20               | 3.74               | 6.11                | 0.60        |
| 140            |                    | 44.56               | 4.37               | 7.13                | 0.70        |
| 160            |                    | 50.93               | 4.99               | 8.15                | 0.80        |
| 180            |                    | 57.30               | 5.61               | 9.17                | 0.90        |
| 200            |                    | 63.66               | 6.24               | 10.19               | 1.00        |
| 220            |                    | 70.03               | 6.86               | 11.20               | 1.10        |
| 240            |                    | 76.39               | 7.49               | 12.22               | 1.20        |
| 260            |                    | 82.76               | 8.11               | 13.24               | 1.30        |
| 280            |                    | 89.13               | 8.73               | 14.26               | 1.40        |
| 300            |                    | 95.49               | 9.36               | 15.28               | 1.50        |
| 320            |                    | 101.86              | 9.98               | 16.30               | 1.60        |
| 340            |                    | 108.23              | 10.61              | 17.32               | 1.70        |
| 360            |                    | 114.59              | 11.23              | 18.33               | 1.80        |
| 380            |                    | 120.96              | 11.85              | 19.35               | 1.90        |
| 400            |                    | 127.32              | 12.48              | 20.37               | 2.00        |
| 450            |                    | 143.24              | 14.04              | 22.92               | 2.25        |
| 500            |                    | 159.15              | 15.60              | 25.46               | 2.50        |
| 550            |                    | 175.07              | 17.16              | 28.01               | 2.75        |
| 600            |                    | 190.99              | 18.72              | 30.56               | 2.99        |
| 650            |                    | 206.90              | 20.28              | 33.10               | 3.24        |
| 700            |                    | 222.82              | 21.84              | 35.65               | 3.49        |
| 750            |                    | 238.73              | 23.40              | 38.20               | <b>3.74</b> |
| 800            |                    | 254.65              | 24.96              | 40.74               | 3.99        |
| 850            |                    | 270.56              | 26.52              | 43.29               | 4.24        |
| 900            |                    | 286.48              | 28.07              | 45.84               | 4.49        |

|             |               |              |              |             |
|-------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| 950         | 302.39        | 29.63        | 48.38        | 4.74        |
| <b>1000</b> | <b>318.31</b> | <b>31.19</b> | <b>50.93</b> | <b>4.99</b> |

**Tensi3n de rotura = F / A** (F: Fuerza; A: 3rea de la sufridera)

Para Kg/cm<sup>2</sup>, F en Kgf y A en cm<sup>2</sup>, y para megapascales MPa, F en N y A en mm<sup>2</sup>.

**Sufridera de Ø20mm:** Kg/cm<sup>2</sup>=Kgf /  $\pi$  - **MPa**=Kgf x 9.8 /  $\pi$  x 10<sup>2</sup> = Kg/cm<sup>2</sup> x 9.8/100

**Sufridera de Ø50mm:** Kg/cm<sup>2</sup>=Kgf /  $\pi$  x 2.5<sup>2</sup> - **MPa**=Kgf x 9.8 /  $\pi$  x 25<sup>2</sup> = Kg/cm<sup>2</sup> x 9.8/100

Tabla 24 : Valores de variación de las coordenadas L\*, C\*, h° con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ) correspondientes al ensayo de corrosión.

