

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

FACULTAD DE BELLAS ARTES

Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales



**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE
ESTABILIZACIÓN PARA UNA PINTURA
SOBRE TABLA DEL S.XVIII**

TESINA FINAL DE MASTER

Autor: Maria Borrallo Gaitán

Tutores: Eva Perez Marín
Jose Manuel Barros Garcia

Valencia 2011

ÍNDICE

1. Introducción	p.1
2. Objetivos	p.2
3. Metodología	p.3
4. Características y propiedades de la madera	
4.1. Composición de la madera.	p.4
4.2. Estructura macroscópica.	p.4
4.3. Clasificación de las maderas.	p.5
4.4. Propiedades físicas.	p.6
4.5. Propiedades mecánicas.	p.9
5. Construcción de paneles	p.10
6. Evolución de los sistemas de refuerzo	p.13
6.1. Antiguos referentes: originales.	p.13
6.2. Antiguos referentes: no originales.	p.17
6.2.1. Engatillados.	p.17
7. Sistema de refuerzo contemporáneos	p.19
7.1. Bastidores.	
7.1.1. Bastidor perimetral con puntos de fijación elásticos.	p.21
7.1.2. Bastidor perimetral laminado con puntos de fijación elásticos.	p.22
7.1.3. Bastidor perimetral laminado con puntos de fijación elásticos y empleo de fibra de carbono.	p.23
7.2. Travesaños.	
7.2.1. Travesaños con puntos de fijación elásticos.	p.24
7.2.2. Travesaños con barras de acero y puentes de plexiglás. Sistema elástico.	p.25
7.2.3. Travesaño móvil basado en juntas elásticas.	p.27
7.2.4. Travesaño elástico laminado con muelles helicoidales.	p.29
7.2.5. Travesaño elástico laminado con muelle recto y sistema deslizante.	p.30
7.3. Marcos.	
7.3.1. Marco perimetral y soporte de apoyo flotante flexible.	p.31
7.3.2. Marco perimetral y soporte de apoyo flexible.	p.32
7.4. Vitrinas.	p.34
8. Descripción de la obra de estudio	p.37
8.1. Ficha técnica.	p.37
8.2. Aspectos técnicos.	p.38
9. Sistemas de medición	p.42
9.1. Comparador centesimal.	p.42
9.2. Calibrador con indicador de cuadrante o carátula.	p.43
10. Resultados obtenidos	p.45
11. Propuesta de un sistema de estabilización	p.55
12. Conclusiones	p.63
13. Bibliografía	p.66

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que más ha preocupado a lo largo de la historia en la pintura sobre tabla son los cambios dimensionales que sufren las maderas. Estos cambios están muy relacionados con las propiedades y características de la madera, además de por las condiciones ambientales en las que se han encontrado la obra. En la mayoría de los casos son el comienzo de numerosos daños, como grietas, fendas, craqueladuras, desunión de los paños, etc. En este estudio se realiza una revisión bibliográfica del soporte de madera y de los sistemas de refuerzo más relevantes aplicados a dicho soporte.

El estudio analiza con mayor profundidad los sistemas de estabilización más contemporáneos. Estos sistemas aparecen como respuesta a la necesidad de crear sistemas menos invasivos y rígidos aplicados con anterioridad. Un ejemplo de esto es el uso del engatillado, muy empleado durante varios siglos, y que resultó en muchas ocasiones muy dañino para las obras. A partir del siglo XX comienzan aparecer nuevos sistemas empleando elementos flexibles. Con propiedades flexibles que absorben muy bien las tensiones que sufre la madera. Ya no solo se encuentran travesaños, también se emplean bastidores o marcos perimetrales. También se emplean protecciones en el reverso para evitar el contacto directo de la obra con el ambiente, a través de materiales como plexiglás, policarbonato, metacrilato, contrachapados, etc.

Todo este estudio va encaminado a realizar un sistema de estabilización apropiado para “La Trinidad” una tabla del S.XVIII. Se escoge esta tabla por las grandes variaciones dimensionales que sufre, por lo que existe la necesidad de crear un sistema que disminuya considerablemente dichas variaciones. Para diseñar un sistema adecuado es necesario hacer un seguimiento de la obra, de esta manera se puede saber qué nivel de sensibilidad tiene frente a los cambios de humedad y temperatura.

La necesidad de encontrar sistemas de estabilización adecuados para las pinturas sobre tabla se ha acentuado con el paso del tiempo. Se está trabajando en diversos centros de investigación como es en el Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze, en el Istituto Centrale per il Restauro de Roma, en la Getty, en el Museo del Prado, etc. Investigadores como Jose de la Fuente, George Bisacca, e Ingrid Hopfner, etc. están trabajando en este campo siendo conscientes de la necesidad de realizar nuevos sistemas que acompañen los movimientos de la madera y le otorguen estabilidad. En definitiva diseños apropiados según las características y necesidades de cada obra.

2. OBJETIVOS

Los objetivos planteados para este trabajo final de máster son los siguientes:

- Realizar una revisión bibliográfica de los sistemas de estabilización y refuerzo del soporte para pinturas sobre tabla.
- Estudiar un caso práctico, “La Trinidad”, con el objetivo de:
 - o Registrar las deformaciones del soporte en un periodo de tiempo de 6 meses.
 - o Relacionar las deformaciones con las características de la tabla.
 - o Proponer un sistema de estabilización para la obra que cumpla con los criterios planteados.

3. METODOLOGÍA

Este estudio partirá de una revisión bibliográfica. Por una parte de las propiedades y características de la madera. Por otra parte de los sistemas de refuerzo originales y de los sistemas de estabilización contemporáneos. El estudio se centra en los sistemas más contemporáneos, ya que nuestra finalidad no es sujetar al máximo la obra sino acompañar los movimientos de la madera y permitirle dichas oscilaciones. Con ello se intentan frenar las variaciones bruscas de la madera a través del control de la temperatura y la humedad.

Teniendo en cuenta esto último se realiza una breve revisión de un sistema de estabilización indirecto, como es el empleo de sistemas de enmarcado con elementos elásticos o las vitrinas.

Paralelamente a esto se hará un seguimiento durante seis meses de las deformaciones del soporte en la obra empleada para este estudio, "La Trinidad", una pintura sobre tabla del S.XVIII (el círculo de Vergara). Previamente a la realización de dichas mediciones se hará un breve estudio de los dos sistemas empleados para registrar estas deformaciones, el comparador centesimal y el calibrador con indicador de carátula. Obtenidos los resultados se relacionarán con las características de la obra para poder obtener la causa de sus continuas variaciones. Una vez se disponga de esta información se diseñará el sistema de estabilización más idóneo para esta obra.

4. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA MADERA

Para poder entender cómo se comporta la madera y las patologías que van surgiendo a lo largo del tiempo es necesario conocer tanto la composición, como la estructura, la clasificación de las maderas y las propiedades tanto físicas como mecánicas de la madera.

4.1 COMPOSICIÓN DE LA MADERA

Se denomina madera al conjunto de tejidos que forman el tronco, las ramas y las raíces principales de los árboles.

Está compuesta principalmente por celulosa 50% aproximadamente, la celulosa le otorga la resistencia a la madera. Es higroscópica y absorbe y retiene la humedad con facilidad. Otro componente de la madera es la lignina, aproximadamente contiene un 30%, la lignina es la encargada de actuar como adhesivo, uniendo todos los componentes de la madera. Cuando envejece el árbol aumenta la cantidad de lignina y esta se endurece confiriéndole al árbol mayor rigidez. El último componente principal es la hemicelulosa contiene un 25% aproximadamente. La hemicelulosa es una materia celulósica más débil, que puede ser atacada más fácilmente. Por último aparecen otras sustancias pero de manera más secundarias como es almidón, tanino, azúcares, grasas, cenizas.

4.2. ESTRUCTURA MACROSCÓPICA

En la madera se pueden distinguir cinco partes haciendo un corte perpendicular al eje del tronco. De la parte más externa a la más interna, la corteza, liber o floema, cambium, albura y duramen.

La corteza es la encargada de proteger al árbol de los diferentes cambios atmosféricos. Está formada por materia muerta. El liber o floema es una capa más delgada y su función es la conducción de la savia elaborada. El cambium está formado por células con una función reproductora que forma xilema hacia dentro y floema hacia fuera. La albura es una madera más joven, menos dura que el duramen y de coloración más clara. Tiene la función de conducir la savia de la raíz a las hojas. Y por último el duramen, es la capa más interna, de coloración más oscura y con una dureza mayor que la del resto de partes que componen el árbol. Su función es la de sostén del árbol.

Es importante tener en cuenta los anillos de crecimiento. Cada anillo de crecimiento es anual. Se distingue la madera de primavera a la madera de otoño. La madera de primavera tiene una densidad menor que la madera de otoño, con células más grandes y de pared proporcionalmente más fina. La madera de otoño contiene células más estrechas y paredes proporcionalmente más gruesas¹. Estos anillos de crecimiento tienen un papel importante en el momento de las deformaciones de las tablas. Las deformaciones siempre irán en sentido opuesto a los anillos de crecimiento.

Otro factor muy importante son los diferentes tipos de corte de la madera que influirán en gran medida al futuro comportamiento de esta. Se encuentran tres tipos de corte: tangencial, longitudinal y radial. El corte tangencial es tangente a los anillos de crecimiento, el corte longitudinal es perpendicular al eje del árbol y corte radial pasa por el eje y es perpendicular a los anillos de crecimiento. (Fig.1).



Fig. 1. Corte radial y tangencial.

4.3. CLASIFICACIÓN DE LAS MADERAS

Existen dos grandes grupos en la clasificación de las maderas como son las coníferas pertenecientes al grupo de las gimnospermas y las frondosas pertenecientes al grupo de las angiospermas.

Las coníferas tienen una estructura sencilla, están compuestas principalmente por unas células llamadas traqueidas. La función de estas células es otorgar a la madera su aspecto, el grado de porosidad, son conductoras y proporcionan sostén al árbol. Están orientadas en sentido longitudinal. Otras de las células son la de parénquima que forman los radios cuya función es almacenar y transportar las sustancias nutritivas. Están orientadas en el eje transversal radial. Tienen un contenido variado como grasas, almidón, taninos, etc. Y por último los canales resiníferos, su función es segregarse resina y en el árbol actúa como una barrera de protección. Como ejemplos de coníferas se encuentran el pino, el abeto, el cedro, etc.

¹ Véase en: SANTAMARIA DEL CAMPO, S; LLORET, F. *Biología de las plantas*. Barcelona: Reverte, 1992, p.777. ISBN: 84-291-1843-8. p. 463.

En el caso de las frondosas se encuentra una estructura más compleja. Además de radios leñosos y de traqueidas están compuestas también por vasos que forman parte entre el 5% y el 60% del volumen de la madera. Están orientadas verticalmente y sus funciones son conductoras. Otro componente son las fibras cuya función es la de sostén, aproximadamente contiene entre un 20% y un 70% del volumen de la madera. Y por último el parénquima, que contiene aproximadamente entre el 6 y el 50% del volumen total de la madera². Como ejemplo de frondosas se encuentran los árboles frutales como el roble, nogal, castaño, etc.

4.4. PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas determinan algunas de las alteraciones que más preocupan en el ámbito de la conservación de la pintura sobre tabla. La propiedad física más importante de la madera es la higroscopicidad. Antes de explicar este concepto se considera importante comprender otros aspectos íntimamente ligados a la higroscopicidad.

A la madera le influyen diferentes factores externos que causan alteraciones físicas en ella. Uno de ellos y el más importante es la **humedad relativa**. La humedad relativa es la presión parcial de vapor de agua presente en el aire y la presión de vapor saturado a la misma temperatura.

La humedad y la **temperatura** en el ambiente son factores a tener muy en cuenta a la hora de enfrentarnos a la conservación de las maderas. Siempre van relacionadas, cuando la temperatura sube la humedad baja y a la inversa.

La madera pasa por diferentes fases conforme va absorbiendo la humedad. En un primer momento la madera pasa por la fase de sorción superficial. En esta fase la humedad se va introduciendo por el exterior sin llegar a provocar cambios en la madera. La segunda fase es la adsorción. En esta fase la madera absorbe la humedad llenándose las paredes de las membranas celulares. En este momento la madera empieza a experimentar cambios aumentando su volumen, produciéndose deformaciones. La última fase es la condensación. La madera absorbe la humedad y penetra hasta los lúmenes celulares. En esta fase ya no se percibe mayor deformación simplemente aumenta su peso.

La humedad influye en mayor medida por una de las principales características de la madera, su **higroscopicidad**. Le otorga la capacidad de absorber humedad en ambientes húmedos y de desprenderla en ambientes secos. Estos procesos de sorción y desorción de humedad continúan hasta que se consigue un equilibrio entre la humedad del ambiente y la humedad de

² Véase: VIGNOTE, S; MARTINEZ, I. *Tecnología de la madera*. 3ª. Ed. Madrid: Mundi Prensa, 2006, p.678. ISBN: 84-8476-263-7. p. 99.

la madera. Este proceso se denomina equilibrio higroscópico. Es importante tener en cuenta que en una misma humedad relativa y temperatura la madera no absorbe de igual manera que cede la humedad, al igual que tampoco lo hace con la misma velocidad³. Cuando la madera está intentando recuperar ese equilibrio higroscópico previo se producen una serie de tensiones que se denomina histéresis. Si se somete a la madera a estos fenómenos de manera continua se produce lo que se denomina fatiga higroscópica.

En el caso de pintura sobre tabla normalmente se encuentran pintadas sólo por el anverso y el reverso queda desprotegido, de esta manera en la madera se produce un reparto asimétrico de la humedad, lo que se denomina **asimetría higroscópica**. Estos cambios continuos asimétricos de hinchazón y merma generan tensiones, ya que una parte de la tabla no sufre deformaciones mientras que la otra sí. Se produce una deformación permanente, cóncava en la parte no protegida. Las tablas bifaces no presentan este tipo de deformaciones.

Otra de las características principales de la madera a tener muy en cuenta es su **anisotropía** que hace que estos cambios de hinchazón y merma sean desiguales según el tipo de corte¹, bien sea tangencial, radial o longitudinal. En el caso del corte tangencial la merma estará en la dirección de los anillos de crecimiento y será de un 6 a 12% aproximadamente; en el caso del corte radial estará en cualquiera de los radios y su merma será de un 3 a 6% aproximadamente; en el corte longitudinal estará en la dirección al crecimiento y será de 0'2 a 0'8% aproximadamente⁴. Como se observa el corte radial es el que menos deformación sufre. (Fig. 2.)

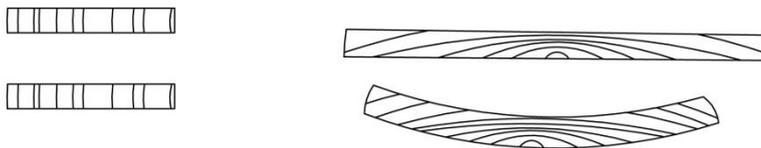


Fig. 2. Deformación que sufren los diferentes tipos de corte radial y tangencial.

Se encuentran otros factores que influyen en el comportamiento de la madera frente a los cambios de humedad y temperatura. Como es el **espesor del soporte**, si se trata de un soporte muy fino la madera tenderá a tener mayores variaciones dimensionales y se producirán mayores deformaciones que si se tratara de un soporte con mayor grosor, un ejemplo de ello son las tablas que han sido rebajadas en algún momento y se han producido numerosos

³ Véase en: *Actas del II seminario sobre restauración de Bienes Culturales: Julio de 2006*. AA.VV. Aguilar del Campo: Fundación Santa María del Real, 2006, p. 205. ISBN: 978-84-8948.335-4, p. 108.

⁴ Véase en: AA.VV. *Dipinti su tavola. La tecnica e la conservazione dei supporti*. Firenze: Edifir, 2007, p. 200. ISBN: 1088-7970-165-7., p. 46.

daños, ya que eliminando esa capa más externa que ya ha alcanzado el equilibrio higroscópico y se encuentra estable tiene que volver a estabilizarse con el ambiente. De esta manera se producen tensiones en la pieza.

El **tipo de madera**, si la madera es una madera dura como es el caso del roble se producirán menores deformaciones que si se trata de una madera blanda como es el caso del pino, ya que la madera de roble tiene mayor resistencia y es mucho más estable que el pino. La **dureza**, si se trata de una madera fibrosa como es el caso del roble, ofrecerá una mayor resistencia ante cualquier cambio de humedad. Al contrario que una madera como el pino, que será mucho más sensible a la humedad al contener mayor cantidad de vasos. La **densidad**, si se trata de una madera con mayor densidad la humedad tendrá menor facilidad de penetrar. Si existe **preparación en el reverso o estopa** se produce una barrera que minimiza los efectos de los cambios termohigrométricos, al igual que si se trata de una pintura bifaz que permanecerá con mayor estabilidad que una pintura con el reverso desprotegido.

Por último el **estado de conservación**. Si la obra se encuentra en un mal estado de conservación, con problemas de xilófagos, hongos, etc. será más sensible ante cualquier cambio, bien sea de humedad y temperatura como de manipulación, intervención, transporte, exposición, etc.

Otra de las propiedades físicas más importante es la **densidad**. La densidad es la relación que existe entre el peso y el volumen de la madera. A través del conocimiento de la densidad de una madera se puede saber que características tiene dicha madera de dureza, resistencia, facilidad de manejo, etc. Generalmente las maderas más densas se contraen y se expanden con menor facilidad que las maderas más ligeras.

Otra propiedad es la **dureza**, se entiende por dureza la resistencia que tiene la madera a la penetración de otros elementos, como clavos. En relación a la dureza, las maderas pueden clasificarse como: durísimas, duras, semiduras, blandas y muy blandas. Unas de las más empleadas en pintura sobre tabla a lo largo de la historia son el roble (dura) y el pino (blanda).

Ambas propiedades influyen notablemente en la capacidad absorbente de una madera. Una madera dura y de alta densidad es poco permeable a los líquidos o el vapor de agua, es decir, es menos higroscópica y será por tanto menos susceptible a sufrir deformaciones ante los cambios termohigrométricos. Densidad y dureza no sólo afectan a la especie de madera, sino también a la diferencia entre albura y duramen.

Otra de las propiedades es la **elasticidad**. La madera es un material elástico mientras no se supere la región elástica de $0'005 \text{ mm/mm}^5$, si se supera se convierte en un material plástico y

su deformación es permanente y si continuamos ejerciendo peso o presión se producirá la rotura.

Por último se encuentra la **porosidad** de la madera. Si se trata de una madera muy porosa absorberá con mayor facilidad la humedad y otras sustancias. La madera es un material permeable a los líquidos, aunque la madera no absorbe los líquidos siempre con la misma proporción. Esto dependerá de las características anatómicas de la madera, de la proporción de albura y duramen, de la madera temprana y tardía y del tipo de corte. Siendo más permeable la albura, la madera temprana y el corte tangencial.

4.5. PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas principales de la madera son la resistencia a la **tracción**, **compresión**⁶ y **flexión**. La madera ofrece mayor resistencia a la compresión y menor a la flexión. La madera tiene poca capacidad de resistir peso sin deformarse si solo está apoyada por los extremos y el peso se ejerce en el centro. Esto es lo que sucede en la flexión. Sin embargo ofrece muy buena resistencia si el peso se distribuye uniformemente, como es el caso de la compresión.

⁵F. MECKLENBURG, M; FUSTER, L. *Estudio de las propiedades mecánicas y dimensionales de los materiales pictóricos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2009

⁶ Esta propiedad es muy importante en sentido longitudinal, por lo que hace un material muy resistente para la construcción.

5. CONSTRUCCIÓN DE PANELES

De todos los soportes la madera puede considerarse como uno de los más antiguos y más empleados de la historia del arte.

La madera escogida para realizar las obras eran la mayoría de veces las procedentes de las zonas donde se encontraban. En el caso de España y más especialmente en Aragón y Castilla la madera mas empleada era el pino. En el resto de Europa se empleo mucho el pino aunque había otras variedades como es en el caso de Italia que empleaban mayoritariamente álamo (*populus sp.*) o en el caso del norte de Europa el roble (*quercus robur l.*).

Los maestros carpinteros para obtener la madera cortaban el tronco y desechando la corteza cortaban las maderas con corte tangencial de tal manera que se aprovechaba mayor cantidad de madera. Si el corte se realiza de forma radial la calidad de esa madera en cuanto a su estabilidad es mayor pero se desperdicia más cantidad de madera. Por esta razón la mayoría de veces se encuentran las tablas con cortes tangenciales. (Fig. 3.).

