

Pintura //

Sistema Aral: modificación del sistema de muelles cónicos para el refuerzo estructural de tablas policromadas.

La investigación llevada a cabo en este artículo es un reflejo del Trabajo Final de Grado con la misma temática. Este ha tenido como objetivo principal valorar varios sistemas de refuerzo estructural en pintura sobre tabla y modificar el sistema de muelles cónicos para mejorar sus características y aplicaciones. De esta manera se ha creado el sistema Aral, un prototipo basado en un sistema funcional que pretende ser una estandarización asequible para todos los conservadores-restauradores, así como una solución versátil y fácil de montar en piezas con características muy dispares.

Laura Lara Blanco. Graduada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la especialidad de Pintura por la ESCRBCC
lauralarablanca@gmail.com

Palabras Clave: Travesaños móviles, muelles cónicos, refuerzo estructural, tablas policromadas, restauración de soporte, pintura sobre tabla.

Fecha de recepción: 15-XII-2021 > **Fecha de aceptación:** 21-XII-2021

INTRODUCCIÓN

A menudo, durante los procesos de restauración de las pinturas sobre madera, suelen encontrarse problemáticas estructurales derivadas de las características intrínsecas del propio material del soporte y de las condiciones climáticas a las que ha sido sometida la pieza. Estas degradaciones, muchas veces, han sido relegadas a un segundo plano y no siempre se han estudiado con suficiente detenimiento, ya sea por la compleja labor de estudio estructural o por el tiempo que requiere el diseño y la creación de sistemas de refuerzo estructural.

A medida que pasan los años, se incrementan los estudios relacionados con los refuerzos de tablas policromadas, enfatizando las propuestas menos invasivas y mejor adaptadas a cada caso, mejorándolas y complementando los sistemas rígidos empleados en el pasado.

No obstante, los estudios realizados hasta la fecha suelen ser promovidos por museos e instituciones que cuentan con un elevado fondo económico. Estos estudios suelen mostrar, en su mayoría, propuestas de refuerzos estructurales que son complejas y costosas, ya que en sus instalaciones pueden realizar procesos para las obras de gran categoría que suelen intervenir. Además, estos sistemas, normalmente se crean para una única pieza y no son demasiado versátiles para el uso en cualquier obra.

Los sistemas que presentan, normalmente, sobrepasan las posibilidades a las que pueden acceder pequeñas empresas de conservación-restauración y autónomos, o incluso instituciones más grandes, que muchas veces no disponen del tiempo necesario. Por tanto, fuera de estas instituciones, si se debe realizar una intervención en una obra, ya sea de cual-



quier valor, pero que requiere de un refuerzo estructural, no se cuenta con casi ninguna opción, ya que los sistemas que se han propuesto hasta ahora tienen alguna carencia, como puede ser la complejidad del montaje, la poca versatilidad o el elevado coste de realización.

El principal objetivo de esta investigación ha sido poner en valor los sistemas de refuerzo estructural que se han creado durante los últimos años. Tras estudiarlos y conocer sus características, se ha diseñado un nuevo sistema a partir de uno de muelles cónicos. Este nuevo sistema pretende ser una estandarización versátil, económica y fácil de montar, teniendo en cuenta que el principal objetivo de su creación ha sido que

se pueda adaptar a diversas tipologías de tabla policromada.

En este artículo se hace un resumen sobre el sistema diseñado, los materiales utilizados y la aplicación en la tabla policromada *Santa Llúcia*, del *Museu Diocesà d'Urgell*, pieza a la que se le ha aplicado el sistema para poder estudiar su evolución durante los próximos años.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS SISTEMAS DE REFUERZO ESTRUCTURAL DE TABLAS POLICROMADAS

PRIMEROS SISTEMAS DE REFUERZO EMPLEADOS

Durante los siglos precedentes, las tablas que contaban con más de un listón se solían ensamblar con una serie de uniones características. Estas podían ser a unión viva, con colas de milano o con espigas, entre otras.¹ En el acoplamiento entre las tablas, también se realizaban travesaños para mejorar su resistencia y aportar mayor calidad estructural a la pieza.

Los travesaños solían estar clavados del reverso hacia el anverso, con clavos de hierro forjado, los cuales se doblaban sobre sí mismos. No obstante, también hay algunos casos en los que los clavos se clavaban del anverso hacia el reverso, doblándolos hacia donde debería estar la policromía, aunque no era lo más habitual. Dentro del territorio español, la forma de los travesaños y la disposición de las maderas dependían de la tradición y de las influencias que había tenido cada zona geográfica.²

A grandes rasgos, en la Corona de Aragón y, sobre todo, en las escuelas catalana y valenciana, era muy característico el uso del aspa de San Andrés.³ Esta disposición de los travesaños creaba una cruz en el reverso de la tabla, y había algunas variantes en las que se podían disponer travesaños en horizontal por debajo de la cruz, ya fueran uno, dos o tres dependiendo de las características estructurales de cada soporte.

¹ [pág.148]

Por otro lado, en la Corona de Castilla se solían utilizar travesaños horizontales, disponiendo los barrotes en sentido perpendicular al ensamblaje de la tabla. También se conoce que, a mediados del siglo XV comenzaron a implantarse los marcos perimetrales de ranuras, ya que estos aportaban una mayor resistencia a la madera.⁴ ² [pág.148]

Durante el siglo XVI comenzó a desarrollarse otro sistema de travesaños para las tablas. Este consistía en insertar los barrotes de madera a contra veta y dentro de una caja, tallada en el soporte, en forma de trapecio.⁵ Este sistema aportaba más firmeza a la hora de controlar los movimientos de la madera.