| Nombre | L*(1) | CLARIDAD  | L* (2) | CLARIDAD  | C*(1) | CROMA | C* (2) | CROMA | h° (1) | TONO                | h° (2) | TONO                | $\Delta E_{ab}^*$ |    |
|--------|-------|-----------|--------|-----------|-------|-------|--------|-------|--------|---------------------|--------|---------------------|-------------------|----|
| TIT    | 54,15 | Claro     | 63,86  | Claro     | 42,52 | Medio | 36,04  | Medio | 65,79  | Naranja amarillento | 69,64  | Naranja amarillento | 12,01             | 7º |
| UF 446 | 78,28 | Muy claro | 78,69  | Muy claro | 23,58 | Débil | 29,51  | Medio | 80,07  | Amarilo anaranjado  | 78,20  | Naranja amarillento | 6,00              | 6º |
| UF 111 | 79,16 | Muy claro | 81,92  | Muy claro | 23,44 | Débil | 27,76  | Medio | 80,69  | Amarilo anaranjado  | 79,35  | Amarilo anaranjado  | 5,17              | 5º |
| PB     | 79,59 | Muy claro | 76,94  | Muy claro | 22,30 | Débil | 23,85  | Débil | 81,27  | Amarilo anaranjado  | 80,45  | Amarilo anaranjado  | 3,09              | 4º |
| PVA    | 81,02 | Muy claro | 83,44  | Muy claro | 18,47 | Débil | 20,35  | Débil | 81,26  | Amarilo anaranjado  | 81,10  | Amarilo anaranjado  | 3,07              | 3º |
| AC     | 81,70 | Muy claro | 83,67  | Muy claro | 24,72 | Débil | 25,87  | Medio | 80,25  | Amarilo anaranjado  | 81,12  | Amarilo anaranjado  | 2,31              | 2º |
| EPO    | 77,08 | Muy claro | 77,94  | Muy claro | 28,08 | Medio | 28,07  | Medio | 84,05  | Amarilo anaranjado  | 85,70  | Amarilo anaranjado  | 1,17              | 1º |

Tabla 25: Valores de variación de las coordenadas L\*, C\*, h° con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ) correspondientes al ensayo de ultravioleta.

| Nombre | L*(1) | CLARIDAD  | L* (2) | CLARIDAD | C*(1) | CROMA | C* (2) | CROMA  | h° (1) | TONO                | h° (2) | TONO                | $\Delta E_{ab}^*$ |    |
|--------|-------|-----------|--------|----------|-------|-------|--------|--------|--------|---------------------|--------|---------------------|-------------------|----|
| TIT    | 54,15 | Medio     | 32,58  | oscuro   | 42,52 | medio | 23,35  | debil  | 65,79  | naranja amarillento | 35,63  | rojo anaranjado     | 33,01             | 7º |
| PB     | 79,59 | muy claro | 65,95  | claro    | 22,30 | debil | 47,98  | fuerte | 81,27  | amarillo anaranjado | 74,10  | naranja-amarillo    | 29,36             | 6º |
| PVA    | 81,02 | muy claro | 67,95  | claro    | 18,47 | debil | 43,71  | medio  | 81,26  | amarillo anaranjado | 71,06  | naranja-amarillo    | 28,82             | 5º |
| AC     | 81,70 | muy claro | 64,17  | claro    | 24,72 | debil | 46,36  | fuerte | 80,25  | amarillo anaranjado | 75,11  | naranja-amarillo    | 28,02             | 4º |
| UF 446 | 78,28 | muy claro | 66,58  | claro    | 23,58 | debil | 38,24  | medio  | 80,07  | amarillo anaranjado | 70,98  | naranja amarillento | 19,35             | 3º |
| UF 111 | 79,16 | muy claro | 67,82  | claro    | 23,44 | debil | 35,81  | medio  | 80,69  | amarillo anaranjado | 70,82  | naranja amarillento | 17,50             | 2º |
| EPO    | 77,08 | muy claro | 68,58  | claro    | 28,08 | medio | 36,02  | medio  | 84,05  | amarillo anaranjado | 71,70  | naranja-amarillo    | 13,49             | 1º |

Tabla 26: Valores de variación de las coordenadas L\*, C\*, h° con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ) correspondientes al ensayo de temperatura.