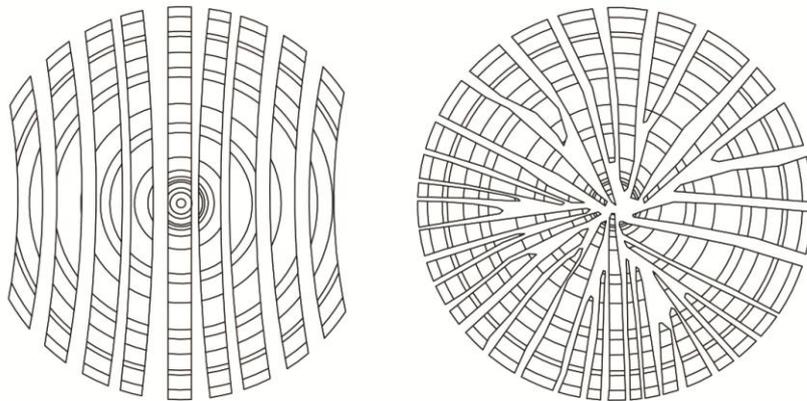


Fig. 3. Tronco cortado de modo tangencia (izquierda) y radial (derecha).

Estas tablas se sacaban del tronco con hachas y dejaban unas huellas que se pueden observar en algunos reversos de las tablas⁷. Los carpinteros dejaban secar las maderas antes de realizar nada. Era un proceso muy importante ya que determinara en mayor o menor medida el futuro comportamiento de la madera.

⁷ Véase en: DOERNER, M. *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. 6ª. Ed. Barcelona: Reverte, 2005, p. 431. ISBN: 84-291-1423-8, p. 133.

Cennino Cennini propone:

“Procura que la madera sea bien seca; y si fuesen las maderas de tal suerte que pudieras hacerlas hervir en calderas con agua clara, esa madera no te haría la mala jugada de resquebrajarse”⁸.

Una vez obtenidas las maderas el tamaño solía ser muy reducido. Para conseguir el tamaño deseado para las obras se ensamblaban las tablas necesarias. Se encuentran diversos tipos de ensambles como:

- **Unión viva**, consiste en encolar las tablas entre sí. Antiguamente se encolaban con cola animal o con caseína. Esta unión no tiene mucha estabilidad ya que conforme envejece la cola va perdiendo sus propiedades adhesivas y terminan por separarse las tablas.

- **Unión a media madera**, consiste en realizar un rebaje en forma de “L” en una de las tablas y en la siguiente de manera inversa, de modo que encajen las tablas. Estas se encolaban de la misma manera que la anterior.

- **Unión viva con espigas**, consiste en introducir unos listones de madera de forma cilíndrica en uno de los lados de la tabla y realizar unos orificios que encajen perfectamente con esas espigas. Se encolaban de la misma manera. Este tipo de unión tenía más resistencia que las anteriores.

- Otro sistema muy parecido es la **unión viva con lengüeta interna**, pero en este caso en lugar de introducir espigas se realiza una caja interna en las tablas en la cual se introduce un listón rectangular que encaja perfectamente en ambos lados.

- **Unión con lengüeta**, consiste en realizar sobre uno de los lados de la tabla un sobresaliente en forma de rectángulo, aproximadamente hasta la mitad del espesor de la madera. En la otra tabla se realiza una caja donde apoye el otro elemento. Se encolan de la misma manera que las anteriores. Otro de los ensamble es la **unión con cola de milano**. Es análoga a la anterior solo se diferencia en el empleo de cola de milano sustituyendo esa forma rectangular.

- Otra variante es la **unión a doble cola de milano encastrada**. Consiste en realizar una doble cola de milano e introducirla en una caja realizada sobre las tablas aproximadamente hasta la mitad del espesor de la madera. Estas dobles colas de milano podrían ir encoladas o no. La mayoría de las veces se reforzaban con clavos. Este tipo de unión ha sido muy empleada y tiene mayor resistencia que las mencionadas anteriormente.

- Por último la **unión con doble cola de milano** que consiste por un lado en realizar una doble cola de milano y por otro realizar en las tablas una caja con la misma forma trapezoidal, esta

⁸ Véase en: CENNINI, C. *El libro del arte*. Valladolid: Maxtor, 2008, p.211. ISBN: 84-9761-390-2, p. 108.

vez atravesando todo el espesor de la madera. De esta manera queda acoplada perfectamente y debido a su forma no pueden separarse. Se encolan las uniones para mayor aneji3n.

Una vez obtenido el tama1o deseado a trav3s de la uni3n de las tablas muchas veces se encolaban en el reverso estopa o tela con el fin de otorgar m3s resistencia a estas uniones e intentar impedir que la fuerza de las maderas separasen las tablas.

6. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFUERZO

6.1. ANTIGUOS REFERENTES: ORIGINALES.

Conforme la utilización de la madera como soporte pictórico fue alcanzando su esplendor, las obras eran de mayor tamaño. Para las obras con mayor formato se empleaban otros elementos de refuerzo, como es el empleo de travesaños en el reverso de las tablas.

Estos travesaños se disponían de forma diferente según la zona donde se fabricaban. Por una parte en la **zona de Aragón** se disponían en forma de aspa. Debido a esta forma se le denomina aspa de San Andrés⁹. Este travesaño podía ser simple, con un aspa simplemente o se le añadían otros travesaños en forma horizontal. (Fig.4).



Fig.4. Travesaños de la zona de Aragón¹⁰.

Por otra parte en la **zona de Castilla** los travesaños se disponían de forma horizontal. Se tratan de estructuras de refuerzo más sencillas. (Fig.5). La madera empleada para los travesaños era generalmente una madera de mayor dureza que la del soporte. Los travesaños se clavaban a la tabla por medio de clavos de hierro forjado por el anverso de la tabla. Después de atravesar la tabla y el travesaño se doblaban. La cabeza de los clavos se aislaban por medio de cera o estaño y a continuación se colocaba la preparación. Tanto los travesaños de la corona de Aragón como los de la corona de Castilla eran sistemas de refuerzo fijos. Sin embargo los clavos permiten cierta holgura. La finalidad de estos tipos de travesaños era dar más resistencia a los puntos de unión de los paños y facilitar el montaje posterior al retablo.

⁹ El aspa representa el martirio de San Andrés Apóstol que fue crucificado en una cruz en forma de aspa.

¹⁰ Imagen realizada por la autora a partir de VIVANCOS, V. *La conservación y restauración de pintura de caballete*. 1ª. Ed. Madrid: Tecnos, 2007, p.325. ISBN: 978-84-309-4651-8.

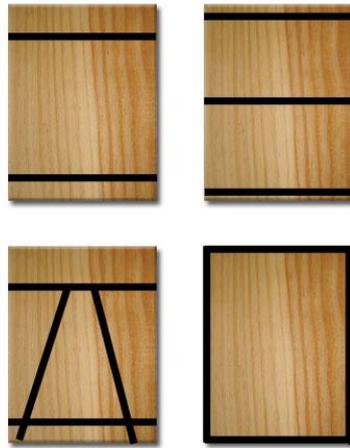


Fig. 5. Travesaños de la zona de Castilla¹¹

Otro sistema de travesaño muy empleado en el S.XVI es el **travesaño encastrado en sección de cola de milano**. Este sistema de refuerzo puede que esté muy influenciado por las escuelas italianas. Posiblemente por las relaciones entre las escuelas italianas y las escuelas de la corona de Aragón. Un ejemplo de este tipo de travesaños lo encontramos en La Sagrada familia de Rafael en el museo del Prado¹². En obras del ámbito valenciano, lo encontramos en la “Adoración de los Reyes Magos”, atribuida a Evaristo Munoz (1684-1737), perteneciente a la Catedral de Valencia.

El refuerzo consiste en realizar una caja de forma trapezoidal o de cola de milano que atravesará el reverso 1/3 de su espesor. De esta forma permite que se deslice el travesaño por el soporte y que haya cierta movilidad. (Fig.6). La madera empleada principalmente era una madera más dura que la del soporte y dispuesta a contra veta.

Esto genera con el tiempo una serie de tensiones, porque a pesar de ser el mismo material no tiene las mismas propiedades un tipo de madera que otra. A la larga los travesaños terminan bloqueándose a pesar de que se trate de un sistema deslizante.



Fig. 6. Travesaño encastrado en sección de cola de milano y forma trapezoidal.

¹¹ Imagen realizada por la autora a partir de VIVANCOS, V. *La conservación y restauración de pintura de caballete*. 1ª. Ed. Madrid: Tecnos, 2007, p.325. ISBN: 978-84-309-4651-8.

¹² Véase en: AA.VV. *La pintura Europea sobre tabla. Siglos XV, XVI, XVII*. [en línea]. Madrid: Ministerio de Cultura, 2010 [fecha de consulta: 10 mayo 2011]. Disponible en: <http://es.calameo.com/read/0000753357dee4271c5dc>, p.127.

Una variante de los travesaños en cola de milano es el **travesaño con forma rectangular o cuadrada sujeto por abrazaderas encoladas**. (Fig.7). La diferencia principal entre ambos es que este tipo de refuerzo no necesita rebajar el soporte. Las abrazaderas son los únicos elementos encolados a la tabla. A través de ellas se desliza el travesaño. Las abrazaderas en un principio eran de maderas y posteriormente se sustituye por abrazaderas metálicas.

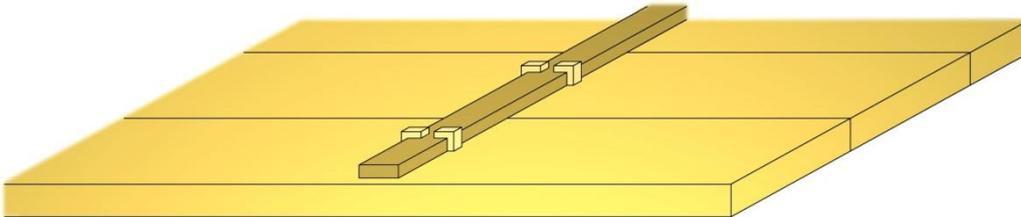


Fig. 7. Travesaño con forma rectangular sujeto por abrazaderas encoladas.

Las desventajas de este sistema son por una parte que solo prevé los movimientos en un sentido. (Fig.8). Por otra parte es que se producen tensiones entre los puntos de sujeción con las abrazaderas. Existen zonas libres donde la madera tiene facilidad de movimiento y zonas donde la madera está fuertemente contenida. Y por último que aportan mucha rigidez y terminan por bloquearse. La madera del travesaño y la del soporte cuando sufren cambios termohigrométricos y se hinchan se bloquea y no permite un deslizamiento por las abrazaderas.

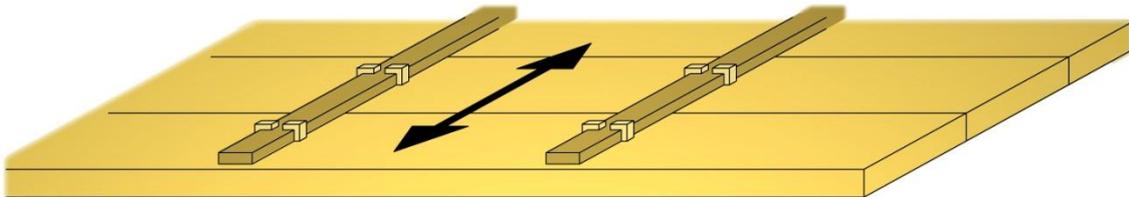


Fig. 8. Movimiento sólo en sentido horizontal.

Otro travesaño muy similar al anterior es el **travesaño cuadrado o rectangular sujeto por puentes**. (Fig.9). La diferencia entre ambos es que se sustituye el uso de las abrazaderas por unas piezas llamadas puentes. Estos puentes en un principio se realizaban en madera y posteriormente se sustituyeron por piezas metálicas. Estos puentes en lugar de ser encolados eran clavados en sus extremos al reverso de la tabla.

Los problemas que surgen son similares al anterior. Se producen tensiones en los puntos de sujeción y terminan por bloquearse.

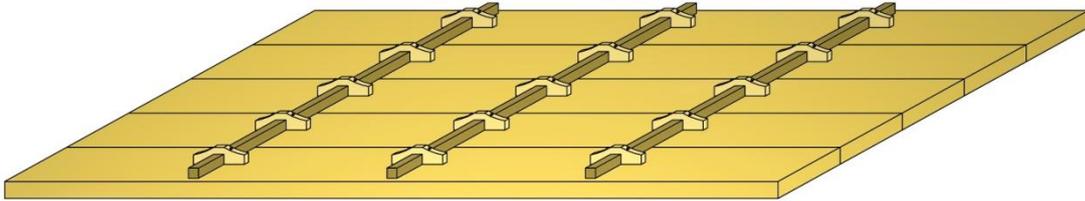


Fig. 9. Travesaño cuadrado sujeto por puentes.

Otro sistema de refuerzo es el uso de **bastidores encolados o clavados**. Este sistema precisa de una reducción del soporte para crear una superficie plana y uniforme. De esta manera el encolado del bastidor es perfecto. Otra manera de colocarlo en el reverso era por medio de clavos. De esta forma el bastidor tiene cierto movimiento pero aun así se crean grandes tensiones en los puntos de sujeción, porque las zonas libres donde no hay bastidor se mueven con mayor facilidad.

En el S.XVI se generaliza el empleo de **marcos perimetrales** como componente estructural. Se encuentran cuatro tipos de marcos en función del soporte. Uno de ellos es el **marco tallado sobre macizo** (a), no es independiente al soporte, se realiza junto con el soporte. Empleado para obras de pequeño formato. Otro es el **marco ranurado con guillarme o fresado**. (b). Este marco estructuraba la obra. Los bordes que van apoyados en la ranura del marco se rebajan para permitir una unión perfecta. Muchas veces las obras se colocaban en los marcos antes de ser pintadas, por lo que en ocasiones se encuentran bordes no pintados. Otro tipo de **marco es el aplicado con rebaje**. (c). Es el más empleado tanto para pintura sobre tabla como para lienzo. El borde que apoya en la ranura es rebajado y se sujeta a través de galce¹³. El último es el **marco superpuesto o postizo**. (d). Este sistema se coloca por encima del soporte pictórico y como en el caso del marco ranurado con guillarme o fresado en ocasiones se pintaba con el marco ya puesto¹⁴. (Fig. 10).

¹³ El galce es la medida o profundidad de la pestaña interior que forma parte del filo y que se superpone sobre la obra.

¹⁴ Véase en: AA.VV. *La pintura Europea sobre tabla. Siglos XV, XVI, XVII*. [en línea]. Madrid: Ministerio de Cultura, 2010 [fecha de consulta: 10 mayo 2011]. Disponible en: <http://es.calameo.com/read/0000753357dee4271c5dc>, p. 167.

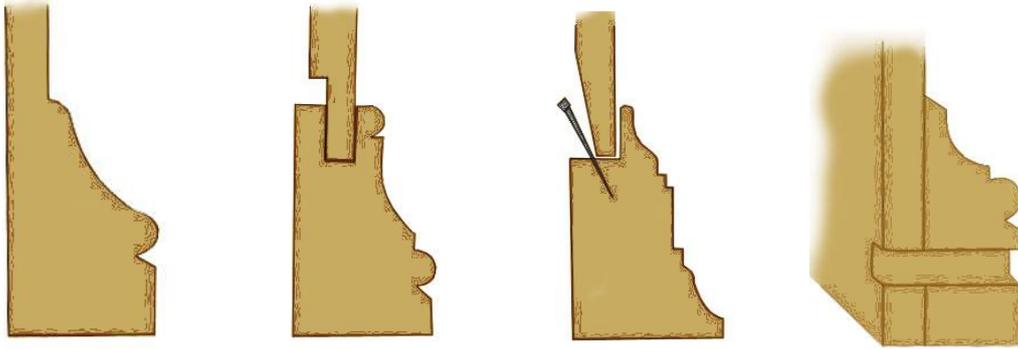


Fig. 10. Detalle de los diferentes marcos (De izquierda a derecha de la a la d)¹⁵.

6.2. ANTIGUOS REFERENTES: NO ORIGINALES.

6.2.1. ENGATILLADOS

Desde finales del S.XVIII y casi hasta la mitad del S. XX surgió y se empleó el engatillado. (Fig. 11). Se trata de un sistema de refuerzo y control de las deformaciones que incorpora elementos fijos y elementos deslizantes. Para la buena realización del engatillado se cepillaba el reverso de las tablas, creando una superficie lisa y uniforme. De esta manera se aseguraban una buena adaptabilidad del sistema, a pesar de que se disminuyera el grosor de las tablas. Este refuerzo tiene varios travesaños encolados al hilo de la madera en el reverso de la tabla y otros travesaños correderos, dispuestos en perpendicular. Esto supone varias cosas. Por una parte los travesaños encolados otorgan mucha rigidez y producen mucha tensión a lo largo de toda su extensión. Por otra parte los travesaños correderos tienen mayor libertad de movimiento al no estar encolados a nada. Y por lo tanto se generan tensiones diferentes.

Otro problema que surge son las zonas que quedan expuestas a los cambios termohigrométricos y las zonas que no. En la superficie que no hay travesaños se producen unas tensiones mientras que en la superficie en la que hay travesaños se producen otras. La madera está directamente expuesta al ambiente, mientras que en la superficie en la que hay travesaños estos actúan de barrera.

¹⁵ Imagen realizada por la autora a partir de: AA.VV. *La pintura Europea sobre tabla. Siglos XV, XVI, XVII*. [en línea]. Madrid: Ministerio de Cultura, 2010 [fecha de consulta: 10 mayo 2011]. Disponible en: <http://es.calameo.com/read/0000753357dee4271c5dc>

Por otra parte la tabla antes de aplicarle el engatillado se cepillaba. Esto supone retirar la capa que sirve de protección a la madera interna. Una vez retirada esta madera interna tiene que adaptarse al ambiente otra vez. A esto hay que sumarle que el espesor de la tabla ha sido reducido y será más sensible a los cambios termohigrométricos. Por último el comportamiento de la madera de la tabla es diferente al de los travesaños y esto produce una serie de tensiones desiguales que provoca el bloqueo de los travesaños deslizantes. Por lo que acaba convirtiéndose en un sistema fijo, rígido y muy invasivo.

De esta forma se encuentran tensiones muy diferentes que repercuten de manera dramática en la obra. Pero a pesar de todos los inconvenientes fue empleado durante mucho tiempo y ha sido el antecedente de muchos de los sistemas de refuerzo empleados posteriormente y hasta la actualidad.

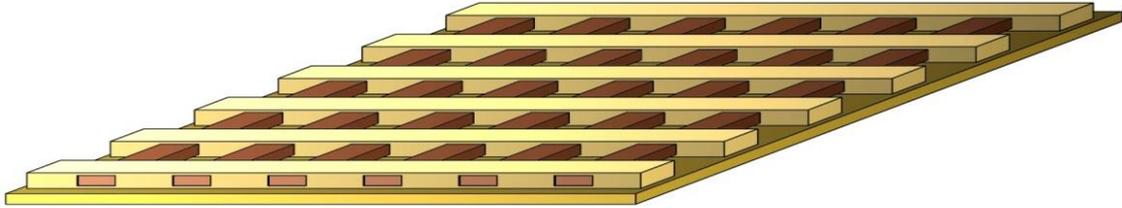


Fig. 11. Engatillado.

7. SISTEMAS DE REFUERZO CONTEMPORÁNEOS.

Desde los inicios de la pintura sobre tabla los sistemas de refuerzo tenían como finalidad unir con mayor fuerza los diferentes paños que componen las tablas. Además de favorecer el futuro anclaje al muro. En el renacimiento la elección de las maderas, el tipo de corte y el tiempo de secado se tenían menos en cuenta, con el fin de abaratar costes y agilizar el trabajo. Todo esto, unido al aumento de las dimensiones de las obras, supuso que el comportamiento de las tablas fuera más acusado que en otras épocas. En este momento los refuerzos tuvieron como finalidad principal inmovilizar cualquier movimiento de la madera y devolverle la planitud a las tablas. Debido a la falta de información era complicado entender que era algo natural y que sólo podrían haberse minimizado los movimientos con un buen proceso de elaboración de la tabla. Sin embargo la madera continúa experimentando sus cambios naturales pero de una manera más brusca al estar tan fuertemente contenida.

A mediados del S.XX el uso del engatillado fue perdiendo fuerza debido a las desventajas que ofrecía. A partir de este momento se pierde la necesidad de mantener la planitud de las tablas y aportarles excesiva rigidez. Con los nuevos sistemas de refuerzo se empiezan a estudiar las obras por separado y se realizan refuerzos acordes con las necesidades de cada tabla. La finalidad de estos nuevos sistemas es otorgar estabilidad, permitir los movimientos naturales de la madera y no ser muy invasivos. Los materiales empleados irán variando según la época pero se tendrán en cuenta la interacción con los elementos constitutivos de la obra.