SISTEMAS DE REFUERZO DE RESTAURACIONES PRECEDENTES

Desde fines del siglo XVIII hasta mediados del siglo XX se utilizó un sistema de refuerzo llamado engatillado,⁶ antecedente de muchos sistemas de refuerzo estructural. Existieron diversas variantes, pero todas tenían la misma finalidad: controlar las deformaciones naturales de la madera en las tablas policromadas.⁷ ³ [pág.149]

Este sistema estaba compuesto por listones de madera entrecruzados entre ellos perpendicularmente. Los travesaños en sentido a la veta iban encolados o clavados en el soporte original y, los opuestos, se deslizaban entre los fijos en dirección contraria.⁸

Es cierto que ya se tenía constancia de la composición de la madera y de cómo actuaba dependiendo del corte, del ambiente donde se encontraba y de sus propiedades intrínsecas. No obstante, se pensaba que la mejor manera de detener el alabeo era realizando un engatillado. El sistema estaba diseñado con la intención de que los travesaños fijos acompañasen los movimientos de la madera, a la vez que los travesaños móviles mantenían la tabla plana.⁹

Al pasar unos años, y viéndose los efectos del sistema, a mediados del siglo XX, los conservadores-restauradores comenzaron a darse cuenta de que los listones se trababan debido a las deformaciones de la madera y que no era tan efectivo como se pensaba. Es en este momento en el que se empezaron a deshacer las intervenciones anteriores y a investigar y proponer nuevos sistemas de refuerzo estructural con criterios de mínima intervención.

SISTEMAS DE REFUERZO A PARTIR DE 1950

La principal premisa de los nuevos sistemas de refuerzo estructural era que debían permitir los cambios dimensionales de las tablas a la vez que estabilizaban las deformaciones.

Se empezaron a crear sistemas, los cuales actualmente se pueden englobar en: marcos, bastidores y travesaños. Estos se pueden utilizar a la vez o individualmente, combinando muchas opciones que permiten adaptarse a las necesidades estructurales de cada obra. Estos sistemas también se pueden proteger formando una vitrina que englobe el conjunto de la pieza para crear un microclima adecuado. Es decir, que entre todas las posibilidades que ofrece la combinación de sistemas se puede escoger el más adecuado para cada pieza.¹⁰ En este caso solo nos centraremos en los travesaños, ya que es el tema principal de la investigación, pero es importante remarcar que hay varias opciones aparte de estos.¹¹

Para conocer el sistema de montaje más adecuado para cada pieza es imprescindible estudiar la obra en profundidad y decidir si se pueden modificar los travesaños originales, en el caso de que los presente, o si es necesario crear un nuevo sistema de refuerzo.

Dentro de los diversos sistemas de refuerzo existen diferentes elementos flexibles y móviles que aportan las características necesarias al sistema conjunto. Estos se pueden separar entre sistemas de elastómeros y sistemas de muelles.¹²

En este artículo solo se desarrollarán los sistemas de muelles, ya que se ha considerado que son los más versátiles y los que presentan mejores características en conjunto. Por otro lado, se debe dejar constancia de la existencia de los sistemas de elastómeros, ya que a partir de sus elementos se pueden combinar con los de muelles para crear sistemas más efectivos.

SISTEMAS DE MUELLES

Todos los sistemas de muelles tienen en común la utilización de resortes de compresión, de tracción o de torsión. Al contrario que el engatillado, la ventaja de utilizar estos sistemas es la posibilidad de controlar elásticamente las deformaciones de la tabla, incluyendo los movimientos de dilatación, contracción y curvatura. Cada sistema puede utilizar un tipo de muelle u otro, pero los muelles más efectivos son los cónicos, ya que, debido al amplio diámetro inferior que presentan, permiten repartir la presión homogéneamente, sin centrarla en un punto concreto.

¹ VIVANCOS, V. *La conservación y restauración de pintura de caballete: pintura sobre tabla*. Madrid: Editorial Tecnos (Grupo Anaya), 2007, p. 67.

² BORRALLO, M. *Propuesta de un sistema de estabilización para una pintura sobre tabla del s. XVIII*. Tutores: Eva Pérez Martínez, José Manuel Barros García. Tesina final de máster inédita. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Facultad de Bellas Artes, 2011, p. 17.

³ VIVANCOS, V., (op. cit.), p. 62.

⁴ *Ibid.*, p. 64.

⁵ *Ibid.*, p. 65.

⁶ BORRALLO, M., (op. cit.), p. 13.

⁷ ZELAZOWSKI, J. *Estudio de obra y propuesta de conservación de una pintura sobre tabla del s. XIX*. Tutor: José Manuel Barros García. Trabajo final de grado. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Facultad de Bellas Artes, 2014, p. 16.

⁸ *Ibid.*, p. 16.

⁹ *Ibid.*

¹⁰ VIVANCOS, V., (op. cit.), p. 227.

¹¹ MARCO, C. *Diseño de un sistema elástico de estabilización y refuerzo para una pintura sobre tabla. El caso de La Resurrección*. Tutoras: Eva Pérez Martínez, M^ª Victoria Vivancos Ramón. Tesina final de máster inédita. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Facultad de Bellas Artes, 2013, p. 16.

¹² *Ibid.*, p. 24.

- Sistema deslizante de muelles rectos ⁴ [pág.150]

Este sistema está compuesto por una caja cilíndrica superior y una rectangular inferior, la cual contiene un perfil de aluminio o de latón unido a la tabla con tornillos, dentro del cual se desliza una pieza de nilón o de teflón.¹³ Esta pieza está perforada y permite pasar los tornillos que guían el muelle a través de la segunda caja, esta circular. El sistema se cierra con una tuerca, la cual permite variar la presión del muelle.¹⁴

La rigidez del perfil de latón hace que este sistema solo se pueda montar en obras poco curvadas, además, no es demasiado aconsejable su uso, debido a que solo permite movimientos en diagonal. Otro inconveniente es que las piezas van atornilladas dentro del soporte y requiere una intervención demasiado invasiva.

Este sistema fue utilizado en el Museo del Prado en 2008 para la restauración del reverso de *La purificación de la Virgen*, de Pedro de Campaña.¹⁵

- Sistema con abrazaderas metálicas y muelles cónicos ⁵ [pág.151]

El sistema con abrazaderas elásticas de muelles cónicos helicoidales es un sistema que se ha utilizado, normalmente, en obras de gran formato.¹⁶ Un ejemplo de su uso es en la restauración que se realizó en 2015, en el Museo del Prado, de *El Calvario* de Rogier van der Weyden,¹⁷ ya que permite un montaje rápido, poco arriesgado y muy eficaz. Su principal objetivo es aportar tanto flexibilidad como firmeza al soporte original.