| Nombre | L*(1) | CLARIDAD  | L* (2) | CLARIDAD  | C*(1) | CROMA | C* (2) | CROMA | h° (1) | TONO                | h° (2) | TONO                | $\Delta E_{ab}^*$ |    |
|--------|-------|-----------|--------|-----------|-------|-------|--------|-------|--------|---------------------|--------|---------------------|-------------------|----|
| EPO    | 77,08 | Muy claro | 73,88  | Claro     | 28,08 | Medio | 31,45  | Medio | 84,05  | Amarillo anaranjado | 83,55  | Amarillo anaranjado | 4,65              | 7º |
| TIT    | 54,15 | Medio     | 53,00  | Medio     | 42,52 | Medio | 38,89  | Medio | 65,79  | Naranja amarillento | 65,32  | Naranja amarillento | 3,82              | 6º |
| PVA    | 81,02 | Muy claro | 79,11  | Muy claro | 18,47 | Débil | 20,46  | Débil | 81,26  | Amarillo anaranjado | 79,66  | Amarillo anaranjado | 2,81              | 5º |
| PB     | 79,59 | Muy claro | 81,60  | Muy claro | 22,30 | Débil | 22,02  | Débil | 81,27  | Amarillo anaranjado | 82,34  | Amarillo anaranjado | 2,07              | 4º |
| AC     | 81,70 | Muy claro | 80,03  | Muy claro | 24,72 | Débil | 25,65  | Medio | 80,25  | Amarillo anaranjado | 79,78  | Amarillo anaranjado | 1,93              | 3º |
| UF 111 | 79,16 | Muy claro | 80,59  | Muy claro | 23,44 | Débil | 22,50  | Débil | 80,69  | Amarillo anaranjado | 82,82  | Amarillo anaranjado | 1,91              | 2º |
| UF 446 | 78,28 | Muy claro | 78,25  | Muy claro | 23,58 | Débil | 22,75  | Débil | 80,07  | Amarillo anaranjado | 81,46  | Amarillo anaranjado | 1,01              | 1º |

Tabla 27: Valores de variación de las coordenadas L\*, C\*, h° con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ) correspondientes al ensayo de humedad.

| Nombre | L*(1) | CLARIDAD  | L* (2) | CLARIDAD  | C*(1) | CROMA | C* (2) | CROMA | h° (1) | TONO                | h° (2) | TONO                | $\Delta E_{ab}^*$ |    |
|--------|-------|-----------|--------|-----------|-------|-------|--------|-------|--------|---------------------|--------|---------------------|-------------------|----|
| AC     | 81,70 | Blanco    | 80,44  | muy claro | 24,72 | debil | 25,47  | medio | 80,25  | amarillo anaranjado | 79,60  | amarillo anaranjado | 10,27             | 7º |
| TIT    | 54,15 | Medio     | 48,52  | medio     | 42,52 | medio | 35,28  | medio | 65,79  | naranja amarillento | 61,70  | naranja             | 9,55              | 6º |
| PVA    | 81,02 | Muy claro | 78,87  | muy claro | 18,47 | debil | 20,02  | debil | 81,26  | amarillo anaranjado | 79,79  | amarillo anaranjado | 6,90              | 5º |
| EPO    | 77,08 | muy claro | 73,40  | claro     | 28,08 | medio | 30,59  | medio | 84,05  | amarillo anaranjado | 82,48  | amarillo anaranjado | 5,32              | 4º |
| PB     | 79,59 | Blanco    | 75,59  | muy claro | 22,30 | debil | 24,03  | debil | 81,27  | amarillo anaranjado | 79,87  | naranja-amarillo    | 4,43              | 3º |
| UF 446 | 78,28 | Muy claro | 76,43  | muy claro | 23,58 | debil | 23,13  | debil | 80,07  | amarillo anaranjado | 79,93  | amarillo anaranjado | 3,71              | 2º |
| UF 111 | 79,16 | muy claro | 79,77  | muy claro | 23,44 | debil | 23,94  | debil | 80,69  | amarillo anaranjado | 82,11  | amarillo anaranjado | 1,31              | 1º |