A partir de este momento se empiezan a emplear distintos componentes de amortiguación como elastómeros, muelles rectos o helicoidales con el fin de absorber las tensiones que se produzcan en la obra. Los elastómeros tienen propiedades elásticas. Hay una amplia gama de materiales. Entre ellos la silicona que se caracterizan por su retención de flexibilidad y por la facilidad de recuperar la forma inicial después de aplicarle presión. Otro de ellos es el caucho de etileno propileno dieno (EPDM). Se caracteriza por su resistencia a los agentes químicos y al ozono, resistencia al vapor, al agua caliente, aceites, ácidos diluidos o alcoholes. Este elastómero es perfecto para obras que vayan a estar al aire libre, se emplea mucho en arquitectura. Otro es el caucho de estireno butadieno (SBR) empleado para la fabricación de neumáticos. Y por último uno de los más empleados la espuma de polietileno de célula cerrada (Plastazote®). Tiene una gran resistencia a la deformación plástica, absorbe muy bien las tensiones además de tener una gran elasticidad. Es empleado en la construcción como aislante. Todos estos elastómeros tienen una gran elasticidad, gran resistencia al desgaste, a los agentes químicos y a la corrosión atmosférica.

Los muelles por otra parte pueden ser de diferentes maneras. El muelle recto de diámetro de espiras constante es el más conocido. Sin embargo el que mejores propiedades ofrece es el muelle helicoidal cónico. Estos muelles poseen la propiedad de experimentar grandes

deformaciones, dentro del periodo elástico. Suelen estar contruidos con acero debido a su gran elasticidad. Absorben muy bien las tensiones de las cargas que lo solicitan y se amoldan a todas las variaciones.

Estos materiales se emplean en la mayoría de los sistemas contemporáneos por las ventajas que ofrecen.

Algunos de los sistemas más empleados son los siguientes:

7.1. BASTIDORES

7.1.1. BASTIDOR PERIMETRAL CON PUNTOS DE FIJACIÓN ELÁSTICOS.

Se trata de un sistema elástico. Como elementos constituyentes se encuentra un bastidor perimetral. Este bastidor perimetral se amolda a la curvatura de la tabla. Para conseguir el alabeo de la madera se dibuja en unos listones dicho alabeo. Una vez cortados se encolan y se obtiene el bastidor con la deformación de la tabla. El bastidor se encuentra sujeto por muelles que están conectados por una parte al bastidor mediante un tornillo cilíndrico. Previamente se le realiza al bastidor una caja donde va alojado el tornillo. Por otra parte el muelle va conectado a un taco de madera. Este taco de madera esta encolado al reverso de la tabla. Separado aproximadamente del bastidor unos 2mm para permitir la expansión de la tabla. A través del tornillo se regula la presión del muelle según las necesidades de movimiento de la madera. El muelle es el elemento que absorbe los movimientos y deformaciones. (Fig. 16). Los puntos de fijación se colocan de manera inversa uno de otro, de esta manera se contrarrestan las tensiones. (Fig. 12 y 13). La madera empleada debe ser afín a la madera original. Con una dureza menor que no le aporte excesiva rigidez y tenga cierta flexibilidad¹⁶.

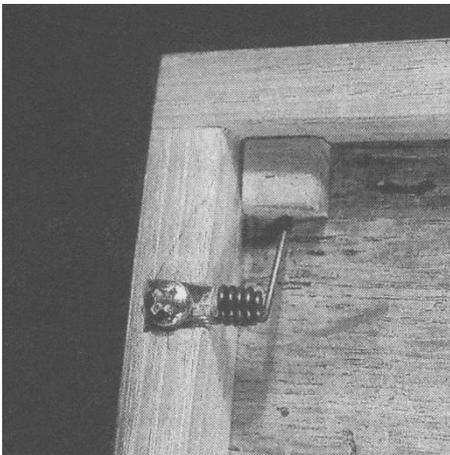


Fig. 12. Detalle del sistema.

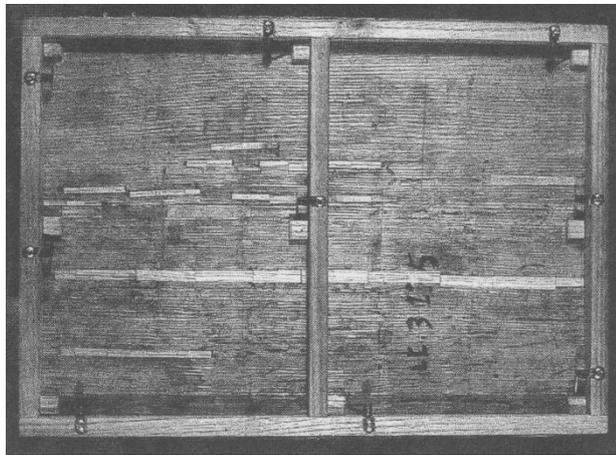


Fig. 13. Distribución de los puntos de anclaje¹⁷.

¹⁶ Un ejemplo de este sistema se encuentra en la obra "Gesù e San Pietro sulle acque" de Henry Met de Bles. En el museo de Capodimonte de Nápoles. Véase en: CASTELLI, C; CIATTI, M. "Proposta di intervento su particolari supporti lignei". En: *OPD Restauro*, 1989, nº1, p.108-111.

¹⁷ Imágenes tomadas de CASTELLI, C; CIATTI, M. "Proposta di intervento su particolari supporti lignei". En: *OPD Restauro*, 1989, nº1, p.108-111.

Un aspecto positivo que encontramos en este sistema son los pocos elementos que están fijos en la tabla. Otro es la buena repartición de las tensiones en los puntos de anclaje. Y por último es que este sistema prevé los movimientos de tracción, contracción y flexión de la madera.

Como aspecto negativo se encuentra principalmente el propio bastidor. El bastidor está adaptado a la curvatura de la tabla, sin embargo esta curvatura posiblemente variará con el paso del tiempo y el bastidor puede resultar un obstáculo a la hora de mover la madera.

7.1.2. BASTIDOR PERIMETRAL LAMINADO CON PUNTOS DE FIJACIÓN ELÁSTICO.

Este sistema es muy similar al anterior simplemente varía el bastidor. En este caso el bastidor está laminado. Se realiza con láminas de madera flexible para que puedan adaptarse a la curvatura del soporte. Estas láminas se encolan con una resina epoxi¹⁸ de secado lento que permita mayor tiempo de manipulación. Una vez obtenido el bastidor laminado se coloca sobre el reverso de la tabla previamente protegido y se ejerce presión para reproducir la curvatura. Otra variación son los puntos de anclaje. En este caso el taco de madera encolado al soporte tiene un orificio en el que se aloja el brazo más largo del muelle. Luego está el muelle que lleva dentro un tornillo que va clavado al bastidor con la que se regula la presión del muelle. Y por último el brazo más pequeño del muelle que va clavado al bastidor también. (Fig. 14). En este caso tampoco se realiza una caja en el bastidor para colocar el clavo simplemente se clava directamente¹⁹.

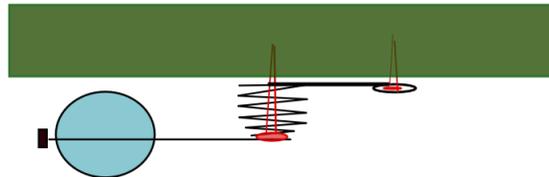


Fig. 14. Detalle del anclaje al bastidor del sistema de muelles.

Como aspecto positivo se encuentra el bastidor laminado que reparte mejor las tensiones y alcanza gran resistencia, la misma resistencia que otorga una madera maciza.

¹⁸ Es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador. Al mezclarse reaccionan causando la solidificación de la resina.

¹⁹ Sistema empleado en la restauración de las Tres gracias de Rubens. Véase en: BISACCA, G; DE LA FUENTE, J. "Consideraciones técnicas de la conservación y restauración del soporte de las Tres Gracias de Rubens". *Las Tres Gracias de Rubens: Estudio técnico y restauración*, Madrid: Museo del Prado, 1998, p.51-66.

El aspecto más negativo de esta variación del sistema es la manera de obtención de la curvatura de la tabla. A pesar de proteger el reverso de la tabla se realiza una cierta presión que puede provocar un stress en la obra.

7.1.3. BASTIDOR PERIMETRAL LAMINADO CON PUNTOS DE FIJACIÓN ELÁSTICOS Y EMPLEO DE FIBRA DE CARBONO.

Este sistema es igual que el anterior pero para obras con un estado de conservación más precario. Este sistema aporta cierta rigidez y reparte el peso de los paneles en el nuevo refuerzo. Por lo que en este caso se emplean mayor número de muelles pero estos muelles con menor tamaño. En este caso la madera empleada es madera de roble laminado. Pero para otorgar mayor rigidez se introducen fibras de carbono²⁰ en cada uno de los largueros que tenga nuestro bastidor. Estas fibras de carbono están dispuestas en forma de cuña²¹. (Fig. 15).

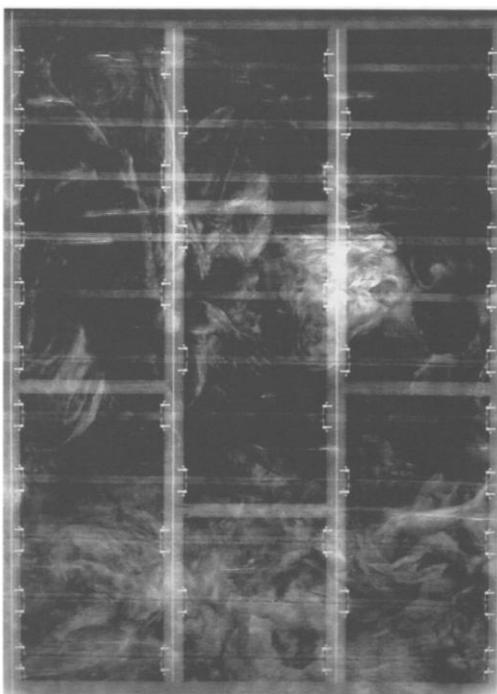


Fig. 15. Radiografía del bastidor perimetral con puntos de fijación elásticos y empleo de fibra de carbono²².

²⁰ La fibra de carbono es un material compuesto constituido principalmente por carbono. Con propiedades mecánicas similares al acero y es tan ligera como la madera o el plástico.

²¹ Sistema empleado en obras como La adoración de los pastores de Mengs. Véase en: BISACCA, G; DE LA FUENTE, J. "Restauración y estudio técnico de La Adoración de los pastores de Mengs". En: *Boletín del Museo del Prado*, 2001, nº37, p.89-114.

²² Imagen tomada de BISACCA, G; DE LA FUENTE, J. "Restauración y estudio técnico de La Adoración de los pastores de Mengs". En: *Boletín del Museo del Prado*, 2001, nº37, p.89-114.

En esta variante del sistema anterior se observa un aspecto positivo diferente como es el uso de la fibra de carbono que complementa la resistencia del bastidor y es muy ligero, por lo que no supone un peso añadido a la obra.

7.2. TRAVESAÑOS

7.2.1. TRAVESAÑO CON PUNTOS DE FIJACIÓN ELÁSTICOS.

Este sistema se basa en la utilización de travesaños a los que se les realiza una caja. Dentro de esta caja se encuentra un clavo sin cabeza que va introducido en el soporte original. En la parte superior tiene un orificio donde va introducido un brazo del muelle, el otro brazo se introduce en otro elemento metálico que se enrosca a la cabeza de otro tornillo. A través de este tornillo se controla la presión²³. (Fig. 16).

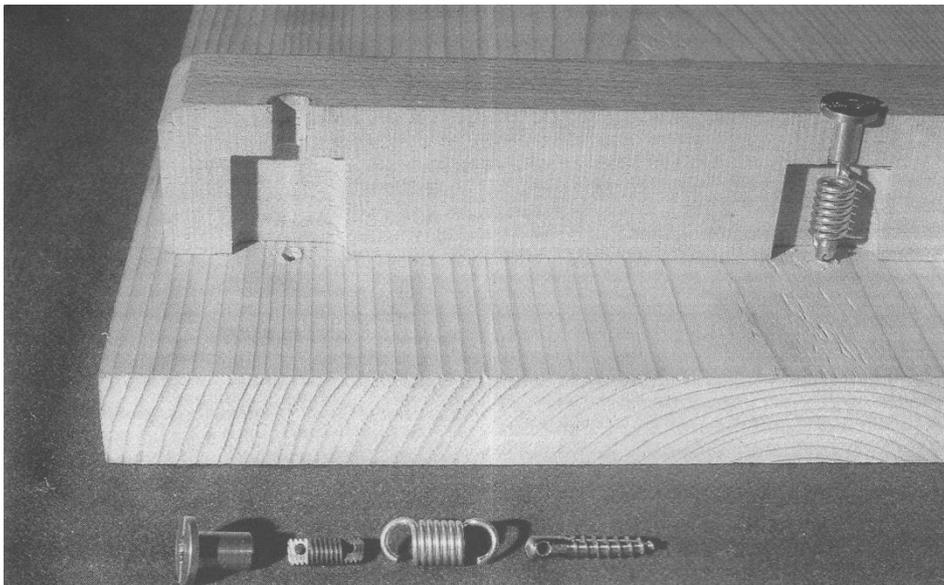


Fig. 16. Detalle del sistema de travesaños con puntos de fijación elásticos²⁴.

El aspecto más positivo es que se trata de un sistema que permite cierto movimiento gracias a los muelles. Y por otra parte se trata de una estructura muy sencilla.

²³ Véase en: CIAPPI, O; CIATTI, M. "Una soluzione per l'ancoraggio elástico della traversatura nei dipinti su tavola". En: *OPD Restauro*, 1990, n°2, p. 102-104.

²⁴ Imagen tomada de CIAPPI, O; CIATTI, M. "Una soluzione per l'ancoraggio elástico della traversatura nei dipinti su tavola". En: *OPD Restauro*, 1990, n°2, p. 102-104.

Uno de los aspectos negativos que se encuentran es que se necesita realizar un orificio a la madera original. Otro es la necesidad de utilizar unos travesaños excesivamente grandes para permitir que se realice la caja donde se encuentra el sistema de muelles. Este tamaño de travesaños produce demasiado peso y puede llegar a provocar tensiones en el soporte y en las capas pictóricas. Y por último solo prevé los movimientos hacia arriba y hacia abajo.

7.2.2. TRAVESAÑO CON BARRAS DE ACERO Y PUENTES DE PLEXIGLÁS. SISTEMA ELÁSTICO.

Se trata de un sistema elástico y deslizante. Este consta de un cilindro de madera de la misma especie que la madera original (1). Estos cilindros están dispuestos en la dirección de las fibras. La altura varía según las irregularidades de la superficie. Después se encuentra una pieza de latón que encaja en un orificio (a) del cilindro de madera. Alrededor de esta pieza se encuentra un muelle (3) que absorbe las fuerzas de compresión. Se introduce dentro de una ranura del cilindro de madera (b). Después se encuentra otro muelle más fino que el anterior que recoge la tensión del primer muelle. Este muelle se introduce por una parte dentro de la pieza metálica (2) que queda bloqueado por el clavo que entra en el orificio lateral (c). Por otra parte este muelle se introduce en otra pieza metálica (5) que a la vez se inserta en un orificio del cilindro del plexiglás²⁵ (d). Este cilindro de plexiglás (6) tiene un diámetro aproximado de 30mm. Contiene un orificio central (d). En la parte superior se encuentra otro orificio por donde se deslizará la varilla de acero (e). Por otra parte hay otro orificio (f) por donde se enrosca un tornillo (g) que encaja con el orificio de la pieza metálica (5) que bloquea la parte superior del muelle (4). (Fig. 17y 18).

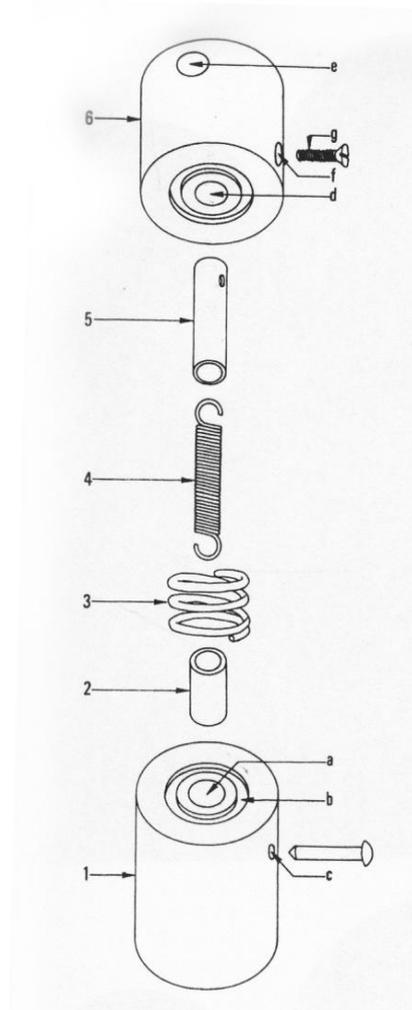


Fig. 17. Detalle del sistema elástico.

²⁵ El plexiglás es un polimetilmetacrilato, tiene una alta resistencia al impacto, excelente aislante térmico, muy ligero y de dureza similar a la del aluminio.

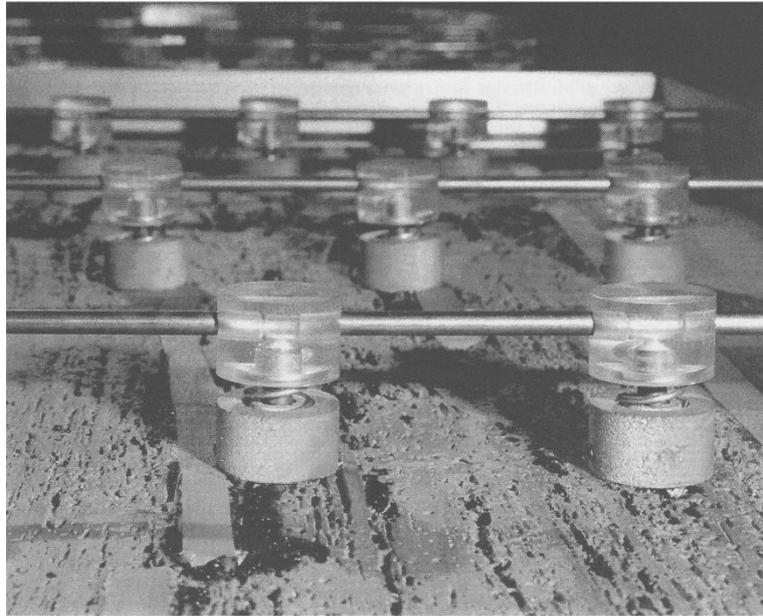


Fig. 18. Sistema elástico con barras de acero²⁶.

Este sistema de muelle permite las variaciones dentro de ciertos límites. El material empleado como travesaño deslizante es una varilla fina que sustituye a los travesaños de metal pesados²⁷.

Como aspectos positivos se encuentra el uso de materiales más ligeros, como la varilla de acero o el plexiglás. Otro aspecto muy importante es el nulo rozamiento con la obra. La varilla de metal se encuentra unos milímetros separados de la tabla. El único elemento en contacto directo con el reverso de la tabla es el cilindro de madera. Por otra parte el sistema de muelles es el que le permite y absorbe todos los movimientos de la madera. Otro factor positivo es que además de ser un sistema elástico se trata de un sistema deslizante por lo tanto permite los movimientos de izquierda a derecha y de arriba abajo.

Unos de los aspectos negativos de este sistema es el empleo de materiales no afines al material de la obra. Los únicos elementos de madera son los cilindros inferiores. Esto supone un comportamiento muy desigual entre los diferentes materiales.

²⁶ Imágenes 17 y 18 tomadas de DEL DUCA, L. "Il contributo di Roberto Carità all 'evoluzione delle metodologie di intervento sui supporti lignei". En: *Bollettino ICR*, 2006, nº12, p.9-16.

²⁷ Véase en: DEL DUCA, L. "Il contributo di Roberto Carità all 'evoluzione delle metodologie di intervento sui supporti lignei". En: *Bollettino ICR*, 2006, nº12, p.9-16.

7.2.3. TRAVESAÑO MÓVIL BASADO EN JUNTAS ELÁSTICAS.

Se trata de un sistema móvil en el que se emplea madera laminada para los travesaños y como elementos elásticos los elastómeros. Los travesaños se realizan con láminas de madera colocadas aleatoriamente. Se orientan todas las fibras en la misma dirección según su eje longitudinal. La madera empleada para este travesaño es madera de Okume²⁸ de un espesor de 3mm. El moldeado para reproducir la curvatura de las tablas se realiza sometiendo a presión las láminas de madera mientras se está endureciendo el adhesivo epoxídico. Este adhesivo tiene que tener una polimerización lenta para que se ajusten bien durante este proceso. Como elementos elásticos se emplean elastómeros. Estos elastómeros son los encargados de amortiguar los movimientos. En este caso el elastómero escogido es goma de silicona. Estas gomas tienen gran facilidad de recuperar la forma inicial después de someterlas a presión.