Para montarlo, primero se crean los travesaños y se encolan los cilindros de madera en el soporte, dentro de los cuales hay un tornillo de nilón. Los travesaños se posicionan en el lugar correspondiente y se introducen encima de las abrazaderas metálicas, las cuales tienen un agujero vertical por el que pasa el tornillo y dos agujeros horizontales para poder atornillar el sistema al travesaño. Finalmente, se introduce el muelle cónico y el sistema se cierra con una arandela de plástico y un tornillo de nilón.¹⁸

El principal inconveniente es que el sistema, al no estar inser-

tado dentro del travesaño, ocupa mucho espacio de montaje. Además, al no estar directamente protegido, puede sufrir degradaciones debido a los factores externos y medioambientales, sobre todo si la pieza que se interviene está en un entorno poco controlado.

- Sistema de muelles planos ⁶ [pág.151]

Dentro de los travesaños se realizan dos cajas cilíndricas. La inferior es la que alberga un pequeño botón de latón dorado que se encola en la superficie original, dentro del cual hay un pequeño tornillo de nilón. Este pasa por un agujero central que une las dos cajas del travesaño. Finalmente, dentro de la caja superior se introduce un muelle plano de acero inoxidable y se cierra con una arandela y una tuerca de latón.¹⁹

Los muelles planos y los tornillos de nilón aportan mucha movilidad de tracción al sistema y, debido al poco espacio que ocupan, hacen posible la realización de travesaños de poco espesor. En consecuencia, a la obra se le aporta poco peso en comparación con otros sistemas. Por el contrario, un inconveniente de este método es la complicada adquisición de este tipo de muelles.

Fue utilizado en la restauración, llevada a cabo en 2018 por el Museo del Prado, del soporte de la pieza *El triunfo de la muerte* de Pieter Bruegel el Viejo.²⁰

- Sistema de muelles cónicos ⁷ [pág.152]

El sistema de muelles cónicos se puede adaptar a diversas tipologías de travesaños, ya que es un método muy versátil, práctico y sencillo de realizar. Este permite movimientos oscilantes en todas las direcciones, adaptándose tanto a los movimientos de contracción y dilatación como a los de deformación en el plano.²¹

Al travesaño que alberga el sistema se le realizan dos cajas cilíndricas; la superior es la de mayor profundidad y contiene el muelle cónico, y la inferior, de menor profundidad, es la que contiene el cilindro de madera.²²

El diámetro de la caja superior se determina por el diámetro exterior del muelle, y el diámetro de la caja inferior depende del diámetro del cilindro de madera, el cual debe contar con espacio sobrante alrededor.²³ Estas dos cajas se unen con un orificio vertical, por donde se introduce el tornillo que une todos los elementos y cierra el sistema por la parte superior, interponiendo una arandela entre este y el extremo superior del muelle.

Este sistema puede hacer variar la rigidez necesaria en cada caso, ya que, dependiendo del diámetro del alambre del muelle utilizado o de la presión que se haga con el tornillo macho, se puede tener un sistema con más o menos movilidad. Por lo menos, en un mismo travesaño se pueden tensar más o menos cada muelle, adecuándose a las características del centro de la tabla o de los extremos.

En contraposición, el inconveniente de este sistema es el peso que se añade a la obra original, ya que para albergar todos sus elementos se necesita un travesaño de bastante espesor.

Un ejemplo de aplicación del sistema de muelles cónicos helicoidales sería en la pieza *Il Cataletto della Misericordia*, de Domenico Beccafumi, hoy en la Pinacoteca Nacional de Siena.²⁴

¹³ *Ibid.*, p. 18.

¹⁴ BORRALLO, M., (*op. cit.*), p. 30.

¹⁵ MUSEO DEL PRADO. *Restauración de "La Purificación de la Virgen" de Pedro de Campaña*. [En línea] <<https://www.museodelprado.es/aprende/investigacion/estudios-y-restauraciones/recurso/restauracion-de-la-purificacion-de-la-uirgen-de/2fe2b762-bbaf-4973-bdde-4a874e-5ba1ef>> [Consulta: 12 enero 2021].

¹⁶ COCCHI, L. *Tecniche avanzate per lo Studio del comportamento strutturale di dipinti su tavola. Tutor: Luca Uzielli*. Tesis Doctoral. Florencia: Università degli Studio di Firenze, Scuola di Dottorato in Agraria, 2013, p. 34.

¹⁷ MUSEO DEL PRADO. *Restauración: "El Calvario", de Rogier van der Weyden*. [En línea] <<https://www.museodelprado.es/actualidad/multimedia/restauracion-el-calvario-de-rogiervanderweyden/3009ddf0-ef34-401e-88db-137a0b47503f>> [Consulta: 4 enero 2021].

¹⁸ MUSEO DEL PRADO. *Restauración: "El Calvario", de Rogier van der Weyden*. YouTube [video digital], 30 de marzo de 2015 <<https://www.youtube.com/watch?v=ritY0kf4gAw>> [Consulta: 9 enero 2021].

¹⁹ MUSEO DEL PRADO. *Restauración de soporte: "El triunfo de la Muerte", de Pieter Bruegel El Viejo*. YouTube [video digital], 11 de junio de 2018 <<https://www.youtube.com/watch?v=ritY0kf4gAw>> [Consulta: 8 enero 2021].

²⁰ MUSEO DEL PRADO. *Restauración de soporte: "El triunfo de la Muerte", de Pieter Bruegel el Viejo* [En línea] <<https://www.museodelprado.es/actualidad/multimedia/restauracion-de-soporte-el-triunfo-de-la-muerte/51ba5aa3-5a36-4821-14d1-6f898f9b14ae>> [Consulta: 7 enero 2021].

²¹ CASTELLI, C; CIATTI, M; SANTACESARIA, A. *Dipinti su tavola, la tecnica e la conservazione di supporti*. Florencia: Edizioni Firenze (Opificio delle Pietre Dure), 2012, p. 159.

²² BORRALLO, M., (*op. cit.*), p. 29.

²³ MILLER, M.A.; BISACCA, G.; GALITZINE, D. "The Development of a Spring Mechanism for Use in Conjunction with Auxiliary Supports for Previously Thinned Panels". En: *Facing the Challenges of Panel Paintings Conservation: Trends, Treatments and Training (may 17-18, 2009: Los Angeles)*. Los Angeles: Harold Williams Auditorium, The Getty Center, 2009, p. 62.

²⁴ CASTELLI, C; CIATTI, M; SANTACESARIA, A., (*op. cit.*), p. 187.