## ÍNDICE DE IMÁGENES

|   |        |
|---|--------|
| Fig.1. Punta de lanza paleolítica hecha con madera                                    | Pág.23 |
| Fig.2. Sarcófago de madera elaborado entre el 672 y el 525 a.C para Taremetchenbastet | Pág.24 |
| Fig.3 y 4. Retrato de Al Fayum y retrato de Al Fayum en una tumba                     | Pág.25 |
| Fig.5. Taller Rafael Grafiá   | Pág.26 |
| Fig.6. Proceso de secado de la madera   | Pág.28 |
| Fig.7. Cortes de la madera  | Pág.28 |
| Fig.8. Movimientos de la madera según el corte  | Pág.28 |
| Fig.9. Ensamble de acoplamiento   | Pág.30 |
| Fig.10. Partes de un tablón de madera   | Pág.30 |
| Fig.11 y 12. Distribución de los anillos para el encolado de tablonos                 | Pág.31 |
| Fig.13 y 14. Encolado de tablonos   | Pág.32 |
| Fig. 15. Microestructura de la madera de conífera                                     | Pág.36 |
| Fig.16. Partes constituyentes de un tronco en sección transversal                     | Pág.37 |
| Fig.17. Microfotografía corte transversal del abeto blanco, 40x                       | Pág.38 |
| Fig.18. Microfotografía corte radial del abeto blanco, 20x                            | Pág.38 |
| Fig.19. Microfotografía corte tangencial del abeto blanco, 40x                        | Pág.38 |
| Fig. 20 y 21. Acetato de polivinilo y su envase comercial de la casa Rayt             | Pág.39 |
| Fig.22. Estructura química del acetato de polivinilo                                  | Pág.40 |
| Tabla.1. Propiedades físico-mecánicas del PVAc  | Pág.40 |
| Fig.23. Solubilidad del acetato de polivinilo (PVAc)                                  | Pág.41 |
| Fig.24 Resina EPO-150 y endurecedor K-151   | Pág.42 |
| Fig.25. Estructura química de resinas epoxi a base de bisfenol- A                     | Pág.42 |
| Tabla.2. Propiedades físico-mecánicas del EPO 150                                     | Pág.43 |
| Fig.26. Solubilidad de las resinas epoxi  | Pág.43 |
| Fig.27. Aspecto comercial del adhesivo Titebond Ultimate III                          | Pág.44 |
| Tabla.3. Propiedades físico-mecánicas del Titebond Ultimate III                       | Pág.44 |
| Fig.28. Granos de Paraloid B72 sin diluir   | Pág.45 |
| Fig.29. Solubilidad del Paraloid B72  | Pág.46 |
| Tabla.4. Propiedades físico-químicas del Paraloid B72                                 | Pág.47 |
| Fig.30. Estructura química del Paraloid B72   | Pág.47 |
| Fig.31. Disolución del Paraloid B72 en xileno   | Pág.48 |
| Fig 32 y 33. Acril 33 y su envase comercial de la casa CTS España S.L.                | Pág.48 |
| Tabla.5. Propiedades físico-mecánicas del Acril 33                                    | Pág.49 |
| Fig.34. Urea formaldehído 446 y 111   | Pág.50 |
| Fig.35. Estructura química de la resina de Urea-formaldehído                          | Pág.51 |
| Tabla.6. Capas de adhesivo por probeta y método de aplicación                         | Pág.52 |
| Fig.36. Probetas iniciales  | Pág.52 |
| Fig.37. Lijado de probetas  | Pág.52 |