En este sistema se realizan unas cajas en los travesaños donde se introduce un tornillo de acero, que es el encargado de unir el reverso con el travesaño. Este tornillo puede introducirse en el reverso de las tablas a una profundidad de 2/3 del espesor de la madera. (Fig. 19). Otra opción es insertar el rilo de latón insertado en una pieza de madera microlaminada y esta va adherida al reverso de la tabla con un adhesivo epoxídico. (Fig. 20 y 21).

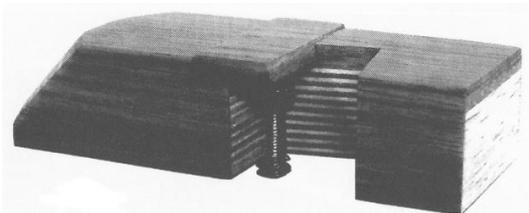


Fig.19. Detalle del sistema donde el tornillo va introducido en la tabla.

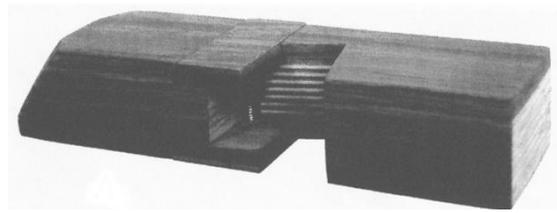


Fig. 20. Detalle del sistema con pieza de madera microlaminada.



Fig. 21. Arandela de silicona, arandela metálica, tornillo, arandela metálica y arandela de silicona. (De izquierda a derecha)

²⁸ Proviene del árbol de la familia de las Burseráceas. Tiene una densidad muy baja y se emplea para realizar contrachapados.

Este sistema puede introducirse dentro de travesaños originales. En este caso se realiza una caja en el reverso de los travesaños por donde transcurrirá el nuevo travesaño. Esta caja debe ser regular y plana. El nuevo travesaño se realiza con forma trapezoidal para que el contacto con el original sea el mínimo. Una vez realizada la caja se introduce el nuevo travesaño trapezoidal y en las zonas de contacto se le añade por colada resina (previamente se impermeabiliza el bastidor nuevo). (Fig. 22). Después de tener realizada la caja se introducen los elementos del sistema elástico pero en este caso sin colocar las piezas trapezoidales. Solo se coloca los discos de silicona que queda en contacto con la superficie del travesaño. Por último una vez introducido el bastidor nuevo los laterales se cierran con unas tapas de madera para que no se puedan ver los travesaños nuevos. Estas tapas se cierran con cierres automáticos de acero inoxidable empleados en la confección²⁹.

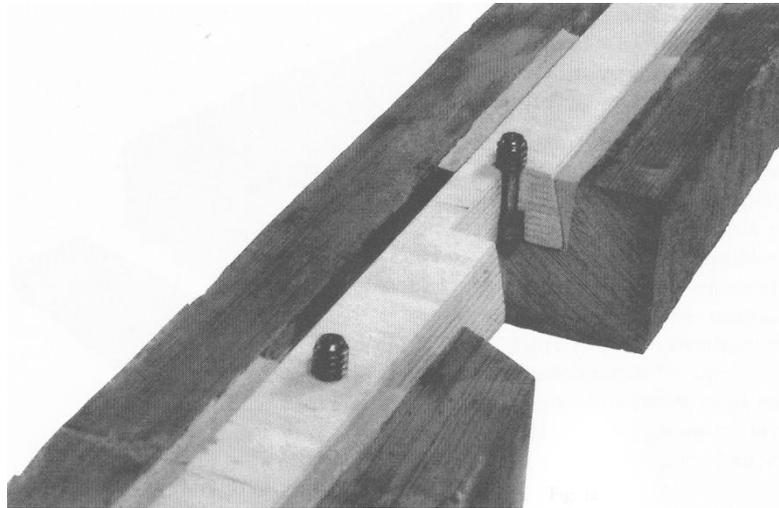


Fig. 22. Detalle del nuevo travesaño introducido en travesaño original³⁰.

Uno de los aspectos positivos de este sistema es el empleo de la madera laminada que ofrece una resistencia igual que una madera maciza. Además de que la disposición de la madera de manera aleatoria que reduce la anisotropía. Otro aspecto positivo es el empleo de elastómeros que tiene una buena capacidad de recuperar su estado inicial después de un esfuerzo. En el sistema oculto por el travesaño original obtenemos una gran ventaja, como es que aparentemente no se observa el sistema.

Principalmente el aspecto más negativo es el gran peso que otorga a la tabla. Este sistema en una pieza debilitada supondría una gran tensión y no podría aguantarlo. Esto se observa

²⁹ Véase en: *Actas del II seminario sobre restauración de Bienes Culturales Aportaciones teóricas y experimentales en problemas de conservación: Julio de 2006*. AA.VV. Aguilar del Campo: Fundación Santa María del Real, 2006, p. 205. ISBN: 978-84-8948.335-4

³⁰ Imágenes 19, 20, 21 y 22 tomadas de *Actas del II seminario sobre restauración de Bienes Culturales Aportaciones teóricas y experimentales en problemas de conservación: Julio de 2006*. AA.VV. Aguilar del Campo: Fundación Santa María del Real, 2006, p. 205.

sobretudo en el sistema aplicado a travesaños originales. Otro aspecto negativo que se encuentra es el uso de las gomas de silicona. A pesar de que es un material que tiene una gran durabilidad con el paso del tiempo pierde sus propiedades y es necesario sustituirlo.

7.2.4. TRAVESAÑO ELÁSTICO LAMINADO CON MUELLES HELICOIDALES.

Se trata de un sistema móvil gracias a los muelles helicoidales. Se emplea madera laminada para los travesaños y muelles helicoidales como sistema de amortiguación de los movimientos de la madera. Para la realización de este travesaño en primer lugar se adhieren las láminas de madera con una resina epoxídica con cierta viscosidad para que cuando se ejerza presión no se muevan. Una vez aplicada la resina se le aplica presión para reproducir la curvatura. Lo más aconsejable es realizar un molde del alabeo de la madera para no ejercer presión en la obra. Los travesaños se biselan en los extremos para que no se observen desde el anverso y por si se emplea un marco perimetral posteriormente. Una vez realizados los travesaños se cortan unos cilindros de madera y se les realiza un biselado en el interior donde irán introducidos los tornillos. Estos cilindros son los únicos elementos adheridos al reverso de la tabla. En los travesaños se realizan también unas perforaciones circulares donde se introducirá el sistema. Después de introducir los travesaños se colocan los muelles helicoidales, encima las arandelas y cerrando el sistema una tuerca que se enrosca en el tornillo con el que se da la presión necesaria al muelle³¹. (Fig. 23 y 24).

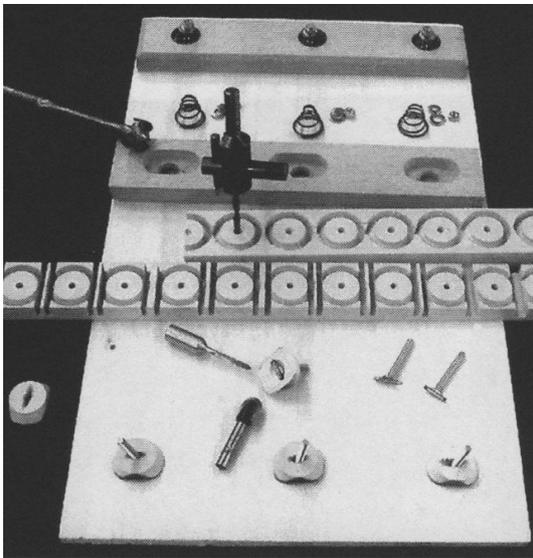


Fig. 23. Construcción del sistema³².

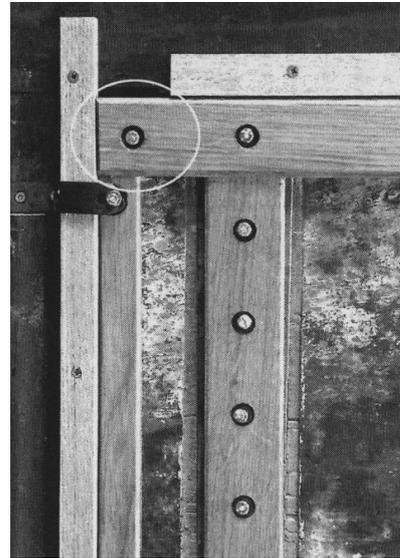


Fig. 24. Detalle del cierre del sistema a través de la tuerca.

³¹ Véase en: BUZZEGOLI, E; CASTELLI, C; DI LORENZO, A. "Il 'compianto su cristo morto' del Botticello dal museo poldi pezzoli di milano: note di minimo intervento e indagini diagnostiche non invasive". En: *OPD Restauro*, 2004, nº16, p.15-20.

³² Imágenes 23 y 24 tomadas de BUZZEGOLI, E; CASTELLI, C; DI LORENZO, A. "Il 'compianto su cristo morto' del Botticello dal museo poldi pezzoli di milano: note di minimo intervento e indagini diagnostiche non invasive". En: *OPD Restauro*, 2004, nº16, p.15-20.

Un aspecto positivo de este sistema es que permite los movimientos en todos los sentidos. Otro es el material empleado, es muy afín al material constitutivo de la obra.

Como aspectos negativos se encuentra el mismo que en otros sistemas y es la reproducción de la curvatura. Acabará por obstaculizar los movimientos de la madera. Otro aspecto negativo es el peso que proporciona a la obra. Se necesita un grosor determinado para que pueda almacenar el sistema.

7.2.5. TRAVESAÑO ELÁSTICO LAMINADO CON MUELLE RECTO Y SISTEMA DESLIZANTE.

Este sistema se basa en la utilización de madera laminada para el travesaño. Formado a la vez por muelles rectos y una pieza de latón donde se inserta otra pieza de nylon que encaja perfectamente. Estas dos piezas las atraviesa un tornillo que lo acoge el muelle recto. Encima del muelle se coloca una arandela y una tuerca que cierra el sistema y a través de ella se regula la presión. (Fig. 25).

La madera laminada se dispone de manera aleatoria al igual que en el caso del travesaño móvil basado en juntas elásticas. Una vez adheridas las láminas de madera se realiza la caja donde ira alojado el sistema. En el reverso de la tabla se adhiere la pieza de latón junto con el tornillo y la pieza de nylon. Una vez adherido se introduce el travesaño junto con los muelles rectos, la arandela y la tuerca para dar la presión precisa³³. (Fig. 26).

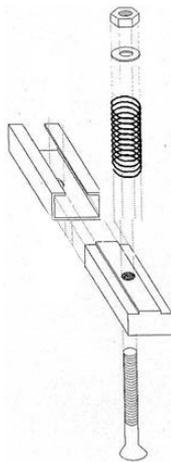


Fig. 25. Detalle de la colocación de los elementos del sistema de muelle

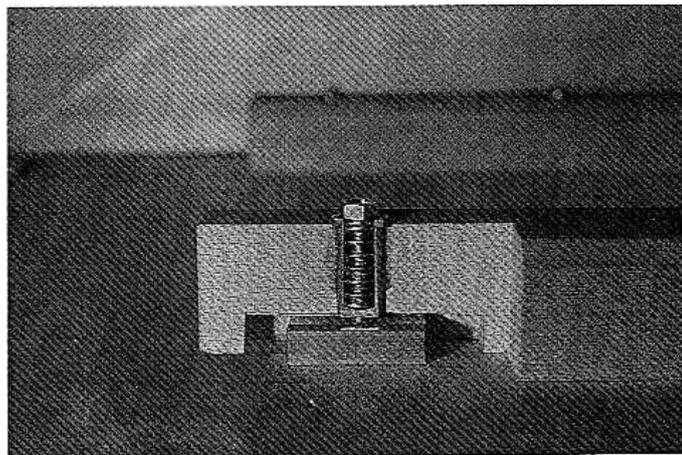


Fig. 26. Detalle del sistema ya colocado en el nuevo travesaño.

³³ Véase en: CASTELLI, C; PARRI, M; SANTACESARIA, A. "Supporti lignei: problemi di conservazione". En: Problemi di Restauro. Riflessioni e ricerche. Firenze: Edifir, 1999, p. 41-43.

Como aspecto positivo, este sistema permite los movimientos de izquierda a derecha gracias al sistema deslizante y de arriba a abajo gracias al muelle recto. Otro aspecto positivo es la disposición aleatoria de la madera del travesaño.

Uno de los aspectos negativos como en el caso anterior es el peso de los travesaños.

7.3. MARCOS

7.3.1. MARCO PERIMETRAL Y SOPORTE DE APOYO FLOTANTE FLEXIBLE.

Se trata de un sistema destinado para obras que no precisen de un refuerzo complejo, que su estado de conservación sea bueno. Este sistema consta de un marco que acogerá todo el sistema. Como travesaños se emplean maderas flexibles y de poca densidad como la madera de samba³⁴. Como sistema amortiguador se emplea el Plastazote®. Y por último una trasera de madera que cierra todo el sistema. En primer lugar se recorta el Plastazote® a medida de los laterales y de todo el borde perimetral. Con la finalidad de amortiguar los movimientos de la madera y proteger de rozaduras a la obra. Por otra parte se realizan los travesaños con material flexible como la madera de samba. De esta manera se amolda muy bien a la curvatura de la madera. Encima de estos travesaños flexibles se adhieren unos amortiguadores con cola vinílica (dependiendo del tamaño de la obra se colocaran los amortiguadores necesarios). Arriba de estos amortiguadores se encuentran unos listones también de madera flexible y de poca densidad.

En los extremos superiores de los listones se disponen dos cuadrados de Plastazote®, encolados también con cola de carpintero. Estos últimos amortiguadores son los que estarán en contacto con la trasera que cerrará el sistema. El material para la trasera puede ser un contrachapado. Esta trasera se atornilla al marco y constriñe todo el sistema. Se deben realizar algunos orificios para que no se creen condensaciones ni estancamientos en el interior³⁵. (Diagrama. 1).

³⁴ Perteneciente a la familia de las angiospermas. Una de las maderas de menor peso y con gran flexibilidad.

³⁵ Véase en: AA.VV. *Facing the challenges of Panel Paintings Conservation: Trend, treatments and trainings* [en línea]. Los Ángeles: The Getty center, 2009, [fecha de consulta 17 de abril 2011]. Disponible en: http://www.getty.edu/conservation/publications/videos/conference_videos/facing_challenges_day1.html#2. P. 371- 38.

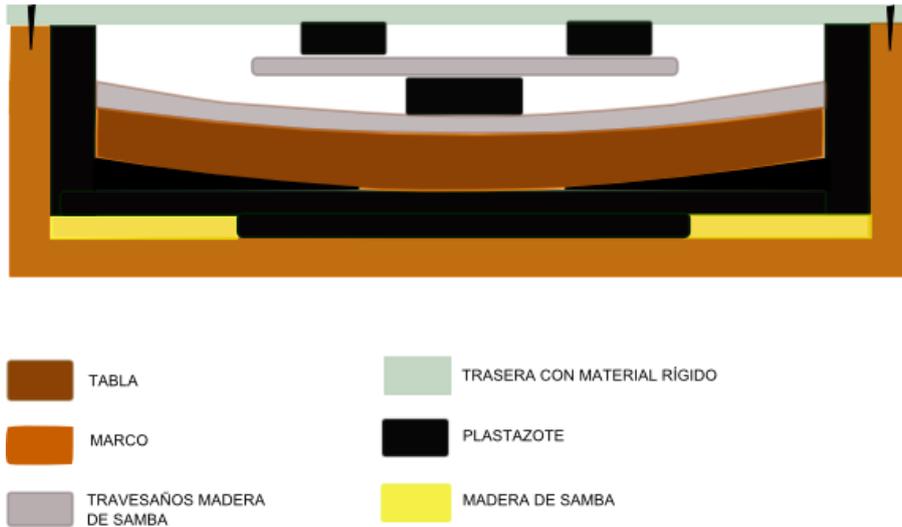


Diagrama. 1. Marco perimetral y soporte de apoyo flotante flexible.

El principal aspecto positivo es que no se adhiere a la tabla ningún elemento. Y todo el sistema es fácilmente reversible. Otro factor positivo es que gracias a los elementos flexibles permiten muy bien los movimientos de la madera. Además la trasera supone una barrera contra los cambios termohigrométricos

Como aspecto negativo se encuentra que se trata de un sistema para obras con muy buen estado de conservación y con un cierto control de la humedad y temperatura. Otro aspecto negativo es que la trasera no permite apreciar el reverso, es necesario desmontar todo el sistema.

7.3.2. MARCO PERIMETRAL Y SOPORTE DE APOYO FLEXIBLE.

Se trata de un sistema apropiado para obras con un buen estado de conservación como en el caso anterior. En este sistema se emplean travesaños de madera flexible como madera de samba que se adaptan a la curvatura y permiten la variación dimensional. Estos están dispuestos de forma horizontal. En lugar de la forma normal de los travesaños, en este caso se realiza con una forma ovalada. De esta manera se amolda completamente a la superficie. En el caso de los travesaños rectangulares solo entra en contacto directo los extremos y el centro. Encima de estos travesaños se encuentran otros travesaños con madera de samba dispuestos verticalmente (la cantidad de travesaños dependerá del tamaño de la obra). Estos últimos están adheridos a los travesaños anteriores. Encima de estos se encuentran unos travesaños de pino con mayor dureza que la madera de samba. Le otorga cierta rigidez al sistema. Este travesaño es el que ejerce presión sobre el sistema flexible adaptándolo a la curvatura. Estos

travesaños se sujetan por medio de unas abrazaderas de pino que son los únicos elementos adheridos al reverso de la tabla. A través de ellos se desliza el travesaño. Por encima de los travesaños de pino y apoyándose en los travesaños ovalados se encuentran unos listones de pino que son los encargados de ejercer presión sobre el sistema en diferentes puntos a los ofrecidos por el travesaño central. En los extremos donde van a entrar en contacto con los travesaños ovalados se encolan dos cuadrados de Plastazote® que amortiguan los movimientos. En la parte superior central se encola otro cuadrado de Plastazote® que irá en contacto con la trasera.

Por otra parte el marco se prepara con Plastazote® por todo el perímetro para proteger el anverso y los laterales de la tabla de rozaduras. Permite los movimientos de hinchazón y merma de la tabla. Después de introducir la obra y el sistema en el marco, este se cierra con la trasera. El material puede ser un contrachapado, cartón pluma, policarbonato, etc. Las esquinas se cortan en ángulos para permitir la ventilación y evitar condensaciones. La trasera sujeta todos los elementos libres y actúa como barrera ante los cambios termohigrométricos. Para cerrar del todo el sistema se emplean flejes metálicos solo atornillados al marco, de esta manera solo moviéndolos podemos extraer el refuerzo y la obra³⁶. (Diagrama. 2).

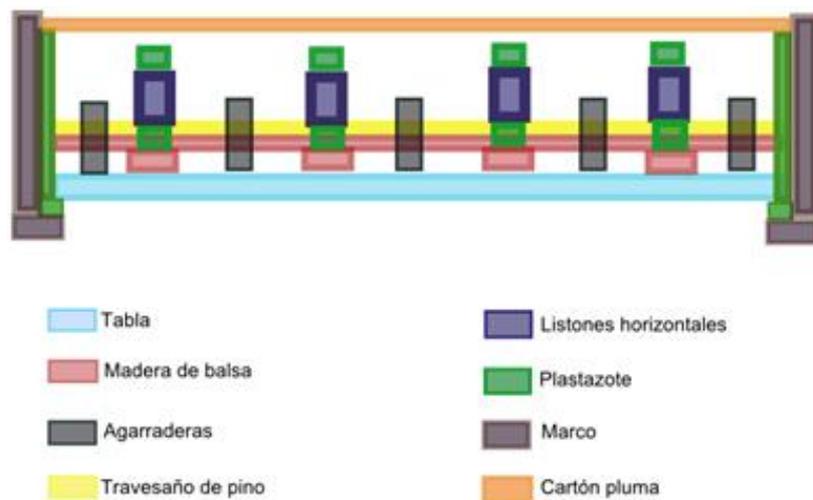


Diagrama. 2. Marco perimetral y soporte de apoyo flexible.