CONCLUSIONES DE LOS SISTEMAS DE REFUERZO ACTUALES
 Aparte de los sistemas de muelles mencionados, hay muchos más que se utilizan en la actualidad o que se han utilizado no hace muchos años. La premisa que siguen todos estos sistemas es permitir el movimiento de la madera sin trabarla,²⁵ a la vez que crean un refuerzo necesario para la pieza.

La mayoría de sistemas de muelles mencionados no se han diseñado para ser polivalentes, sino que su diseño parte de las necesidades estructurales de un tipo de obra en concreto. Esto hace que no todos los sistemas puedan ser aplicables por cualquier tipo de pieza, sino que se ciñen a unas cualidades específicas.

Se ha considerado que el sistema más adaptable y más versátil es el sistema de muelles cónicos. Por lo tanto, este es el que se ha estudiado más a fondo y el cual se ha rediseñado para mejorar sus características y su versatilidad.

MODIFICACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE MUELLES CÓNICOS: SISTEMA ARAL

El sistema de muelles cónicos presenta unas características que lo hacen totalmente adaptable para cualquier tipo de pieza, aunque el sistema original tiene algunos inconvenientes para poderlo crear y montar en la pieza en cuestión. ⁸ [pág.153]

Por la modificación, primero de todo se ha tenido en cuenta el inconveniente primordial del sistema original: la manera de conseguir un movimiento rotatorio continuo y controlado de la cabeza del tornillo dentro de la pieza de madera adherida al soporte. La principal premisa que se ha seguido ha sido la adaptabilidad, al tiempo que las nuevas piezas se han diseñado con el objetivo de mecanizar el sistema de producción, hacerlo más sencillo y estandarizarlo.

En la siguiente tabla se mencionan los problemas que presentan el sistema y los elementos de solución que se proponen, junto con un código QR, donde se puede acceder a los diseños en 3D: **TABLA 1**

Una vez establecidas las tres carencias principales y haber conseguido tres soluciones, se propone el siguiente diseño del nuevo sistema de muelles, llamado sistema Aral. ¹² [pág.155]

Previamente a la creación del sistema en un prototipo, se han modelado todas las piezas en el *software* 3D Max para juntarlas dentro del travesaño²⁶ y ver cómo sería el movimiento conjunto.²⁷ Gracias a ello se ha podido comprobar de manera visual el funcionamiento que tendrá el sistema y cómo será el montaje final. ¹³ [pág.155]

CREACIÓN DE UN PROTOTIPO DEL SISTEMA ARAL

Una vez que se han diseñado todas las piezas en formato digital 3D, se ha creado un prototipo del sistema diseñado para comprobar su eficiencia y adaptabilidad.

Creación del travesaño

El travesaño creado para introducir el prototipo mide 16,5 cm de largo, 6 cm de ancho y 3,7 cm de espesor, y se ha montado sobre una madera de pino de 22 cm de largo, 12 cm de ancho y 2,2 cm de grueso, la cual simula la madera original de la pieza. Este travesaño se ha realizado con madera laminada, intercalando piezas de chapa de pino de 1 mm de espesor y de

madera maciza de pino de 4 mm de espesor, encoladas con acetato de polivinilo.

Según el estudio sobre adhesivos de L. Flores, "Las características generales de este adhesivo son: buena flexibilidad y elasticidad, buena adhesión, nula toxicidad, uso sencillo y limpio, resistencia al calor hasta 50-60 °C y su aspecto físico es blanco con textura líquida-viscosa".²⁸

Este adhesivo es uno de los que presenta más resistencia a la fuerza de tracción por arranque con una carga directa perpendicular; concretamente, puede soportar hasta 15,28 kg/cm².

Los listones se han ido encolando teniendo en cuenta que se deben orientar las fibras en sentido de la mayor longitud, a la vez que la orientación de los anillos siempre debe tener la misma disposición. Invirtiéndolos los tablonetes se debe evitar que el conjunto de todas las piezas vuelva a hacer un círculo conjunto.²⁹

Se ha escogido este tipo de travesaño porque la finalidad de la madera laminada encolada es conseguir una pieza sólida que tenga mayor resistencia que un listón de madera maciza tallado en la misma sección.³⁰ Además, crear travesaños con madera laminada permite modelarlos en la curvatura exacta de la pieza original, aunque el prototipo se haya creado plano; pero este sistema permite reducir la anisotropía en comparación con la madera maciza, aumentando la homogeneidad y la fiabilidad.³¹

Primero de todo se han realizado las cajas más grandes, donde se introduce el sistema de la base. Se ha escogido una broca circular de 40 mm y se le ha dado una profundidad de 14 mm en cada caja, donde van encajados los sistemas. Es necesario que la caja sea un poco más profunda que las dos piezas de la base, ya que de esta manera el travesaño siempre estará en contacto con la madera original y no quedará elevado.

En la parte superior del travesaño, con una broca de 25 mm se han realizado las cajas donde va albergado el muelle. Estas son de una profundidad de 23 mm para que pueda encajarse el muelle sin tener gran margen de movimiento.

Por último, a los travesaños se han adherido con acetato de polivinilo tres tiras de Plastazote[®] de 1 cm de espesor por 6 cm de largo y 3 mm de espesor. Este material es una espuma reticulada de polietileno, inerte química y biológicamente y es libre de aditivos.³²

Por otro lado también se ha tenido en cuenta que, al ser una espuma, al cabo de los años acabará despolimerándose y perdiendo su funcionalidad. En este caso se han tenido en cuenta los 3 mm de grosor del Plastazote[®] para confeccionar las cajas inferiores. Es decir, cuando la espuma pierda sus propiedades poliméricas, el espacio entre el travesaño y el soporte desaparecerá, y las dos maderas, la del travesaño y la original, estarán en contacto directo, pero en ningún momento los travesaños perderán su funcionalidad.

Al prototipo también se le ha realizado una incisión en una de las esquinas del travesaño, para poder ver con más claridad la funcionalidad de cada pieza. Gracias a esto se ha podido comprobar el movimiento de cada elemento y corroborar su funcionalidad.

²⁵ VIVANCOS, V., (op. cit.), p. 66.

²⁶ SKETCHFAB. *Sistema de muelles cónicos y travesaños*. [En línea] <<https://sketchfab.com/3d-modelos/sistema-de-muelles-conicos-i-travesero-2ded352b15d14b-1ca05a9ba85e961506>> [Consulta: 17 mayo 2021].