|  |        |
|--|--------|
| Fig.38. Aplicación Acril 33 con brocha   | Pág.52 |
| Fig.39. Aplicación PVA con espátula  | Pág.52 |
| Tabla.7. Fórmula de la silicona empleada en los moldes para las probetas de flexibilidad   | Pág.53 |
| Fig.40. Molde de silicona usado en la realización de las probetas de flexibilidad  | Pág.54 |
| Fig.41. Aplicación Acril 33 en molde de silicona para las probetas de flexibilidad   | Pág.54 |
| Fig.42. Preparación probetas de flexibilidad   | Pág.54 |
| Fig.43. Probetas de flexibilidad   | Pág.54 |
| Tabla.8. Número y diseño de las probetas según cada ensayo   | Pág.55 |
| Fig.44. Aplicación adhesivo en probetas de tracción  | Pág.56 |
| Fig.45. Prensado de las probetas   | Pág.56 |
| Fig.46. Probeta de tracción  | Pág.56 |
| Fig.47 y 48. Probetas de reversibilidad cortadas   | Pág.57 |
| Tabla 9. Nomenclatura de adhesivos   | Pág.57 |
| Tabla 10. Nomenclatura de análisis realizados  | Pág.58 |
| Fig.49. Ensayo de colorimetría   | Pág.61 |
| Tabla.11. Probetas de Linear abraser:  | Pág.62 |
| Fig 50 y 51 . Ensayo de abrasión con Linear Abraser a diferentes ciclos  | Pág.63 |
| Fig.52. Microtest Deben-Gatan  | Pág.64 |
| Fig.53 y 54. Ensayo de flexibilidad del Titebond Ultimate III  | Pág.65 |
| Fig.55. Máquina de tracción Neurtek KN-10  | Pág.66 |
| Fig.56. Sufridera metálica de Ø50mm y Araldite Standart  | Pág.66 |
| Fig.57. Probetas sometidas a fuerzas de tracción   | Pág.67 |
| Fig.58. Soporte, sufridera y mordaza de sujeción   | Pág.67 |
| Tabla.12. Propiedades de los disolventes usados en el ensayo de reversibilidad.  | Pág.69 |
| Fig.59. Probetas de reversibilidad sumergidas en Xileno  | Pág.69 |
| Fig.60. Probetas de reversibilidad una vez se han sometido   | Pág.69 |
| Fig.61-63 .Mediciones de pH mediante tiras de papel en diferentes adhesivos  | Pág.70 |
| Fig.64. Medición de pH mediante pH-metro de contacto   | Pág.71 |
| Fig.65. Medición de la HR de la madera mediante xilohigrómetro   | Pág.72 |
| Fig.66. Cámara de corrosión por SO <sub>2</sub>  | Pág.73 |
| Fig.67. Cámara de radiación ultravioleta   | Pág.74 |
| Fig.68. Probetas dentro de la cámara de UV   | Pág.74 |
| Fig.69. Probetas dentro de la cámara de T <sup>a</sup> y HR  | Pág.76 |
| Tabla: 13. Valores de variación de las coordenadas L*, a*, b* con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ) correspondientes al ensayo de corrosión.  | Pág.79 |
| Corrosión. Diagrama CIELAB antes y después (SCI)   | Pág.80 |
| Diferencia antes – después L* C* h°  | Pág.81 |
| Tabla:14 Valores de variación de las coordenadas L*, a*, b* con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ) correspondientes al ensayo de ultravioleta. | Pág.82 |