³⁶ Sistema empleado en la obra *Death of Orpheus* de Keirincx-Savery. Véase en: AA.VV. *Facing the challenges of Panel Paintings Conservation: Trend, treatments and trainings* [en línea]. Los Ángeles: The Getty center, 2009, [fecha de consulta 17 de abril 2011]. Disponible en: http://www.getty.edu/conservation/publications/videos/conference_videos/facing_challenges_day1.html#2

Este sistema tiene varios aspectos positivos por una parte se trata de un sistema muy reversible en cuanto a la extracción. Los únicos elementos adheridos a la tabla son las abrazaderas de pino. Otro aspecto positivo es que el material empleado es afín al original. Por último el empleo de materiales flexibles que se adaptan con gran facilidad a la curvatura.

El principal aspecto negativo es que se trata un sistema que a pesar de ser muy reversible es excesivo y muy invasivo visualmente. Otro aspecto negativo es que las abrazaderas de pino con el paso del tiempo, la presión que ejercen los travesaños de pino, la pérdida de las propiedades de la resina y sumándole las variaciones de la madera original acabarán por saltar.

7.4. VITRINAS

Otro sistema de estabilización es el indirecto por medio del empleo de las vitrinas.

Una vez se encuentran en los museos las obras, cada una requiere de un cuidado diferente y en ocasiones resulta necesario crear un ambiente independiente para cada pieza. En estos casos es conveniente el empleo de vitrinas con el fin de crear un microclima y de esta manera controlar la humedad y la temperatura. Pero además de esta gran ventaja también se encuentran otras como la protección contra los contaminantes atmosféricos, la radiación ultravioleta, golpes y robos.

Para una buena elección de una vitrina en el caso de pintura sobre tabla hay que tener en cuenta varios factores: el estado de conservación de la pieza, el alabeo de la tabla, el estado de conservación de los bordes donde va a apoyar, la posición más frágil y el historial de las condiciones habituales en las que se encontraba la obra. Otro aspecto a tener en cuenta es la sencillez, al menos externa, que debe tener la vitrina. No debe llamar la atención por sí sola. El tamaño debe ser acorde a la obra y debe tener la iluminación necesaria teniendo en cuenta la sensibilidad de cada pieza. También es importante que la vitrina no actúe como espejo y refleje el exterior.

Para la creación de un microclima dentro de la vitrina se emplean materiales como el gel de sílice o el Art-sorb. El gel de sílice³⁷ y el Art-sorb³⁸ son materiales con la capacidad de absorber y ceder humedad manteniendo niveles estables. La cantidad de producto a utilizar depende del volumen de la vitrina, de si está bien sellada, de si es un objeto higroscópico y del tipo de

³⁷ El gel de sílice es una sustancia química de aspecto cristalino, muy porosa, inerte, no tóxica, inodora, insoluble en agua ni en cualquier otro solvente, químicamente estable solo reacciona con el ácido fluorhídrico y el álcali.

³⁸ El Art-sorb está registrado por Fuji Silysia Chemical. Consiste en un 90% de sílice amorfo con una pequeña cantidad de sales higroscópicas (cloruro de litio) preacondicionado a un específico porcentaje de humedad que oscila entre el 40% y el 70% a intervalos de 5%.

formato empleado (en grano, en hojas). Debe ir repartido uniformemente para que la humedad sea la misma en todas las zonas.

En la actualidad ya no se habla de un porcentaje concreto de humedad o temperatura para mantener las obras, con valores casi imposibles de mantener. En el Instituto Canadiense de Conservación (ICC) hablan de niveles correctos y sobretodo de los incorrectos. No cambian las recomendaciones simplemente pretenden evitar los valores más peligrosos. En el caso de pintura sobre tabla las fluctuaciones son un poco más permisivas hasta de un $\pm 10\%$ ³⁹.

Las vitrinas suelen constar de una caja metálica de acero esmaltado compuesta por dos piezas: una frontal que configura el soporte para el material transparente y otra trasera. Posteriormente se refuerza con una cinta adhesiva por todo el perímetro de la vitrina, en su exterior. En el interior de la caja se prepara una plancha de Art-sorb con las dimensiones necesarias y una rejilla metálica que evita el contacto de la obra con cualquier material y permite la circulación del aire en el interior para que el Art-sorb pueda actuar. En la parte trasera de la vitrina se coloca un sistema de control de medición de la humedad y de la temperatura. Este sistema es visible desde el exterior mediante una ventanilla. La obra se ajusta en el interior colocando unas tiras de material aislante (inerte y libre de ácidos) en las zonas más idóneas. (Fig.27).

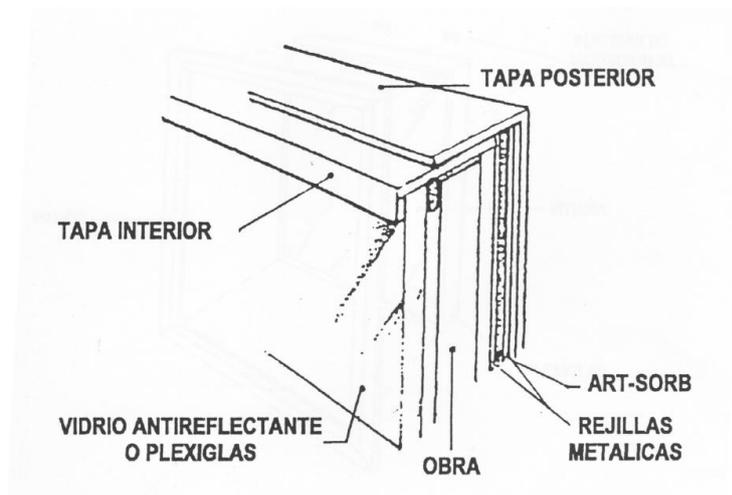


Fig. 27. Vitrina vista.

³⁹ MICHALSKI, S. "Relative humidity: A discussion of correct/incorrect values" X Reunión ICOM-Comite para la conservación. Washington, DC, 1993, p.624-629

Otro tipo de vitrina es la oculta. Este tipo de vitrinas acoge la tabla y se coloca en un marco. De esta manera solo se observa la protección transparente. (Fig. 28.)

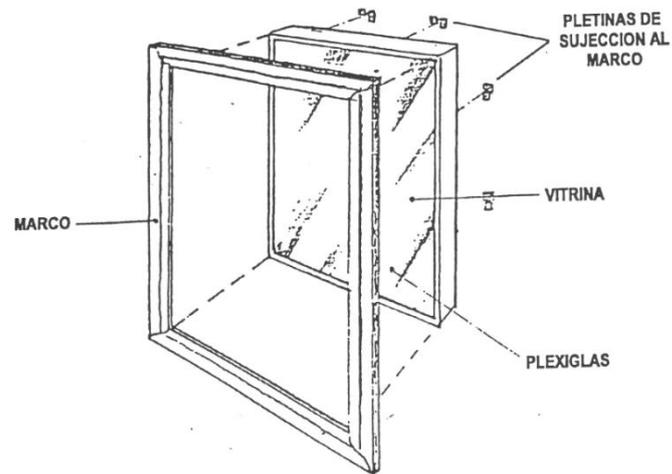


Fig. 28. Vitrina oculta⁴⁰.

⁴⁰ Imágenes 27 Y 28 tomadas de *Vitrinas climáticas*, SIT.

8. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA DE ESTUDIO

Todo el estudio va encaminado hacia una metodología de trabajo para conseguir obtener el sistema de estabilización más adecuado para esta obra. La obra escogida para realizar todo el estudio es la Santísima Trinidad⁴¹ atribuida al círculo de Vergara⁴². Se trata de una tabla del S.XVIII. Se escoge por las grandes variaciones dimensionales que sufre de manera continua, siendo visible, muchas veces a simple vista. Se trata de una tabla con una gran necesidad de estabilización, ya que si continúa sufriendo estas fluctuaciones continuas se producirán numerosos daños.

8.1. FICHA TÉCNICA

- | | |
|--|--------------------------------------|
| - Título: Trinidad. | - Dimensiones: 72'4x95'5x1'9 cm. |
| -Firma o inscripción: No posee. | - Autor: Círculo de Vergara. |
| -Procedencia: Santa Iglesia Catedral Basílica
Metropolitana de Santa María. Valencia. | - Época: S.XVIII. |
| -Técnica: Óleo sobre tabla. | - Nº Inventario: 46.15.250-006.0150. |



Fig. 29. Anverso.



Fig. 30. Reverso

⁴¹ La Trinidad es uno de los misterios del cristianismo. Solo existe un Dios único en tres. Padre, hijo y Espíritu Santo. Tertuliano fue el primero en usar el término Trinidad en el año 215 d.C.

⁴² Vergara Gimeno, José (1726-1799). Inicó su formación artística en el taller de su padre y con Evaristo Muñoz discípulo de Palomino. Es uno de los principales artistas del S.XVIII que protagonizan el tránsito del Barroco al Academicismo en Valencia.

8.2. ASPECTOS TÉCNICOS

En cuanto al soporte la madera utilizada en esta obra es una madera de pino. Se compone por cinco paños dos de ellos de corte tangencial, dos de corte subradial y uno de corte radial. (Diagrama. 3).

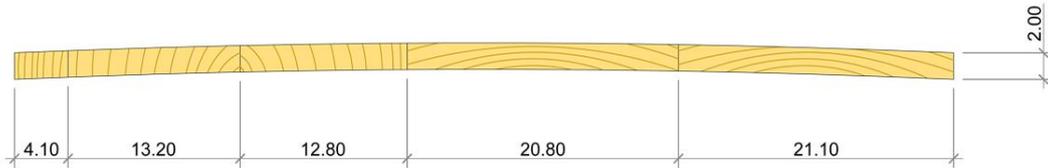


Diagrama. 3. Primer paño corte radial, segundo y tercer paño de corte subradial, cuarto y quinto tangencial. (de izquierda a derecha).

Las uniones de los paños son uniones vivas muy posiblemente realizadas con un adhesivo orgánico. Los paños tangenciales se encuentran reforzados por dobles colas de milano encastradas en el reverso, nueve en total. Solo permanecen tres de las dobles colas de milano originales. Se encuentran en la unión del tercer y el cuarto paño.

El resto de las dobles colas de milano también eran originales, pero al estar provocando daños fueron eliminadas y sustituidas por listones encolados creando la forma de la doble cola de milano. Estas nuevas dobles colas de milano ya no tienen función de refuerzo, sólo de relleno. (Diagrama. 4.).

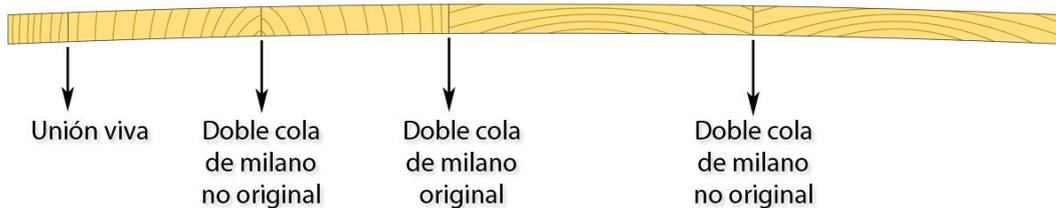


Diagrama. 4. Tipos de unión de la tabla.

Se observan en el quinto paño cuatro orificios de una antigua doble cola de milano metálica atornillada, se eliminó con posterioridad y no se sustituyó por nada. No se trata de una doble cola de milano original ya que era metálica y no se encontraba encastrada como es el caso de

las anteriores. Por en medio de estos cuatro orificios hay una grieta, ya intervenida, que recorre de arriba abajo la tabla. Posiblemente se colocó para intentar reforzar esa zona.

La tabla presenta numerosos nudos. La mayoría de ellos vivos aunque hay algunos muertos⁴³. Se observan también seis incisiones, dos en cada lateral de la tabla. Posiblemente la obra disponía de algún sistema de anclaje que sujetaba la tabla a través de unos enganches.

Los continuos movimientos de la tabla y la pérdida de las propiedades del adhesivo⁴⁴ han producido grietas en las zonas de unión de los paños tangenciales y subradiales. Exactamente la grieta más grande se ha producido entre el cuarto y el quinto paño, ambos de corte tangencial. Esto se debe a que en estos dos paños se encuentran los anillos de crecimiento más longitudinales y por lo tanto el alabeo o la contracción que se produce es mayor. La única unión que no ha ofrecido problemas a la tabla es la unión entre el primer paño radial y el segundo subradial. Se debe principalmente por la gran estabilidad que otorga un corte radial y por otra parte el corte subradial, también tiene buena estabilidad. Por lo tanto el alabeo es menor que en el caso de un corte tangencial. (Diagrama. 5).

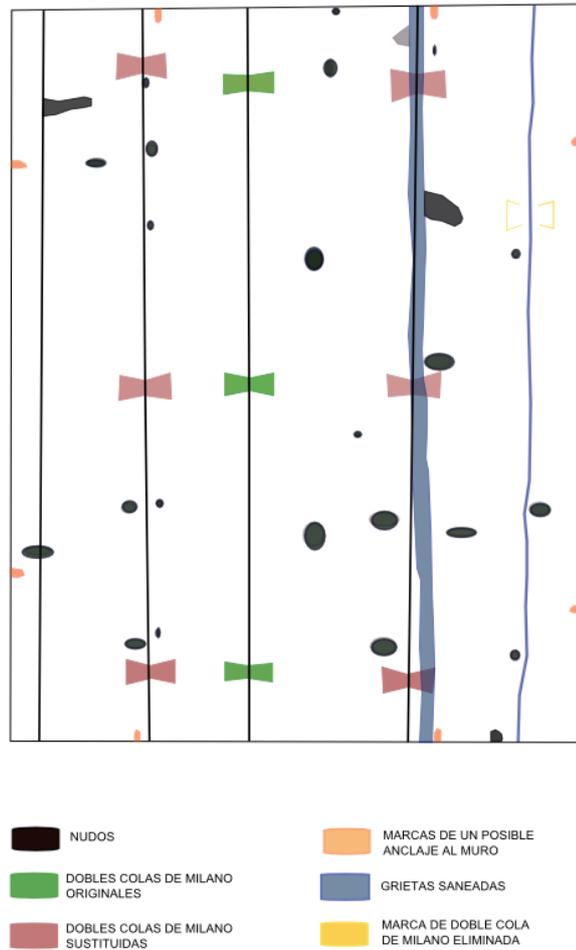


Diagrama. 5. Croquis reverso "La Trinidad".

⁴³ Los nudos vivos se producen cuando el crecimiento diametral del tronco envuelve ramas vivas. Forman parte integral de la pieza. Los nudos muertos se producen cuando el crecimiento diametral del tronco envuelve ramas muertas. No forman parte integral de la madera y terminan por desprenderse de la pieza.

⁴⁴ Pierde las propiedades de resistencia y flexibilidad y no puede acompañar los continuos cambios.

Como se puede observar la mala elección del tipo de corte ha desencadenado la mayoría de las patologías que sufre la obra. Queda en evidencia la importancia de una buena elección del material y el tipo de corte a elegir.

Respecto a la preparación teniendo en cuenta la época de realización de la obra se trata de una preparación tradicional proteica. Se basa en el empleo de cola de animal como aglutinante proteico y una carga inerte como sulfato cálcico y carbonato cálcico. Está directamente aplicada de manera uniforme sobre la tabla y no hay presencia de tela o estopa.

En cuanto a la película pictórica se trata de pintura al óleo. Es una pintura sin empastes, con una paleta de colores cálidos en casi toda la composición. La obra seguramente se encontraría barnizada, como era habitual en las pinturas al óleo.

El estado de conservación de la pieza es bueno después de las restauraciones realizadas. Se ha realizado una limpieza, saneamiento de las grietas⁴⁵, saneamiento de nudos⁴⁶ e injertos de las dobles colas de milano originales perdidas⁴⁷.

La mayoría de las patologías de la capa pictórica son el reflejo de lo que está sucediendo en el soporte. La laguna más grande coincide con la grieta formada en la unión del cuarto y quinto paño. Otra de las lagunas más grande coincide con la grieta saneada con madera de balsa. Otra laguna es la ocasionada por la unión del segundo y el tercer paño.

⁴⁵ Injertos de piezas de madera en forma de "V" para la grieta más grande. Un total de 16 fragmentos dispuestos en el mismo sentido de las fibras. Injertos con madera de balsa y estuco de serrín y cola para las grietas más pequeñas.

⁴⁶ Estucado de las zonas del perímetro del nudo que tienen orificios con una mezcla de serrín y cola vinílica.

⁴⁷ Las piezas con forma de doble cola de milano se formaron con pequeños listones de madera de pino dispuestos en el mismo sentido de las fibras. Estos listones están encolados entre sí con cola vinílica.

9. SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LAS DEFORMACIONES DE LA MADERA

Las mediciones se realizaron dos días a la semana durante seis meses con la intención de poder observar las variaciones que sufre la tabla en conjunto y en cada uno de sus paños en un ambiente no controlado climáticamente. De esta manera se puede tener en cuenta el sistema de estabilización más adecuado para esta obra.

Existen diferentes sistemas de medición para tener constancia del movimiento que tiene la madera. Los empleados para este estudio son el comparador centesimal y el calibrador con indicador de cuadrante o carátula. Son sistemas muy sencillos pero que ofrecen una gran precisión.

9.1. COMPARADOR CENTESIMAL

Este sistema consta principalmente de un reloj comparador y un soporte. El comparador centesimal realiza una medición indirecta. Consiste en una caja metálica atravesada por una varilla desplazable axialmente en 10mm. En su desplazamiento la varilla hace girar, por medio de unos engranajes, una aguja que señalará sobre una esfera dividida en 100 partes el espacio recorrido por la varilla. De esta forma una vuelta completa de la aguja representa 1mm de desplazamiento de la varilla. Una segunda aguja más pequeña indica milímetros enteros⁴⁸.

Este comparador se monta sobre un soporte que es por donde se desplaza el sistema para poder tomar diferentes medidas. Para poder tener un punto de medición fijo es muy importante no mover la posición y la inclinación en la que se coloca el comparador. (Fig.31).

En este estudio se dibujaron tres puntos en el soporte por donde se desplaza el comparador para medir los diferentes puntos. Para asegurar que el sistema no se mueve se dibuja la posición del sistema en la mesa donde se va a medir. Por otra parte también se marca en la mesa la posición de la tabla. En el anverso de la tabla, en la parte superior, se sitúan los tres puntos que se quieren medir. Para no dañar la obra se coloca papel japonés. Una vez colocado el papel japonés y montado el sistema, se coloca la varilla del comparador encima de esta protección y se marca el punto exacto donde se debe medir.

⁴⁸ Véase en: AA.VV. *Comparadores*. [En línea]. Guipuzcoa: UNI Eibar. [fecha de consulta 8 marzo 2011]. Disponible en: http://www.iesunibhi.com/ikasleak/FileStorage/view/alumnos/METROLOG%C3%8DA_6_-_Comparadores.pdf



Fig. 31. Comparador centesimal

9.2. CALIBRADOR CON INDICADOR DE CUADRANTE O CARÁTULA

Este sistema es el pie de rey⁴⁹ común pero lleva acoplada una escala a modo de reloj. La aguja es movida por un mecanismo basado en engranes, en relación con una cremallera a lo largo de la regleta. (Fig. 31).

En nuestro caso empleamos la medición de la profundidad. De esta manera obtenemos el alabeo que se crea en diferentes puntos. En un principio el sistema empleado fue el comparador centesimal, pero sólo se pueden medir tres puntos de la tabla. Esto se debe a que el comparador debía mantenerse en un mismo sitio sin moverlo. En este caso en el centro de la tabla y los paños laterales quedaban sin medir. La solución fue emplear el calibrador con indicador de carátula que no tiene límite de puntos.

Se escogieron ocho puntos en el borde superior y a la misma distancia en el borde inferior. De esta forma se obtiene el alabeo de las dos partes y las diferencias de variación entre ellas. Con este sistema se pueden realizar lecturas de hasta 0'05 o 0'02mm. Es una forma muy sencilla y precisa de tener constancia de las variaciones de la tabla.

⁴⁹ El pie de rey es uno de los instrumentos mecánicos más empleados para la medición del interior, exterior y profundidad de objetos.

Es importante tener en cuenta que para poder entender las diferentes variaciones se debería llevar un control de la temperatura y de la humedad. En este caso no se podía hacer porque la obra no se encuentra en un sitio fijo y está sometida a grandes variaciones termohigrométricas. Por una parte se encuentra en un aula prefabricada, en el almacén. El almacén está situado al norte por lo que la temperatura en la que se encuentra es menor que en los otros lugares. Además en la pared donde está situada la obra hay un orificio. De esta manera, por una parte está en continuo contacto con la humedad y temperatura del exterior y por otra con la del interior. Por otra parte en horas de clase la obra se encuentra en el aula. En este caso en invierno muchas veces está la calefacción y en verano el aire acondicionado. Todo esto dificulta mucho llevar un control exacto de las variaciones termohigrométricas.

La solución sería colocar un termohigrómetro en cada zona donde se encuentra la tabla. Pero aun así, la tabla se encuentra en la universidad temporalmente. Lo más interesante sería tener un control de la temperatura y la humedad del lugar donde va a estar definitivamente la obra.