²⁷ CLOUS ET DE VIS. *Diseño del sistema de muelles cónicos en 3D*. YouTube [video digital], 17 de mayo de 2021 <https://www.youtube.com/watch?v=KqflBiKHR_Y> [Consulta: 17 mayo 2021].

²⁸ FLORES, L. *Estudio del comportamiento de adhesivos sintéticos y de sus propiedades físico-químicas aplicados sobre soporte lígneo*. Tutores: José Vicente Grafiá Salas, José Manuel Simón Cortés, M^a Victoria Vivancos Ramón. Tesina Final de Máster. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Facultad de Bellas Artes, 2016, p. 40.

²⁹ *Ibid.* p. 81.

³⁰ BARBERO, J; SEPULCRE, A. "Empleo de la madera laminada para la elaboración de travesaños de refuerzo ajustados a la deformación de las pinturas sobre tabla". *Pátina*. Vol. 2 (2003), nº 12, p. 6.

³¹ *Ibid.*

³² GRUPO ESPAÑOL DE CONSERVACIÓN. *Plastazote*. [En línea] <<https://www.ge-iiic.com/fichas-tecnicas/emba-laje-exposicion/plastazote/>> [Consulta: 15 febrero 2021].

TABLA 1

ELEMENTO	CARENCIA	ELEMENTO DE SOLUCIÓN	SOLUCIÓN
1 Tornillo de eje central	No encaja perfectamente con el muelle. Hay un espacio entre los dos elementos. Para hacerlo totalmente flexible se debería utilizar un tornillo de nilón, ya que si se utiliza uno de acero es posible que quede demasiado rígido y no permita la movilidad necesaria. El sistema original también propone utilizar un tornillo hembra y uno macho, aunque el hecho de que los dos tornillos se unan en medio del muelle puede hacer que este se encalle y no sea del todo efectivo el movimiento. ³³	Adaptador del tornillo en el muelle. 9 [pág.154]	Adapta el diámetro exacto del tornillo al del muelle y no deja ningún espacio en medio. Respecto al tornillo, se ha escogido uno de acero con cabeza hexagonal interna y cilíndrica externa.
2 Pieza de base	Esta pieza presenta el inconveniente de la elaboración, ya que al tener una forma demasiado peculiar es complicado cortar muchas piezas iguales. Además, hay poco espacio para meter la cabeza del tornillo, quedando demasiado ajustado al agujero y quitando gran parte de la movilidad del sistema.	Pieza doble de base. 10 [pág.154]	Permite que el tornillo no esté en contacto directo con la obra. La pieza que va adherida a la superficie es de base cilíndrica y de madera. Dentro de esta pieza hay un agujero central realizado con una broca circular, donde va apoyada la cabeza del tornillo. La segunda pieza de base es un modelo creado en 3D e impreso en un material inerte. Esta pieza tiene un agujero biselado por el que pasa el tornillo y se une a la pieza de madera con cuatro tornillos pequeños. La cabeza del tornillo de eje central queda insertada dentro de una caja interna.
3 Encaje del tornillo en la pieza de base	No se presenta un movimiento uniforme y no hay la suficiente movilidad. En el sistema original la cabeza del tornillo está en contacto directo con la madera original, lo que provoca un desgaste continuo en el soporte que no sería necesario.	Rótula. 11 [pág.154]	Aporta un movimiento rotativo continuo al eje central y aporta total movilidad al tornillo. La cabeza del tornillo se introduce en la rótula, que es la pieza que aporta movimiento y une este elemento con la pieza de base impresa.

Creación del sistema de muelles

El muelle cónico³⁴ que se ha escogido está enrollado en frío y cuenta con un diámetro exterior máximo de 25 mm, el diámetro del hilo es de 1 mm y tiene 5 espirales. El muelle está confeccionado en acero con una protección superficial inoxidable, una característica que asegura la buena estabilidad del material a largo plazo. Se ha tenido en cuenta el cumplimiento de la norma UNE-EN 13906-1:2013,³⁵ que especifica las características generales de los muelles helicoidales.

Se ha decidido utilizar un tornillo de cabeza vacía con casquete hexagonal para llave Allen. Este es un modelo de tornillo que no tiene ninguna arista externa y solo tiene la rosca hasta la mitad del cuello, lo que permite que en la parte superior no se traben el muelle, haciendo el movimiento más suave y continuo.

El tornillo es de métrica 4 y el radio pequeño interno del muelle mide 7 mm. No se ha escogido un tornillo del mismo diámetro que el muelle porque si no el eje central es demasiado grueso y no consigue el movimiento necesario. Para que no se baje el muelle, se ha impreso el adaptador diseñado anteriormente con un grosor de 3 mm que unifique el movimiento de los dos elementos. También se han impreso la pieza de base y la rótula.

³³ MARCO, C., (op. cit.), p. 21.

³⁴ SPRING MAKERS. *Muelle compresión cónico M03LE6695*. [En línea] <<https://www.springmakers.net/es/muelles-standard/53325-muelle-compresion-conico-m03le6695.html>> [Consulta: 12 enero 2021].

³⁵ UNE. *UNE-EN 13906-1:2013 (Ratificada)*. [En línea] <<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0051544>> [Consulta: 27 abril 2021].

Todos estos elementos se han impreso con una impresora Creality Ender 3 Max, con un filamento blanco de tereftalato de polietileno (PET).³⁶ Este material es un polímero con propiedades resistentes a la torsión, a la deformación térmica y al envejecimiento. Tiene muy buena resistencia química y es un material inerte, además de que es poco poroso y resistente al ataque de hongos.

Las piezas se han impreso en 50 minutos a una temperatura de fusión de 220 °C, mientras que la cama de la impresora estaba a una temperatura de 60 °C. Una vez impresas, la rótula se ha introducido dentro de la cabeza del tornillo y el adaptador dentro del radio pequeño del muelle.

Con la referencia de la pieza de la base impresa se ha decidido el diámetro para crear la pieza base de madera. Esta se ha diseñado a partir de las medidas estándares de los listones redondos de madera de haya, con la intención de poder mecanizar el sistema de producción y hacer que la manufactura de las mismas pueda ser más ágil. Se ha escogido un listón de madera de 30 mm de diámetro, y con una sierra ingleteadora se han cortado piezas de 0,7 mm de espesor. Este diámetro permite que, al meter el sistema en la caja del travesaño, haya unos 10 mm de movimiento.