|   |        |
|---|--------|
| Ultravioleta. Diagrama CIELAB antes y después (SCI)   | Pág.82 |
| Diferencia antes – después $L^* C^* h^\circ$  | Pág.83 |
| Tabla:15 Valores de variación de las coordenadas $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ) correspondientes al ensayo de temperatura.      | Pág.85 |
| Temperatura. Diagrama CIELAB antes y después (SCI)  | Pág.85 |
| Diferencia antes – después $L^* C^* h^\circ$  | Pág.86 |
| Tabla:16 Valores de variación de las coordenadas $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ) correspondientes al ensayo de humedad relativa. | Pág.87 |
| Humedad relativa. Diagrama CIELAB antes y después (SCI)   | Pág.87 |
| Diferencia antes – después $L^* C^* h^\circ$  | Pág.88 |
| Tabla.17 Resultados de la prueba de abrasión  | Pág.90 |
| Fig.70 Microfotografías de la probeta EPO/PM, 25x y 80x   | Pág.91 |
| Fig.71 Microfotografías de la probeta EPO/A, 20x, sometida a 10-30-60 ciclos/min de abrasión  | Pág.91 |
| Fig.72 Microfotografías de la probeta EPO/A, 80x, sometida a 10-30-60 ciclos/min de abrasión  | Pág.91 |
| Fig.73 Microfotografías de la probeta AC/PM, 25x y 80x  | Pág.92 |
| Fig.74 Microfotografías de la probeta AC/A, 20x, sometida a 10-20-30 ciclos/min de abrasión   | Pág.92 |
| Fig.75 Microfotografías de la probeta AC/A, 80x, sometida a 10-20-30 ciclos/min de abrasión   | Pág.92 |
| Fig.76 Microfotografías de la probeta PB/PM, 25x y 80x  | Pág.92 |
| Fig.77 Microfotografías de la probeta PB/A, 20x, sometida a 5-15-22 ciclos/min de abrasión  | Pág.93 |
| Fig.78 Microfotografías de la probeta PB/A, 80x, sometida a 5-15-22 ciclos/min de abrasión  | Pág.93 |
| Fig.79 Microfotografías de la probeta TIT/PM, 25x y 80x   | Pág.93 |
| Fig.80 Microfotografías de la probeta TIT/A, 20x, sometida a 10-20-30 ciclos/min de abrasión  | Pág.93 |
| Fig.81 Microfotografías de la probeta TIT/A, 80x, sometida a 10-20-30 ciclos/min de abrasión  | Pág.94 |
| Fig.82 Microfotografías de la probeta PVA/PM, 25x y 80x   | Pág.94 |
| Fig.83 Microfotografías de la probeta PVA/A, 20x, sometida a 7-15-22 ciclos/min de abrasión   | Pág.94 |
| Fig.84 Microfotografías de la probeta PVA/A, 80x, sometida a 7-15-22 ciclos/min de abrasión   | Pág.94 |
| Fig.85 Probetas de abrasión sometidas al Linear Abraser   | Pág.95 |
| Tabla.18: Resultados de la prueba de tracción en $Kgf/cm^2$ y MPa   | Pág.98 |
| Valores de tracción en $Kgf/cm^2$ y MPa de cada adhesivo  | Pág.98 |
| Fig.86 Ensayo de tracción EPO 150/151   | Pág.99 |

|  |         |
|--|---------|
| Fig.87 Ensayo de tracción Paraloid B72   | Pág.99  |
| Fig.88 Ensayo de tracción Titebond Ultimate III  | Pág.99  |
| Fig.89 Ensayo de tracción Urea formaldehído 446  | Pág.99  |
| Fig.90 Ensayo de tracción Acril 33   | Pág.99  |
| Fig.91 Ensayo de tracción Urea formaldehído 111  | Pág.99  |
| Fig.92 Ensayo de tracción PVA  | Pág.100 |
| Fig.93 Cambio cromático del EPO 150/151  | Pág.108 |
| Fig. 94 Cambio cromático del Titebond Ultimate III   | Pág.108 |
| Tabla.19: Mediciones de pH   | Pág.109 |
| Fig.95 Medición pH mediante tiras de papel   | Pág.109 |
| Tabla.20: Comparativa entre HR inicial y HR después de la corrosión por $SO^2$   | Pág.110 |
| Tabla 21: Comparativa de datos técnicos extraídos de las fichas técnicas de cada producto.   | Pág.122 |
| Tabla 22: de conversión léxica para ensayos colorimétricos.  | Pág.123 |
| Tabla 23: Tabla de conversión para sufrideras de $\varnothing 20\text{mm}$ y $\varnothing 50\text{mm}$   | Pág.124 |
| Tabla 24: Valores de variación de las coordenadas $L^*$ , $C^*$ , $h^\circ$ con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ) correspondientes al ensayo de corrosión.    | Pág.126 |
| Tabla 25: Valores de variación de las coordenadas $L^*$ , $C^*$ , $h^\circ$ con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ) correspondientes al ensayo de ultravioleta. | Pág.126 |
| Tabla 26: Valores de variación de las coordenadas $L^*$ , $C^*$ , $h^\circ$ con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ) correspondientes al ensayo de temperatura.  | Pág.126 |
| Tabla 27: Valores de variación de las coordenadas $L^*$ , $C^*$ , $h^\circ$ con SCI y variación de color total ( $\Delta E_{ab}^*$ ) correspondientes al ensayo de humedad       | Pág.126 |