Fig. 32. Calibrador con indicador de carátula.

10. RESULTADOS OBTENIDOS

Para el **comparador centesimal** se escogieron estos tres puntos porque debía estar fijo en un sitio. Se consideraron estos tres puntos en el centro de la tabla como los más relevantes. Se suponía que en estas zonas se iban a registrar más cambios. (Diagrama. 6.)

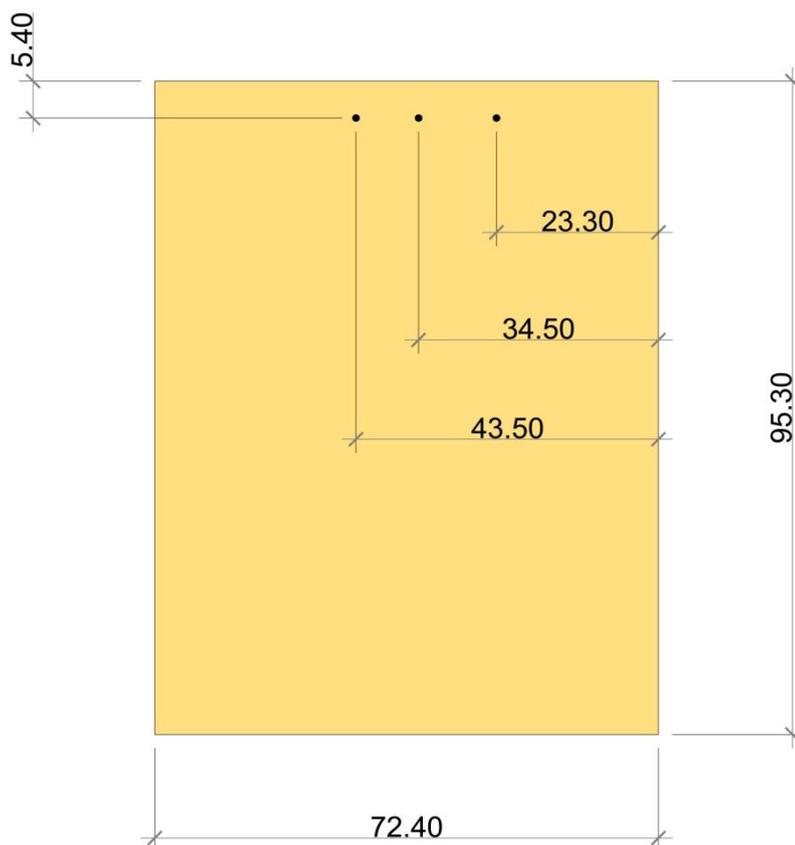


Diagrama. 6. Situación de los puntos de medición del comparador centesimal.

Los resultados obtenidos por el comparador centesimal son los siguientes:

FECHA	P 1	Variación diaria	P 2	Variación diaria	P 3	Variación diaria
08/02/2011	3,71		1,62		0,94	
15/02/2011	6,19	+2,48	6,19	+4,57	3,74	+2,8
18/02/2011	7,36	+1,17	7,51	+1,32	4,43	+0,69
22/02/2011	7,26	-0,10	8,86	+1,35	4,46	+0,03
01/03/2011	10,41	+3,15	11,39	+2,53	7,59	+3,13
08/03/2011	7,96	-2,45	8,75	-2,64	4,14	-3,45
11/03/2011	4,53	-3,43	5	-3,75	2,66	-1,48
22/03/2011	4,85	+0,32	6,61	+1,61	1,39	-1,27
25/03/2011	4,36	-0,49	4,83	-1,78	0,61	-0,78
29/03/2011	4,38	+0,02	5,15	+0,32	2,91	+2,3
01/04/2011	4,28	-0,10	5,8	+0,65	2	-0,91
05/04/2011	4,89	+0,61	3,43	-2,37	0,58	-1,42
15/04/2011	4,49	-0,40	5,83	+2,40	2,13	+1,55
19/04/2011	5,53	+1,04	5,38	-0,45	2,24	+0,11
03/05/2011	0,40	-5,13	1,13	-4,25		
06/05/2011	1,13	+0,73	1,63	+0,50		
10/05/2011	0,79	-0,34	1,13	-0,50		
13/05/2011	1,17	+0,38	1,76	+0,63		
17/05/2011	1,44	+0,27	1,91	+0,15		
20/05/2011	1,87	+0,43	2,19	+0,28		
24/05/2011	3,53	+1,66	4,23	+2,04	1,32	
27/05/2011	4,64	+1,11	5,22	+0,99	2,29	+0,97
31/05/2011	2,58	-2,06	3,18	-2,04	0,41	-1,88
02/06/2011	4,75	+2,17	5,33	+2,15	2,49	+2,08
07/06/2011	4,61	-0,14	4,29	-1,04	1,39	-1,1

Tabla 1. Mediciones del comparador centesimal.

En las primeras mediciones del 08/02/2011 hasta el 22/02/2011 los valores van incrementándose hasta alcanzar su punto más alto el día 01/03/2011 en el punto 2 con 11'39mm. Esto significa que durante este periodo de tiempo, la tabla disminuye su curvatura, por lo que los puntos de medición están más alejados del comparador.

Los valores empiezan a descender hasta el 11/03/2011 a partir de este momento los valores empiezan a mantenerse estables hasta el 03/05/2011. Los puntos más bajos se encuentran entre el 03/05/2011 al 20/05/2011. Por lo que durante este periodo la curvatura es mayor. El punto 1 y el punto 2 registran una curvatura menor durante todo el periodo de medición y el punto 3 registra una curvatura mayor. Sin embargo en estos días (03/05/2011 al 20/05/2011) no se pudo medir el punto 3, la varilla del comparador no alcanzaba a tocar la tabla en este punto ya que la curvatura era muy pequeña. A partir del 24/05/2011 los valores vuelven a

aumentar volviendo a los parámetros en los que se encontraba más estable. Por lo que la curvatura vuelve a descender en los puntos 1 y 2, lo contrario que sucede en el punto 3 que aumenta la curvatura.

Al analizar los datos en cada uno de los puntos de medición, observamos que la curvatura es menor en el punto 2 por lo tanto encontramos los valores más altos. Este punto se encuentra en el cuarto paño tangencial. La mayor curvatura se encuentra en el punto 3 situado también en el cuarto paño tangencial pero en el extremo. En este punto los valores son más bajos.

Durante todo el periodo de medición en ningún momento se ha vuelto a registrar el valor de la primera medición. El cambio más brusco que sufre respecto a la medición inicial es de un 9'77 mm. en el punto 2. El siguiente más acusado es de 6,7mm en el punto 1. Y por último 6,65mm en el punto 3. Todos se producen el 01/03/2011. El valor que más cerca se encuentra de la primera medición es con una diferencia de 0'01mm. Este se encuentra también en el punto 2 el día 06/05/2011.

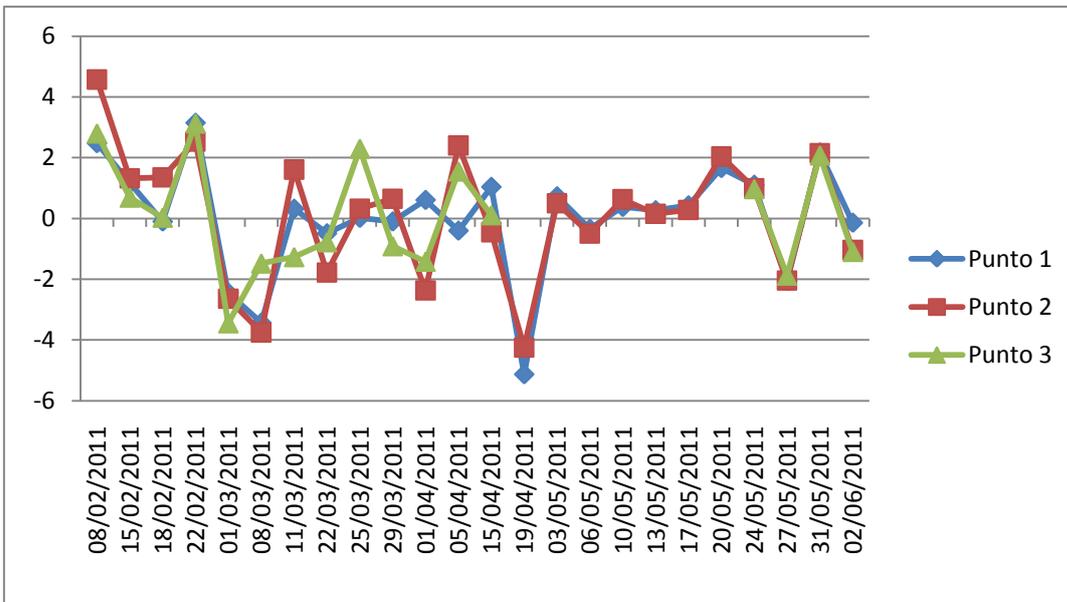


Diagrama. 7. Variación diaria con el comparador centesimal.

Los puntos rojos que aparecen en la tabla son el incremento o descenso de la curvatura de la tabla. Estos valores son la diferencia de variación con la medición inmediatamente anterior. Los valores positivos representan el descenso de la curvatura y los valores negativos el aumento de la curvatura. Como se observa en el diagrama 7 hay unas fluctuaciones continuas en los tres puntos, aunque de una manera más acusada en el punto 2. La variación más brusca de un día a otro se encuentra en el punto 1 el 03/05/2011 llegando a aumentar de curvatura 5'13 mm. El mismo día en el punto 2 hay un aumento también muy brusco de 4,25mm. Por otra parte la

disminución más brusca de la curvatura de la tabla se encuentra en el punto 2 el 15/02/2011 con un 4,57mm. Otra de las variaciones más bruscas que encontramos es en el punto 1 y el punto 3 el día 01/03/2011. Con un descenso de la curvatura de 3,15 y 3,13mm., respectivamente.

En el caso del **calibrador con indicador de carátula** se escogieron ocho puntos para poder medir toda la tabla y tener constancia de las variaciones de cada paño. Cada punto se divide en A y B. Los puntos A obtenidos son los que encontramos en el borde superior y los puntos B son los del borde inferior. Se tuvo la necesidad de aumentar los puntos de medición ya que con los puntos del comparador los paños laterales quedaban sin medir. Por esta razón la fecha de la primera medición es el 01/03/2011. (Diagrama. 8.)

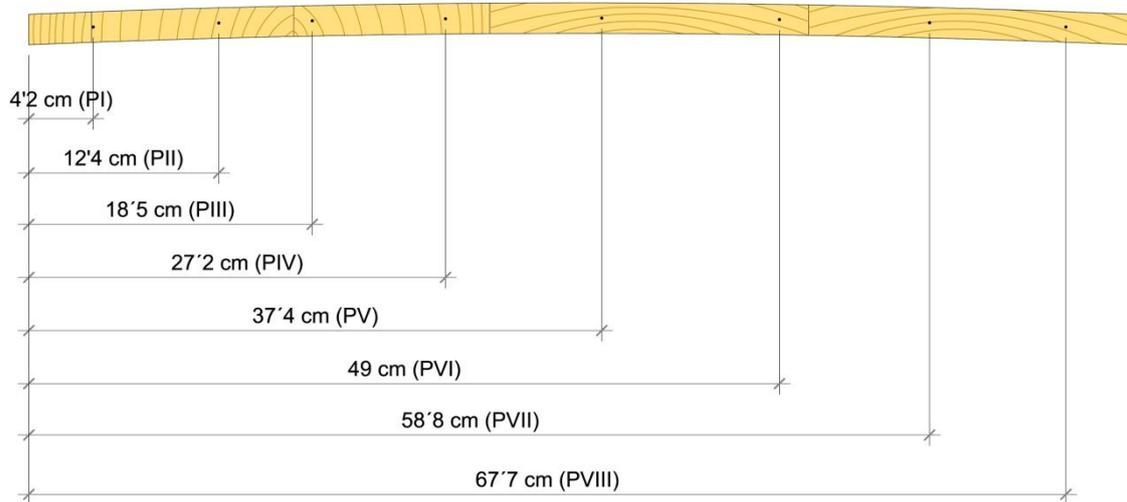


Diagrama. 8. Situación de los puntos de medición del calibrador con indicador de carátula.

Los resultados obtenidos por el calibrador con indicador de caratula son los siguientes:

FECHA	P 1	V. diaria	P 2	V. diaria	P 3	V.diaria	
01/03/2011	2,23		2,72		3,16		A
	2,25	+0,02	2,85	+0,13	3,13	-0,03	B
08/03/2011	2,1	-0,15	2,56	-0,29	2,87	-0,26	A
	2,1	0	2,6	+0,04	2,7	-0,17	B
11/03/2011	2,16	+0,06	2,58	-0,02	2,76	+0,06	A
	2,13	-0,03	2,58	0	2,75	-0,01	B
22/03/2011	2,18	+0,05	2,45	-0,13	2,61	-0,14	A
	2,13	-0,05	2,5	+0,05	2,67	+0,06	B
25/03/2011	2,15	+0,02	2,36	-0,14	2,61	-0,06	A
	2,13	-0,02	2,42	+0,06	2,53	-0,08	B
01/04/2011	2,13	0	2,41	-0,01	2,6	+0,07	A
	2,1	-0,03	2,5	+0,09	2,76	+0,16	B
05/04/2011	2,14	+0,04	2,35	-0,15	2,58	-0,18	A
	2,12	-0,02	2,44	+0,09	2,62	+0,04	B
15/04/2011	2,17	+0,05	2,3	-0,14	2,74	+0,12	A
	2,13	-0,04	2,52	+0,22	2,68	-0,06	B
19/04/2011	2,13	0	2,41	-0,11	2,77	+0,09	A
	2,17	+0,04	2,53	+0,12	2,69	-0,08	B
03/05/2011	2,07	-0,1	2,1	+0,43	2,3	-0,39	A
	2,1	+0,03	2,2	+0,1	2,3	0	B
06/05/2011	2,06	-0,04	2,19	-0,01	2,36	+0,06	A
	2,06	0	2,2	+0,01	2,36	0	B
10/05/2011	2,06	0	2,17	-0,03	2,35	-0,01	A
	2,06	0	2,2	+0,03	2,2	-0,15	B
13/05/2011	2,05	-0,01	2,19	-0,01	2,3	+0,1	A
	2,03	-0,02	2,2	+0,01	2,37	+0,07	B
17/05/2011	2,02	-0,01	2,19	-0,01	2,39	+0,02	A
	2,04	+0,02	2,2	+0,01	2,36	-0,03	B
20/05/2011	2,07	-0,03	2,21	+0,01	2,44	+0,08	A
	2,02	-0,05	2,29	+0,08	2,38	-0,06	B
24/05/2011	2,08	+0,06	2,29	0	2,5	+0,12	A
	1,99	-0,09	2,38	+0,09	2,48	-0,02	B
27/05/2011	2,1	+0,11	2,33	-0,05	2,6	+0,12	A
	2,08	-0,02	2,44	+0,11	2,5	-0,1	B
31/05/2011	2,08	0	2,24	-0,2	2,44	-0,06	A
	2,06	-0,02	2,34	+0,1	2,4	-0,04	B
02/06/2011	2,08	+0,02	2,2	-0,14	2,5	+0,1	A
	2,1	+0,02	2,48	+0,28	2,68	+0,18	B
07/06/2011	2,08	-0,02	2,29	-0,19	2,5	-0,18	A
	2,08	0	2,38	+0,09	2,49	-0,01	B

Tabla 2. Mediciones de los puntos 1,2 y 3.

FECHA	P 4	V. diaria	P 5	V. diaria	P 6	V. diaria	
01/03/2011	3,69		3,71		3,48		A
	3,53	-0,16	3,72	+0,01	3,52	+0,04	B
08/03/2011	3,28	-0,25	3,31	-0,41	3,18	-0,34	A
	3,13	-0,15	3,37	+0,06	3,14	-0,04	B
11/03/2011	3,12	-0,01	3,21	-0,16	3,1	-0,04	A
	3,23	+0,11	3,27	+0,06	3,72	+0,62	B
22/03/2011	3,73	+0,5	3,17	-0,1	2,98	-0,74	A
	2,9	-0,83	3,7	+0,53	2,92	-0,06	B
25/03/2011	3,1	+0,2	3,02	-0,68	2,9	-0,02	A
	2,71	-0,39	3,1	+0,08	2,83	-0,07	B
01/04/2011	3,09	+0,38	3,1	0	3,09	+0,26	A
	2,94	-0,15	3,16	+0,06	2,95	-0,14	B
05/04/2011	2,94	0	3,4	+0,24	2,85	-0,1	A
	2,81	-0,13	3	-0,4	2,85	0	B
15/04/2011	3,07	+0,26	3,12	+0,12	2,97	+0,12	A
	2,99	-0,08	3,18	+0,06	2,98	+0,01	B
19/04/2011	3,14	+0,15	3,24	+0,06	2,99	+0,01	A
	2,99	-0,15	3,19	-0,05	2,99	0	B
03/05/2011	2,7	-0,29	2,72	-0,47	2,6	-0,39	A
	2,53	-0,17	2,69	-0,03	2,5	-0,1	B
06/05/2011	2,77	+0,24	2,78	+0,09	2,52	+0,02	A
	2,59	-0,18	2,75	-0,03	2,5	-0,02	B
10/05/2011	2,61	+0,02	2,77	+0,02	2,5	0	A
	2,54	-0,07	2,6	-0,17	2,5	0	B
13/05/2011	2,75	+0,21	2,85	+0,25	2,6	+0,1	A
	2,6	-0,15	2,79	-0,06	2,65	+0,05	B
17/05/2011	2,79	+0,19	2,85	+0,06	2,7	+0,05	A
	2,64	-0,15	2,79	-0,06	2,61	-0,09	B
20/05/2011	2,79	+0,15	2,85	+0,06	2,69	+0,08	A
	2,63	-0,16	2,73	-0,12	2,67	-0,02	B
24/05/2011	2,9	+0,27	2,97	+0,24	2,79	+0,12	A
	2,78	-0,12	2,94	-0,03	2,82	+0,03	B
27/05/2011	2,98	+0,2	3,05	+0,11	2,8	-0,02	A
	2,88	-0,1	3,06	+0,01	2,87	+0,07	B
31/05/2011	2,82	-0,06	2,89	-0,17	2,7	-0,17	A
	2,68	-0,14	2,84	-0,05	2,68	-0,02	B
02/06/2011	2,93	+0,25	3	+0,16	3,06	+0,38	A
	2,93	0	3,13	+0,13	2,93	-0,13	B
07/06/2011	2,88	-0,05	2,98	-0,15	2,79	-0,14	A
	2,76	-0,12	2,94	-0,04	2,75	-0,04	B

Tabla 3. Mediciones de los puntos 4,5 y 6.

FECHA	P 7	V. diaria	P 8	V. diaria	
01/03/2011	3,34		2,42		A
	3,15	-0,19	2,42	0	B
08/03/2011	2,83	-0,32	2,29	-0,13	A
	2,86	+0,03	2,31	+0,02	B
11/03/2011	2,79	-0,07	2,28	-0,03	A
	2,72	-0,07	2,27	-0,01	B
22/03/2011	2,67	-0,05	2,24	-0,03	A
	2,73	+0,06	2,28	+0,04	B
25/03/2011	2,52	-0,21	2,2	-0,08	A
	2,64	+0,12	2,23	+0,03	B
01/04/2011	2,6	-0,04	2,23	0	A
	2,74	+0,14	2,25	+0,02	B
05/04/2011	2,59	-0,15	2,1	-0,15	A
	2,65	+0,06	2,24	+0,14	B
15/04/2011	2,6	-0,05	2,2	-0,04	A
	2,77	+0,17	2,27	+0,07	B
19/04/2011	2,73	-0,04	2,17	-0,1	A
	2,77	+0,04	2,26	+0,09	B
03/05/2011	2,3	-0,47	2	-0,26	A
	2,4	+0,1	2,09	+0,09	B
06/05/2011	2,39	-0,01	2,09	0	A
	2,48	+0,09	2,17	+0,08	B
10/05/2011	2,3	-0,18	2,15	-0,02	A
	2,47	+0,17	2,02	-0,13	B
13/05/2011	2,47	0	2,18	+0,16	A
	2,5	+0,03	2,18	0	B
17/05/2011	2,47	-0,03	2,18	0	A
	2,48	+0,01	2,14	-0,04	B
20/05/2011	2,44	-0,04	2,17	+0,03	A
	2,57	+0,13	2,16	-0,01	B
24/05/2011	2,55	-0,02	2,19	+0,03	A
	2,62	+0,07	2,19	0	B
27/05/2011	2,64	+0,02	2,2	+0,01	A
	2,69	+0,05	2,23	+0,03	B
31/05/2011	2,49	-0,2	2,19	-0,04	A
	2,56	+0,07	2,19	0	B
02/06/2011	2,9	+0,34	2,18	-0,01	A
	2,73	-0,17	2,23	+0,05	B
07/06/2011	2,5	-0,23	2,1	-0,13	A
	2,51	+0,01	2,12	+0,02	B

Tabla 4. Mediciones de los puntos 7 y 8

La fecha en la que se registra el valor más alto es el día 01/03/2011 con un 3'72 en el punto 5/B. Las fechas con los valores más bajos se encuentran entre el 03/05/2011 al 20/05/2011. Lo mismo que sucede con el comparador centesimal.