Finalmente, se ha marcado el centro de cada pieza tras pulirlas y, con un taladro de pie y una broca circular de 15 mm, se han hecho agujeros de 3 mm de profundidad donde va introducida la cabeza del tornillo con la rótula.

Por último, a partir de los agujeros perimetrales de la pieza de base impresa, se han realizado los agujeros de la pieza de madera. Éstos se han realizado con un taladro y una broca de 2 mm. Acto seguido, para unir las piezas, se han atornillado los cuatro tornillos de acero inoxidable de cabeza avellanada de llave Allen, pero antes se ha colocado el tornillo en el interior de las dos piezas. Una vez que la pieza de base se ha montado, se han cortado con una sierra los cuatro tornillos de base para adecuarlos a la altura correspondiente de la base de forma que no sobresalgan y queden a ras de la base de la madera original.

La pieza de base se ha encolado en la madera con acetato de polivinilo y, una vez fijada, se ha instalado todo el sistema dentro del travesaño y se ha cerrado con una arandela y una tuerca de acero inoxidable.

Conclusiones de la creación del prototipo

Las medidas de los elementos que se han creado se pueden escalar a mayor o menor dimensión, de manera que el sistema se vuelve muy versátil para cualquier obra. Por otro lado, a partir del estudio específico de cada obra, se puede determinar cómo se verá afectada la pieza por los cambios termohigrométricos en el ambiente en que se encuentra. Con estos datos se puede determinar si es necesario ampliar o reducir los agujeros de margen de movimiento que presenta el sistema.

ADAPTACIÓN A LA PIEZA SANTA LUCÍA

Después de haber estudiado el funcionamiento del prototipo y haber creado un modelo estándar, se ha optado por comprobar su efectividad en una pieza que necesitaba la aplicación de un sistema de refuerzo estructural. El principal motivo por el que se ha decidido aplicar el sistema a una pieza es para corroborar la veracidad del prototipo y conocer qué datos son necesarios para su adaptación a una pieza.

Teniendo en cuenta todos los elementos del sistema, se ha realizado un estudio previo de la tabla policromada en cuestión y se han calculado algunos datos necesarios para la correcta adaptación del mismo al soporte.

DATOS GENERALES DE LA TABLA POLICROMADA SANTA LUCÍA ¹⁵ [pág.158]

La obra en cuestión es una pintura sobre madera de la colección permanente del *Museu Diocesà d'Urgell*. La policromía es un temple y representa la figura de Santa Lucía. La obra está datada entre finales del siglo XVI e inicios del siglo XVII y tiene una autoría anónima.

El soporte es de formato rectangular vertical y está constituido por dos tablones de madera de conífera, concretamente de *pinus sylvestris*, tallados en sección longitudinal radial en los anillos de crecimiento.

Midiendo los tablones por el reverso, el izquierdo mide de altura 107 cm, de anchura mínima 26,4 cm y de anchura máxima 26,7 cm, ya que este no es completamente recto. Por su parte, el tablón de la derecha mide 108 cm de altura, 25,1 cm de anchura mínima y 26 cm de anchura máxima. El grosor es uniforme en toda la obra, midiendo 3,1 cm.

En cuanto a la estructura constitutiva, la pieza cuenta con los dos tablones unidos entre ellos a unión viva,³⁷ sin encolar y con el refuerzo estructural de dos travesaños horizontales clavados por el reverso. No obstante, la pieza presenta antiguos agujeros perimetrales de clavos, de cuando estaba incrustada, posiblemente, en una estructura arquitectónica más grande, como un retablo.

Probablemente, debido al bloqueo de movilidad de la tabla provocado por los travesaños fijos, se puede apreciar que los dos tablones están separados entre ellos y están torcidos, haciendo que la imagen pictórica no coincida.

MEDIDA DE LA MERMA MÁXIMA DE LA MADERA A PARTIR DE LOS DATOS DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA DEL 2020 DE LA SALA DE RESERVA DEL MUSEU DIOCESÀ D'URGELL

Actualmente la tabla policromada se sitúa en la sala de reserva del *Museu Diocesà d'Urgell*, dentro de un ambiente donde la humedad y la temperatura se controlan periódicamente.

Gracias a los datos obtenidos por el *data logger*, ubicado en la sala de reserva del museo, se ha podido conocer la variabilidad de la humedad relativa y de la temperatura que ha habido durante el año 2020 y se ha creado un gráfico resumen con los datos de los meses analizados. ¹⁶ [pág.159]

Cálculo de las posibles variaciones dimensionales fuera del plano

Conociendo el tipo de madera de la pieza y los datos ambientales de humedad relativa y temperatura³⁸ del emplazamiento, el cual cuenta con una saturación máxima del 30% (Hsat),³⁹ se puede calcular la humedad de equilibrio de las fibras (Heq):

Por la humedad relativa de 65% a 7 °C corresponde una humedad de equilibrio de 12%,⁴⁰ y por la de 45% a 8 °C, una de 9%.⁴¹

Cada corte de cada tipo de madera presenta unas constantes máximas de contracción.⁴² Concretamente, la madera de

³⁶ DIRECT INDUSTRY. *Filamento de PET para impresora 3D* [En línea] <<https://www.directindustry.es/prod/dynamical-3d/product-201098-2034203.html>> [Consulta: 23 enero 2021].

³⁷ VIVANCOS, V., (op. cit.), p. 58.

³⁸ CASTELLI, C; CIATTI, M; SANTACESARIA, A., (op. cit.), p. 61.

³⁹ *Ibid.*

⁴⁰ *Ibid.*

⁴¹ *Ibid.*

⁴² VIVANCOS, V., (op. cit.), p. 115.

⁴³ MARCO, C., (op. cit.), p. 35.

⁴⁴ CASTELLI, C; CIATTI, M; SANTACESARIA, A., (op. cit.), p. 64.

⁴⁵ *Ibíd.*

⁴⁶ MARCO, C., (op. cit.), p. 35.