Los puntos que registran los valores más altos y por tanto una mayor curvatura son el punto 4,5 y 6. Estos puntos corresponden al tercer paño subradial y al cuarto tangencial, coincidiendo con el centro de la tabla aproximadamente. El punto que sufre una mayor variación y curvatura es el punto 5. El punto 1 es el que tiene una menor variación y curvatura. Este se encuentra en el paño radial, en uno de los extremos de la tabla. El punto 8 tampoco sufre muchas variaciones, la curvatura permanece bastante estable en comparación con los puntos 4,5 y 6. Este punto coincide con el otro extremo de la tabla. El punto 2 es otro de los puntos en el que la curvatura es menor. Este punto se encuentra en el segundo paño de corte subradial. El punto 3 y el punto 7 aproximadamente sufren las mismas variaciones aunque en el punto 3 se encuentra una curvatura un poco menor. Esto se debe a que este punto se encuentra en un paño subradial y por lo tanto ha sufrido menos variación que el corte tangencial que se observa en los paños contiguos.

El punto 5 es donde se registra la mayor curvatura. Esto sucede porque se encuentra en el cuarto paño de corte tangencial. Es muy importante observar el dibujo que dejan los anillos de crecimiento. En este tipo de corte hay una gran tendencia a contraerse o curvarse que se va intensificando conforme nos alejamos de la médula del tronco. A esto hay que sumarle que los paños que se encuentran en el centro suelen tener mayor curvatura que los extremos porque tienen menor facilidad de movimiento. Absorben sus tensiones y la de los paños contiguos mientras que los paños que se encuentran en los extremos pueden liberar tensiones por uno de sus lados no adheridos a nada.

Entre los resultados obtenidos del extremo superior A y el extremo inferior B no se encuentran variaciones significativas. A pesar de que casi nunca coincidan en el resultado, al final de todo el estudio, sumando todos los resultados del A y todos los del B obtenemos el mismo resultado. Por lo que en este caso nuestra tabla varía de la misma manera en los dos extremos.

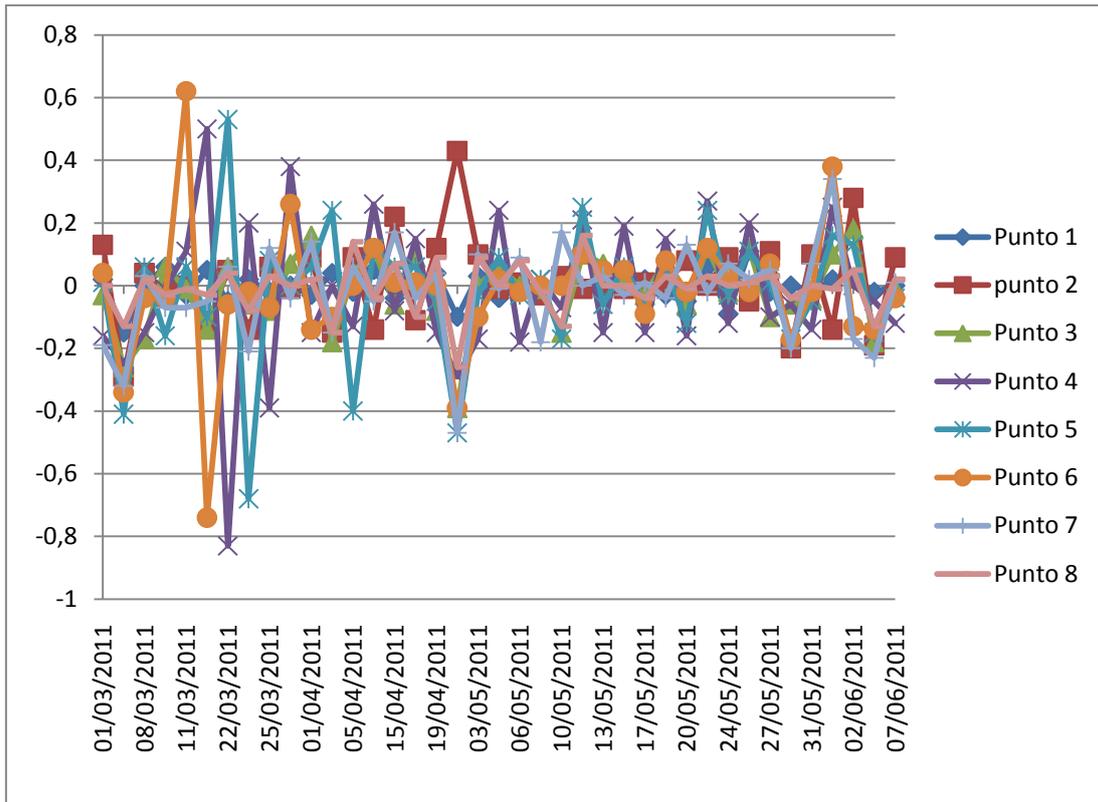


Diagrama. 9. Variación diaria con el calibrador con indicador de carátula.

En el caso de las variaciones diarias del calibre observamos lo mismo que con el comparador centesimal, hay fluctuaciones continuas. Especialmente las más bruscas se encuentran en el punto 4, 5 y 6. El día 22/03/2011 en el punto 4 la curvatura disminuye 0,83mm. Volviendo a aumentar en la medición siguiente 0,2mm. En el caso del punto 5, el mismo día, sufre un aumento de curvatura de 0,53mm, produciéndose en la medición siguiente un descenso de curvatura de 0,68mm. El punto 6 el día 11/03/2011 experimenta un aumento de la curvatura de 0,62mm y en la siguiente medición disminuye bruscamente un 0,74mm. En el caso de los otros puntos sucede lo mismo pero de manera menos brusca. En el punto 1 las variaciones son mínimas, aproximadamente variando 0,04mm y llegando a mantenerse estable en algún momento. Pero aun así está continuamente aumentando y descendiendo. En definitiva en todos los puntos aumenta y desciende la curvatura aunque sea mínimamente.

Con este estudio se observa la diferencia de las deformaciones en cada tipo de corte. Cada paño varía de manera independiente. En el caso del primer paño radial se observa la gran estabilidad que presenta. El segundo y tercer paño de corte subradial se observa mayor variación que en el paño radial pero menor que el cuarto y quinto paño de corte tangencial. Los valores más altos se encuentran en el corte tangencial. Queda en evidencia la importancia de la elección del corte adecuado de la madera.

Observando los resultados se aprecian las grandes oscilaciones que sufre la tabla. En momentos se estabiliza pero puede llegar a variar considerablemente en algunos momentos, llegando a ser apreciable a simple vista. La madera se encuentra en continuos procesos de sorción y desorción, intentando recuperar el equilibrio higroscópico. En este caso se manifiesta la necesidad de llevar un control estricto de la humedad y de la temperatura en la que se va a encontrar la tabla, ya que se trata de una tabla muy sensible a los cambios termohigrométricos. Debido a esto ha desarrollado casi todas las alteraciones que sufre tanto por el reverso como por el anverso. En forma de grietas que han llegado a levantar parte de la capa pictórica y a desestabilizar el soporte.

Respecto al empleo de un sistema de medición u otro es importante resaltar que se complementan perfectamente. Con el comparador puedes escoger los puntos que vayan a ser más relevantes (ya que no puedes desplazar durante el estudio el equipo) y de una manera clara se puede observar en las graficas la evolución de dichos puntos. Además con el comparador puedes medir la curvatura de dentro de la tabla, mientras que con el calibrador solo puedes, en este caso, medir el perímetro de la obra. Por otra parte con el calibrador puedes llevar un seguimiento de todos los puntos que quieras sin restricción. Con este sistema puedes tener constancia de las variaciones de todo el perímetro de la obra.

11. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN

Teniendo en cuenta todo el estudio realizado se considera como sistema más adecuado para esta obra un marco perimetral y soporte de apoyo flotante flexible. Además de aplicar este sistema sería aconsejable mantener la obra en un ambiente controlado y con una temperatura y humedad constante.

Como se comentó anteriormente este sistema flexible flotante consta de unos travesaños de una madera flexible y de poca densidad como la madera de samba. Se emplea Plastazote® como material amortiguador y todo el sistema va introducido en un marco que se cierra a través de una trasera de un material rígido. Ninguno de estos elementos va adherido a la tabla con el fin de dar cierta libertad de movimiento a la tabla y permitir una fácil extracción del sistema sin dañar la obra.

Para empezar, sería necesario fabricar un marco a medida que acoja toda la estructura de refuerzo.

Este marco tiene unas medidas de 99'1x75'9x6'80x0'9 cm por el exterior. Con estas medidas nos aseguramos que pueda acoger la tabla y todo el sistema. El marco lleva por todo el perímetro Plastazote®. Su finalidad principal es que la tabla se adapte perfectamente a él. Gracias a que es un material bastante moldeable la tabla descansa sobre él y le permite los movimientos. Otra de las finalidades que tiene es proteger la obra de posibles rozaduras tanto por el anverso como por los laterales. Con la utilización del Plastazote® nos aseguramos también que la obra no se desplace por el marco. Para ajustar del todo la tabla al marco se colocan dos listones de madera de samba en los laterales, entre la madera del marco y el Plastazote®. De esta manera se adapta a la curvatura, permitiendo apoyar los extremos de la tabla. Sin estos listones la tabla solo podría apoyar en la parte central donde la curvatura es mayor. Estos listones miden 72'4x3x0'5 cm.

Para cerrar el sistema se emplea policarbonato, este mide 99x75'9x0'5 cm. El policarbonato es un poliéster termoplástico que tiene muy buenas características como es la buena resistencia al impacto, estabilidad dimensional, buenas propiedades mecánicas y resistencia química. Pero una de las características más interesantes es que es transparente y permite observar el sistema sin necesidad de quitarlo. Al policarbonato se le realizan unos orificios con el fin de evitar condensaciones y favorecer la ventilación. La trasera va atornillada al marco para que pueda cerrar el sistema y ejerza la presión necesaria para que el sistema se amolde a la tabla.

Este sistema adaptado a esta tabla constaría de cuatro puntos de sujeción en el interior. Estos puntos estarían dispuestos dos entre las dobles colas de milano superiores y las dobles cola de milano intermedias. Los otros dos puntos de sujeción entre las dobles colas de milano intermedias y las inferiores. De esta manera permitimos que esas dobles colas de milano no

originales y originales no estén bloqueadas por el sistema. Estos cuatro travesaños flotantes tienen el mismo largo que el ancho de la tabla 72'4 cm y 3 cm de ancho.

Encima de estos cuatro travesaños se colocan rectángulos de Plastazote® con una medida de 3x2x0'5cm. Tres en cada uno de los travesaños, dos en los extremos y uno en el centro. Haciendo un total de doce. Estos se encolan a los travesaños con cola vinílica. Encima de cada uno de estos amortiguadores se encuentran doce listones de madera de samba. La medida de estos listones es de 10x3x0'5 cm. En la parte superior de estos listones se encolan dos piezas más de plastazote®, también de 3x2x0'5 cm. Uno en cada extremo, como si fuera una balanza.

En el anverso se emplea una protección mediante una lámina de plexiglás, con unas medidas de 90x75x0'3 cm. De esta manera se protege el anverso de golpes y principalmente junto con la trasera impide que haya un contacto directo con el ambiente. (Diagrama. 10).

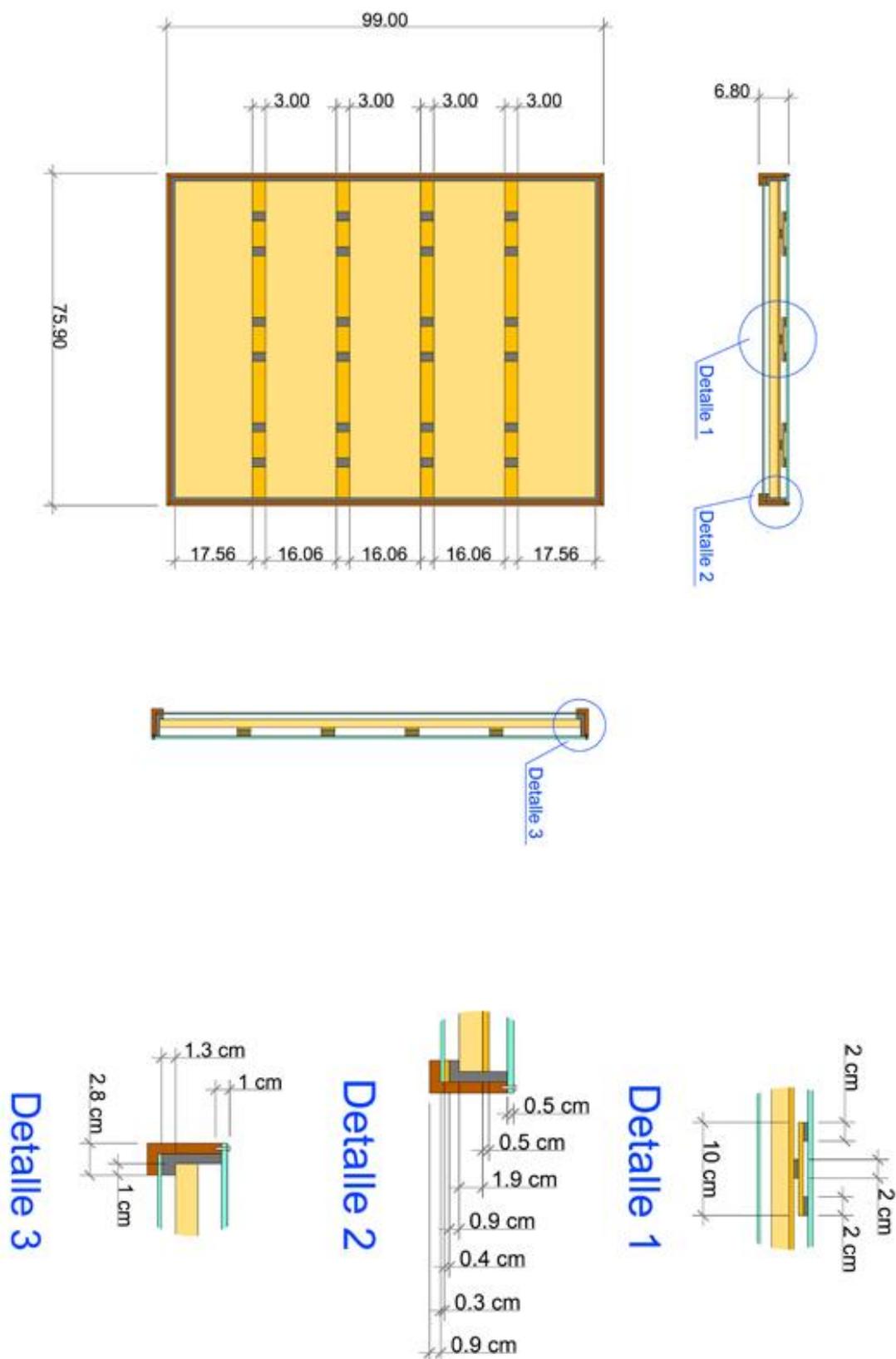


Diagrama. 10. Medidas acotadas del sistema de estabilización.



Fig. 33. Anverso del sistema.

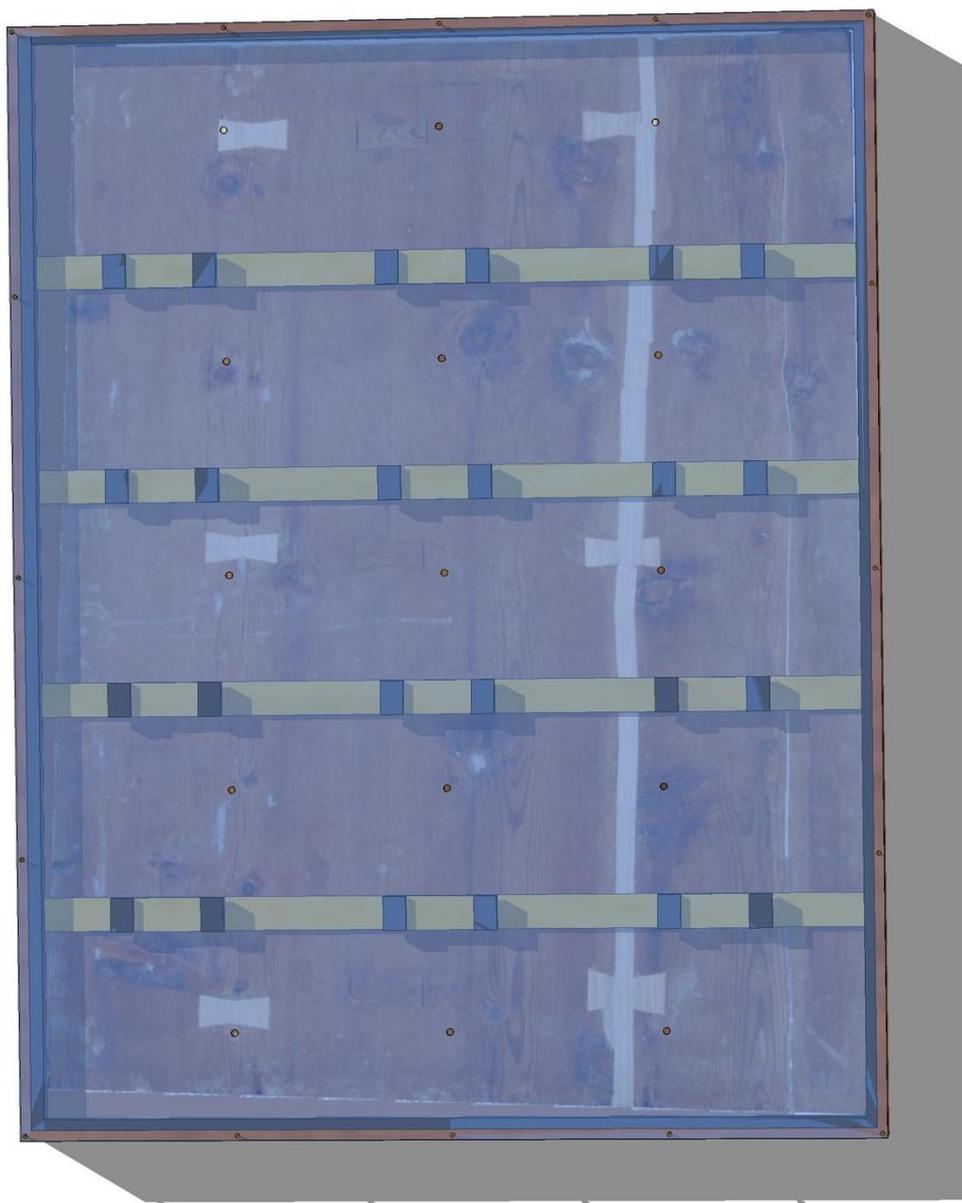


Fig. 34. Reverso de la obra dentro del sistema.