⁴⁷ Aceite de la planta *Azadirachta indica*.

pinus sylvestris tiene una merma máxima por el corte transversal de 0,4%,⁴³ por el corte longitudinal radial de 4%,⁴⁴ y por el corte longitudinal tangencial de 7,7%.⁴⁵ Con estos datos y las medidas correspondientes a cada sección de la tabla se pueden realizar los cálculos para conocer el máximo de variación estructural que presentará la madera en el ambiente en que se conserva.⁴⁶

$$\Delta \text{HReq} = \text{HRmáx} - \text{HRmín} \text{ (de una HRsat de 30\%)} \\ \Delta \text{HReq} = 12\% - 9\% = 3\% \text{ (de una HRsat de 30\%)}$$

Una vez se ha obtenido la humedad de equilibrio general, se calculan las posibles variaciones dimensionales:

$$(\Delta \text{HReq} \div \text{HRsat}) \cdot (\text{merma del corte} \div 100) \cdot \text{medida en mm} = \text{variación máxima en mm}$$

$$\text{Merma máxima del corte transversal} = \\ (3 \div 30) \cdot (0,4 \div 100) \cdot 1080 = \mathbf{0,43 \text{ mm}}$$

$$\text{Merma máxima del corte longitudinal radial} = \\ (3 \div 30) \cdot (4 \div 100) \cdot 31 = \mathbf{0,12 \text{ mm}}$$

$$\text{Merma máxima del corte longitudinal tangencial} = \\ (3 \div 30) \cdot (7,7 \div 100) \cdot 520 = \mathbf{4,00 \text{ mm}}$$

Medida de las deformaciones en el plano: curvatura ¹⁷ [pág.160]

Se han medido cuatro puntos de la tabla a una distancia relativa entre ellos para poder obtener unos datos significativos de las variaciones. Se puede apreciar que la madera es bastante uniforme y, solo por el centro, en la unión de los dos tablones, hay una pequeña diferencia de espesor.

Los dibujos de los perfiles de la obra sin desmontar muestran que las dos tablas presentan un alabeo convexo uniforme en el anverso y que, en la junta, hay un pequeño escalón y una separación de las dos maderas.

Por otro lado, se han realizado dos medidas más: una antes de ensamblar de nuevo los dos tablones y una después de unirlos. En este caso solo se han medido por el reverso. Con la segunda medida se puede apreciar la curva propia de cada madera y, con la tercera medida, se puede comprobar la curva final de la pieza.

Después de este pequeño estudio se puede determinar que el sistema de muelles debe ser un poco más resistente que flexible. Debe adaptarse a los movimientos de contracción y dilatación de la madera, así como a la curvatura que pueda adquirir al cabo de los años. Puede acercarse más a la rigidez, ya que deberá adaptarse a unos movimientos bastante controlados.

CREACIÓN DEL SISTEMA ARAL Y ADAPTACIÓN A LA PIEZA SANTA LUCÍA

Antes de realizar el sistema adaptado a la pieza, se ha llevado a cabo el proceso de restauración del soporte. Después de realizar los procesos correspondientes y de separar los dos travesaños originales, ha sido necesario reensamblar las tablas. ¹⁸ [pág.161] Las dos tablas estaban unidas sin encolar y solo se sujetaban por los clavos de los antiguos travesaños fijos. Se ha decidido colocar tres espigas horizontales, una a cada 36 cm de altura. Estas espigas son de sección circular y de madera de haya, las cuales miden 3,5 cm de largo y tienen un diámetro de 8 mm. El resultado de este proceso ha sido la

obtención de una curva cóncava mucho más estable que las dos tablas separadas. ¹⁹ [pág.162]

Los travesaños y los sistemas de muelles se han creado siguiendo los mismos sistemas que los utilizados en la creación del prototipo. Por las dimensiones de la pieza, en este caso se ha optado por crear dos travesaños con cuatro sistemas de muelles cada uno. ²⁰ [pág.162]

Se ha decidido ir confeccionando los travesaños encima de la pieza en sí, ya que la pieza permite ejercer la fuerza necesaria para conseguir modelar los listones encima de la curva, sin dañar el soporte.

Antes de empezar a encolar los listones, se ha puesto Melinex® por el reverso de la pieza. La cola se ha ido aplicando a ambos lados de los listones; mediante una espátula, se ha ejercido una presión constante para conseguir que el adhesivo penetrara dentro de los poros de la madera. Se han ido adhiriendo los listones y las chapas de pino, hasta conseguir un grosor de 3,8 cm. Se han puesto pesos y sargentos y se ha dejado las maderas bajo peso durante una semana. Finalmente se han pulido y se han realizado las cajas donde van introducidos los sistemas.

Una vez que los travesaños se han cortado completamente, se les ha realizado un tratamiento preventivo contra xilófagos, dándoles dos capas de aceite de neem⁴⁷ al 5% en etanol. Con los travesaños ya creados, se ha decidido utilizar tiras de Plastazote® para crear un mejor contacto entre la madera original y los travesaños. ²¹ [pág.162]

A partir de los resultados obtenidos se ha llegado a la conclusión de que, mientras la pieza siga en un ambiente controlado con los mismos parámetros, no sufrirá muchos cambios dimensionales. La mayor variación de los tablones será en la anchura, pero solo variará un máximo de 4 mm, por lo tanto, el sistema de muelles debe permitir como mínimo este movimiento, para adaptarse a los movimientos de la madera y no trabarla.

Las piezas de la base miden 30 mm de diámetro y, escoger una broca de 35 mm de diámetro para realizar las cajas inferiores, hace que el sistema tenga 5 mm libres para moverse en todas las direcciones. De esta manera hay un milímetro de margen extra. Por el contrario, en el prototipo se había realizado una caja de base 5 mm más amplia que la del sistema aplicado a la pieza. Las piezas de base se han adherido al soporte original con acetato de polivinilo, ya que de esta manera, si en un futuro es necesario eliminar el sistema, se puede realizar.

Se ha pesado cada elemento para conocer el peso que se le añade a la pieza. Cada sistema completo tiene un peso de 15,6 g. Por tanto, si a la pieza se añaden 8 sistemas, el peso de estos será de 126,4 g. Por su parte, el travesaño superior tiene un peso de 536,8 g y el inferior de 572,4 g. Por lo tanto, a la pieza se le añade un peso total de 1,23 kg, que es lo que pesa el total de los elementos. ²² [pág.163]

También se ha realizado el proceso de restauración de los estratos pictóricos, pero no se explicará en este artículo. ²³ [pág.163]

Recomendaciones de conservación y mantenimiento

Se realizará una revisión anual o bianual para comprobar el

buen estado de las piezas del sistema. Además, si la temperatura y la humedad son muy variables, es necesario adaptar cada uno de los muelles a las necesidades climatológicas.