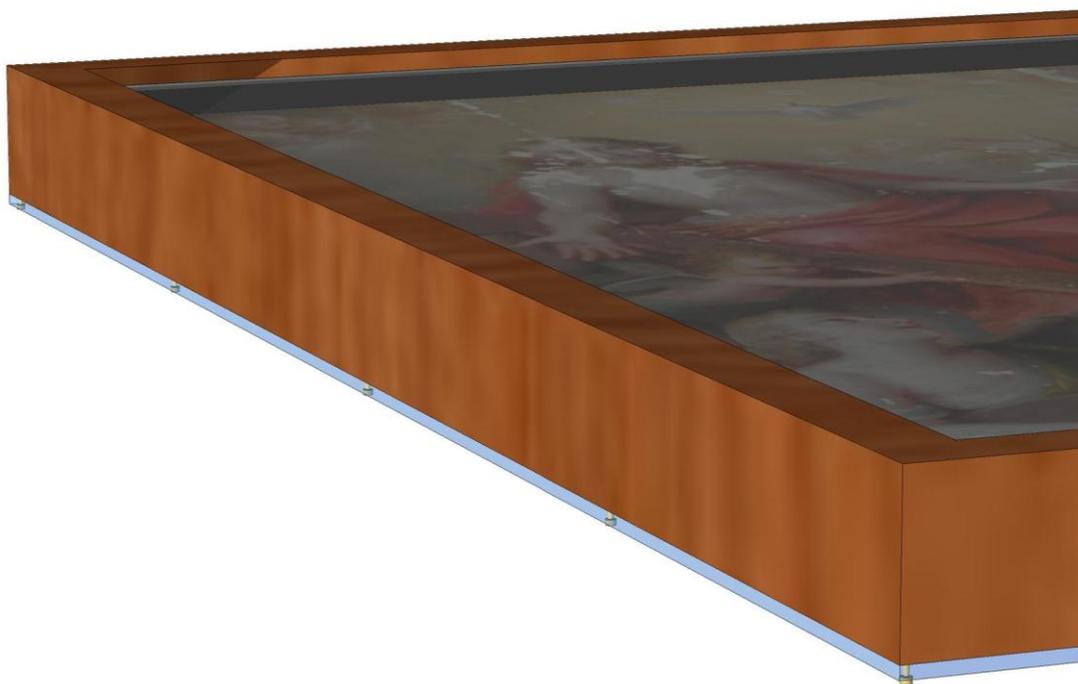


Fig. 35 y 36. Detalle del anverso. Se observa el marco, el plexiglás, el listón de apoyo, el Plastazote® y la obra. (De arriba abajo).

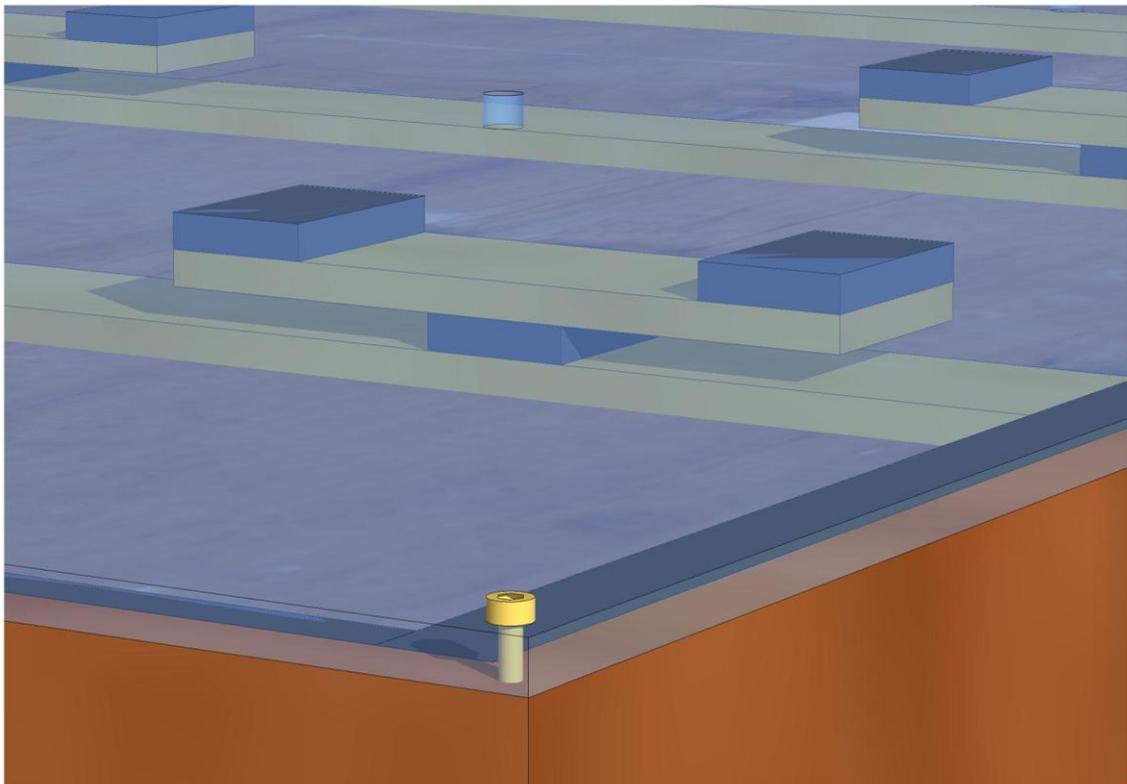
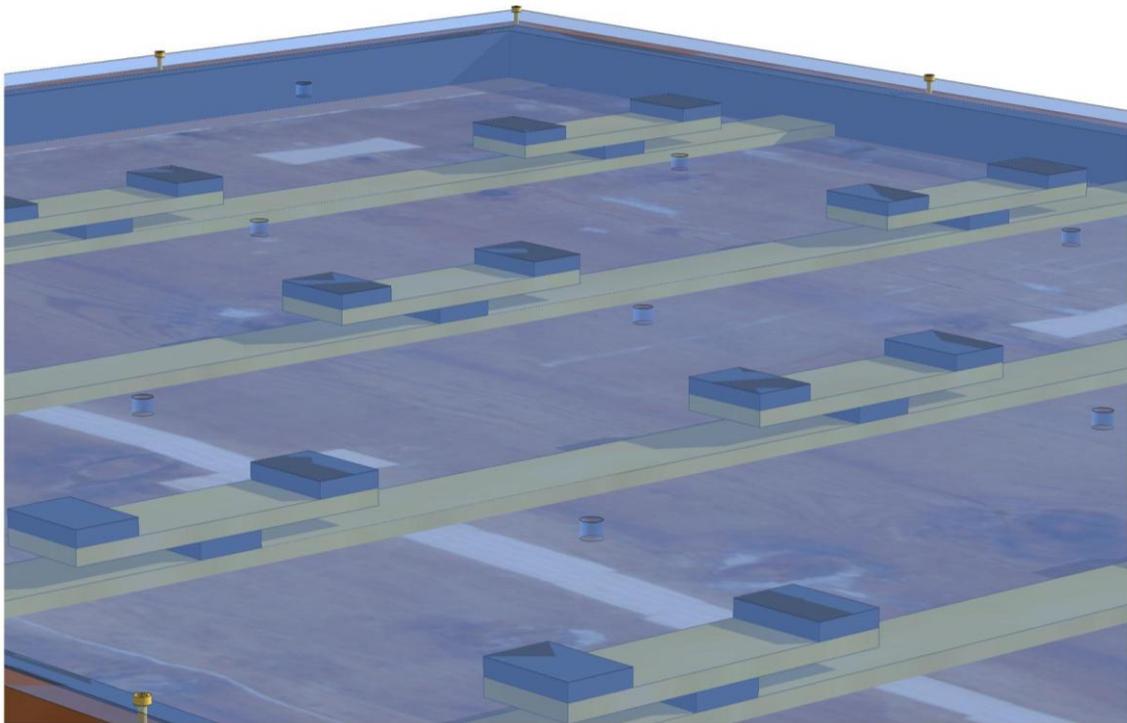


Fig. 37 y 38. Detalle del reverso del sistema. Se observan los listones flexibles flotantes, el Plastazote®, el policarbonato con los orificios que permiten la ventilación y el marco.

La **ventaja principal** de este sistema es que no le otorga a la tabla excesiva rigidez y acompaña a los movimientos de la madera. Otro aspecto muy positivo es su completa reversibilidad. Ningún elemento va adherido a la tabla. Por otra parte los travesaños flexibles se amoldan a la curvatura transmitiendo las tensiones a los amortiguadores y de los amortiguadores a los listones flexibles superiores modificando la curvatura según varíe la tabla. Otro de los aspectos positivos es el empleo de la protección en el anverso y el reverso, le otorga por una parte con el reverso cierta rigidez. Y en conjunto aísla la tabla de cambios climáticos bruscos.

Hay que tener en cuenta que la tabla a pesar de comprobar que varía bastante, no se encuentra en tan mal estado de conservación como podría. Pero sería muy beneficioso para esta tabla tener unas condiciones de humedad y temperatura muy controladas porque es una obra muy sensible a cualquier cambio. Si la obra se encuentra en un entorno óptimo con una humedad y temperatura estable no surgirán de nuevo las patologías anteriores, ya que el mayor problema que en estos momentos tiene la obra es la falta de estabilidad termohigrométrica.

12. CONCLUSIONES

Debido a la complejidad de la madera como soporte pictórico resulta necesario tener un profundo conocimiento de las propiedades y características de dicho material. De esta manera podemos intuir que es lo que está sucediendo en la obra. Teniendo en cuenta el tipo de madera, el tipo de corte, sus propiedades físicas, mecánicas, su estado de conservación, etc.

Escoger un sistema de estabilización idóneo y perfecto para todo tipo de obras es imposible. Cada obra hay que estudiarla por separado. Sin embargo hay una cosa común para todas. Para poder obtener un sistema de estabilización óptimo el primer paso es valorar las condiciones ambientales del taller donde se va a restaurar y las condiciones del lugar donde finalmente va a estar expuesta.

Después de realizar la revisión bibliográfica de los sistemas de estabilización más contemporáneos se obtienen algunos aspectos a tener en cuenta.

Muchos de estos sistemas adaptan los bastidores a la curvatura de las tablas, sin tener en cuenta los posibles cambios de curvatura que pueda sufrir la tabla en un futuro. Esto puede llegar a ser un obstáculo para el movimiento de la madera. Otro aspecto negativo se encuentra en algunos de los sistemas contemporáneos que emplean muelles helicoidales. Se necesitan bastidores excesivamente grandes. Esto puede llegar a causar grandes tensiones y a otorgarle demasiado peso a la tabla. Algunos de estos sistemas no prevén todos los movimientos que puede tener la madera. Centrándose únicamente en el movimiento de izquierda a derecha y de arriba abajo, sin tener en cuenta que la madera también mueve diagonalmente.

Otro aspecto a tener muy en cuenta es el empleo de materiales lo más afines al material de la obra. Si no se tiene en cuenta esto habrá un comportamiento desigual y podría repercutir gravemente en la obra.

Uno de los aspectos más importantes es el empleo de amortiguadores. Estos materiales ofrecen unas propiedades muy buenas, pero son materiales que con el tiempo van perdiendo sus propiedades y deben ser sustituidos. Por lo que todos los sistemas que empleen amortiguadores como Plastazote®, siliconas, etc. deberán ser controlados periódicamente.

Para poder obtener un sistema de estabilización óptimo el primer paso es valorar las condiciones ambientales del taller donde se va a restaurar y las condiciones del lugar donde finalmente va a estar expuesta.

Un buen sistema de estabilización debería cumplir los siguientes requisitos:

- Ser lo menos invasivo posible.
- Emplear materiales afines que no vayan a interactuar con la madera produciéndose mayores daños.
- Emplear los puntos de sujeción necesarios para la obra.

Y sobretodo siempre que se pueda, que haya un sistema de estabilización indirecto por medio de un control termohigrométrico. No es necesario (siempre que la obra no esté en muy mal estado de conservación) realizar un sistema excesivamente complejo. Simplemente controlando los parámetros de humedad y temperatura no experimentará cambios bruscos que pueda afectar considerablemente a su conservación.

Para obtener un buen sistema de estabilización indirecto mediante vitrinas hay que establecer unos criterios que sirven para todo tipo de obras sobre tabla. Por una parte se han de tener en cuenta los aspectos estéticos de la vitrina. Tales como un tamaño acorde a la obra, una iluminación adecuada, etc. Por otra se han de tener en cuenta las características de la obra. Entre otras el estado de conservación de la pieza, las condiciones en las que se encontraba, etc.

Respecto a la “La Trinidad” la obra elegida para ser estudiado su comportamiento durante seis meses, por sus grandes variaciones dimensionales, se observa como las características y las propiedades de la madera influyen considerablemente en la conservación de la tabla. La obra es del S.XVIII una época en la que el cuidado de la elección, secado y tipo de corte de la madera no era el más idóneo. Y esto queda reflejado en la mayoría de las patologías que sufre esta obra. Por una parte se observa muy bien una de las propiedades de la madera más importantes, la anisotropía. En este caso el corte radial no ha sufrido grandes variaciones y se ha mantenido estable en todo el periodo de medición. Mientras que los dos paños de corte tangencial han experimentado grandes oscilaciones, aumentando y disminuyendo la curvatura continuamente. Por otra parte los dos paños de corte subradial a pesar de que también han sufrido deformaciones continuas no han sido tan bruscas como en los paños de corte tangencial. La zona que se acercaba al corte tangencial ha experimentado más cambios que la zona más radial.

Las mediciones realizadas en un extremo de la tabla y en otro han obtenido el mismo resultado. Por lo que en este caso la tabla no varía de manera diferente en cada uno de sus extremos.

Esta obra sufre unas fluctuaciones continuas, llegando a aumentar o a disminuir la curvatura considerablemente de un día a otro. El punto 4 llegó a disminuir la curvatura 0,83mm con respecto a la medición anterior. Lo mismo sucede en los puntos 5 y 6. El punto 5 uno de los

días aumento 0,53mm y al día siguiente disminuyó 0,68mm. El punto 6 llegó a aumentar 0,62mm y a los tres días disminuía 0,74mm. Como podemos observar no se trata de variaciones pequeñas, hablamos de casi 1 cm de variación en solo tres días de diferencia.

El sistema escogido para nuestra tabla es un sistema flexible flotante. Este sistema no va adherido a la tabla y le permite variar dimensionalmente. Sus elementos flexibles y los amortiguadores empleados absorben las tensiones que se van produciendo en la tabla. Por otra parte al estar introducido en un marco cerrado por un plexiglás por el anverso y por el reverso con un policarbonato le resguarda de cambios climáticos bruscos. A través de los orificios realizados en el policarbonato se permite la circulación del aire y evita el estancamiento. El lugar donde va a estar expuesta esta obra no va a llevar un control estricto de las condiciones termohigrométricas. De esta manera, con este sistema se obtiene un sistema sencillo y a la vez mediante la trasera creamos una barrera para que la obra no este en contacto directo con el exterior.

13. BIBLIOGRAFÍA

- AA.VV. *Art sorb.* [en línea]. Madrid: Grupo español de conservación. International Institute for Conservation for Conservation of historic and artistic works, [fecha de consulta 6 mayo 2011]. Disponible en: http://www.ge-iic.com/index.php?option=com_fichast&Itemid=83&tasko=viewo&task=view2&id=17
- AA.VV. *Comparadores.* [En línea]. Guipuzcoa: UNI Eibar. [fecha de consulta 8 marzo 2011]. Disponible en: <http://www.iesunibhi.com/ikasleak/FileStorage/view/alumnos/METROLOG%C3%8DA6-Comparadores.pdf>
- AA.VV. *Dipinti su tavola. La tecnica e la conservazione dei supporti.* Firenze: Edifir, 2007, p. 200. ISBN: 1088-7970-165-7.
- AA.VV. *Facing the challenges of Panel Paintings Conservation: Trend, treatments and trainings* [en línea]. Los Ángeles: The Guetty center, 2009, [fecha de consulta 17 de abril 2011]. Disponible en: http://www.getty.edu/conservation/publications/videos/conference_videos/facing_challenges_day1.html#2
- AA.VV. *The Structural Conservation of panel paintings.* Los Angeles: The Guetty Conservation Institute, 1998, p. 566. ISBN: 0-89236-384-3.
- AA.VV. *La pintura Europea sobre tabla. Siglos XV, XVI, XVII.* [en línea]. Madrid: Ministerio de Cultura, 2010 [fecha de consulta: 10 mayo 2011]. Disponible en: <http://es.calameo.com/read/0000753357dee4271c5dc>
- AA.VV. "Misurazione non invasive delle deformazioni nei supporti lignei. I primi dati dal tabernacolo dei linaioli". En: *OPD Restauro*, 2003, nº15, p. 153-160.
- *Actas del II seminario sobre restauración de Bienes Culturales: Julio de 2006.* AA.VV. Aguilar del Campo: Fundación Santa María del Real, 2006, p. 205. ISBN: 978-84-8948.335-4.
- BASILE, G; MANCINELLI, E; TREVISANI, F. "Sistemi di sostegno e controllo nei dipinti su tavola: Qualche esempio (e qualche problema)". En: *OPD Restauro*, 1993, nº5, p. 35-73.
- BISACCA, G; DE LA FUENTE, J. "Consideraciones técnicas de la conservación y restauración del soporte de las Tres Gracias de Rubens". *Las Tres Gracias de Rubens: Estudio técnico y restauración*, Madrid: Museo del prado, 1998, p.51-66.
- BISACCA, G; DE LA FUENTE, J. "Restauración y estudio técnico de La Adoración de los pastores de Mengs". En: *Boletín del Museo del Prado*, 2001, nº37, p.89-114.
- BODDI, R; CAMERA, P; DANTI, C. "La vetrina per il museo; caratteristiche e requisiti di funzione. Report della giornata di studi". En: *OPD Restauro*, 2000, nº12, p.185-195.

- BUZZEGOLI, E; CASTELLI, C; DI LORENZO, A. "Il 'compianto su cristo morto' del Botticello dal museo poldi pezzoli di milano: note di minimo intervento e indagini diagnostiche non invasive". En: *OPD Restauro*, 2004, nº16, p.15-20.
- CASTELLI, C; CIATTI, M. "Proposta di intervento su particolari supporti lignei". En: *OPD Restauro*, 1989, nº1, p.108-111.
- CASTELLI, C; PARRI, M; SANTACESARIA, A. "L'intervento di Restauro del supporto". En: *Il Gentile Risorto: Il Polittico dell' Intercessione di Gentile da Fabiano*. Firenze: Edifir, 2006, p. 157-160.
- CASTELLI, C; PARRI, M; SANTACESARIA, A. "Supporti lignei: problemi di conservazione". En: *Problemi di Restauro. Riflessioni e ricerche*. Firenze: Edifir, 1999, p. 41-43.
- CENNINI, C. *El libro del arte*. Valladolid: Maxtor, 2008, p.211. ISBN: 84-9761-390-2.
- CIAPPI, O; CIATTI, M. "Una soluzione per l'ancoraggio elástico della traversatura nei dipinti su tavola". En: *OPD Restauro*, 1990, nº2, p. 102-104.
- DEL DUCA, L. "Il contributo di Roberto Carità all 'evoluzione delle metodologie di intervento sui supporti lignei". En: *Bollettino ICR*, 2006, nº12, p.9-16.
- DOERNER, M. *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. 6ª. Ed. Barcelona: Reverte, 2005, p. 431. ISBN: 84-291-1423-8.
- F. MECKLENBURG, M; FUSTER, L. *Estudio de las propiedades mecánicas y dimensionales de los materiales pictóricos*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia, 2009.
- LLAMAS, R. *Conservar y restaurar el arte contemporáneo: Un campo abierto a la investigación*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2009, p. 244. ISBN: 978-84-8363-374-8.
- MEZA, A; TORRES, G. *Efecto de la poda forestal en la calidad de la madera* [en línea]. Costa Rica: TEC, 2004, [fecha de consulta 15 marzo 2011]. Disponible en web: https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:On8gLhKgBnoJ:www.tec.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/antiores/anterior1/pdf/MEZA%2520Y%2520TORRES30feb04.pdf+nudos
- MICHALSKI, S. "Relative humidity: A discussion of correct/incorrect values" X Reunión ICOM-Comite para la conservación. Washington, DC, 1993, p.624-629.
- PLAZAS, M; PÁEZ, A. *Mutis al natural, una condición de conservación* [en línea]. Colombia: Curaduría, 2009, [fecha de consulta 29 julio 2011]. Disponible en web: <http://www.museonacional.gov.co/inbox/files/docs/ccmutis.pdf>

- RODRIGUEZ, C; PARRI, M; SANTACESARIA, A. "Restauración de dos flamencas". En: *R&R*, 2005, nº95, p.52-59.
- SANTAMARIA DEL CAMPO, S; LLORET, F. *Biología de las plantas*. Barcelona: Reverte, 1992, p.777. ISBN: 84-291-1843-8.
- SENTANCE, B. *La madera. El mundo del trabajo de la madera y la talla en madera*. San Sebastián: Nerea, 2004, p.211. ISBN: 84-89569-46-0.
- VAILLANT, M; DOMENECH, M; VALENTÍN, N. *Una mirada hacia la conservación preventiva del patrimonio cultural*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2003, p.322. ISBN: 978-84-9705-420-1.
- VIGNOTE, S; MARTINEZ, I. *Tecnología de la madera*. 3ª. Ed. Madrid: Mundi Prensa, 2006, p.678. ISBN: 84-8476-263-7.
- VIVANCOS, V. *La conservación y restauración de pintura de caballete*. 1ª. Ed. Madrid: Tecnos, 2007, p.325. ISBN: 978-84-309-4651-8.
- ZANNI, E. *Patología de la madera: degradación y rehabilitación de estructuras de la madera*. 1ª. Ed. Córdoba: Brujas, 2004, p.220. ISBN: 987-1142-58-7.