Si los datos recogidos en un futuro se aproximan a los estudiados, será necesario regular la tensión de los muelles. En la época del año en que la humedad relativa sea más baja del 45% habrá que dar más tensión en los muelles centrales y destensar los perimetrales. Por otro lado, cuando la humedad relativa aumente por encima del 65%, los muelles más perimetrales deberán tensarse más que los centrales. De esta manera se consigue un equilibrio estable entre la contracción y dilatación de la madera del soporte con el comportamiento de los travesaños.⁴⁸

CONCLUSIONES

Desde hace muchos siglos se conocen los problemas que da la madera como soporte pictórico. Por este motivo, muchos de los sistemas que se conocen hasta hoy han tenido como objetivo acompañar el movimiento de la madera para evitar los alabeos innecesarios y destructivos que provoca su propia anisotropía.

A partir del sistema Aral, el cual ha sido diseñado a partir del sistema de muelles cónicos, se ha propuesto un nuevo sistema de refuerzo estructural para tablas policromadas.

El principal problema de crear un sistema para una obra es la falta de tiempo en las intervenciones y el hecho de que se tengan que estudiar varias características de la pieza para conocer cuál es el mejor sistema para aplicar. A partir del nuevo sistema y de la aplicación en la pieza *Santa Lucía*, ha quedado demostrado que, realizando unas pequeñas variaciones respecto al prototipo diseñado, puede aplicarse en una pieza con un elevado grado de curvatura.

Por otro lado, hay que remarcar que los resultados del sistema diseñado no se podrán analizar hasta pasado unos meses. Es necesario que la pieza haya estado en diferentes épocas del año para obtener datos significativos de la funcionalidad del sistema.

También es necesario seguir desarrollándolo para adaptarlo a más piezas que necesiten esta intervención, ya que de esta manera se pueden realizar comparaciones e ir perfeccionando el sistema Aral. Se debe tener en cuenta la realización de un futuro estudio en el que, sin perder efectividad, se pueda reducir el peso de los travesaños adaptados al sistema Aral. Un ejemplo sería hacerlos más delgados y crear una tapa impresa para proteger cada sistema.

Para concluir, remarcar que el estudio realizado en este trabajo ha pretendido ser una continuación de los sistemas utilizados hasta el momento y una solución a los problemas que actualmente se presentan en este ámbito. No obstante, se debe seguir estudiando rigurosamente para llegar a descubrimientos que, por fin, permitan conseguir un sistema lo más versátil posible.

IMÁGENES

1 Reverso de una tabla que compone el *Retablo de la Virgen de la Leche* del Maestro de Cubells, de entre finales del siglo XIV e inicios del siglo XV. Colección pictórica del Museo Ladró. En la imagen se puede ver un refuerzo con triple aspa de San Andrés, muy típica de la Corona de Aragón (Fotografía:

fía: ARTERESTAURACIÓN. *Retablo de la Virgen de la leche del Maestro de Cubells* [En línea] <<https://arterestauracion.com/retablos-2/retablo-de-la-virgen-de-la-leche-del-maestro-de-cubells/>> [Consulta: 12 marzo 2021]).

2 Reverso de una tabla que compone el Retablo de la capilla del Cristo de la Misericordia de la Iglesia de San José de Granada. Atribuido a Pedro de Cristo, primer tercio del siglo XVI. En la imagen se puede ver un refuerzo con tres travesaños horizontales y ensamblajes con colas de milano. El refuerzo es el habitual de la Corona de Aragón (Fotografía: JUNTA DE ANDALUCÍA. CONSEJERÍA DE CULTURA Y PATRIMONIO HISTÓRICO. *Retablos de la capilla del Cristo de la Misericordia de la Iglesia de San José. Granada* [En línea] <<https://www.juntadeandalucia.es/organismos/culturaypatrimoniohistorico/areas/bienes culturales/actuaciones-conservacion/inter-venciones/detalle/39772.html>> [Consulta: 12 marzo 2021]).

3 Reverso de la obra *San Antonio de Padua* del Maestro de Astorga o su círculo, del año 1530. Museo de León. Se puede ver una intervención posterior con un engatillado, posiblemente de mediados del siglo XIX (Fotografía: DOCPLAYER. *Arte leonés en la encrucijada de dos épocas* [En línea] <<https://docplayer.es/65935584-Arte-leones-en-la-encrucijada-de-dos-epocas.html>> [Consulta: 03 marzo 2021]).

4 Esquema explicativo del sistema deslizante de muelles rectos (Ilustración: L. Lara, a partir de MARCO, C. *Diseño de un sistema elástico de estabilización y refuerzo para una pintura sobre tabla. El caso de La Resurrección*. Tutoras: Eva Pérez Martínez, M^a Victoria Vivancos Ramón. Tesina final de máster inédita. Valencia: Universitat Politècnica de València, Facultad de Bellas Artes, 2013, p. 18).

5 Esquema explicativo del sistema con abrazaderas metálicas y muelles cónicos (Ilustración: L. Lara).

6 Esquema explicativo del sistema con muelles planos (Ilustración: L. Lara).

7 Esquema explicativo del sistema de muelles cónicos (Ilustración: L. Lara, a partir de MARCO, C. *Diseño de un sistema elástico de estabilización y refuerzo para una pintura sobre tabla. El caso de La Resurrección*. Tutoras: Eva Pérez Martínez, M^a Victoria Vivancos Ramón. Tesina final de máster inédita. Valencia: Universitat Politècnica de València, Facultad de Bellas Artes, 2013, p. 21).

8 Funcionamiento del sistema de muelles cónicos (Ilustración: CASTELLI, C; CIATTI, M; SANTACESARIA, A. *Dipinti su tavola, la tecnica e la conservazione dei supporti*. Florencia: Edizioni Firenze (Opificio delle Pietre Dure), 2012, p. 187, modificada por L. Lara con Adobe® Photoshop).

9 Adaptador en 3D (Ilustración: L. Lara y S. Lara).

QR Código QR al adaptador en 3D (Ilustración: L. Lara y S. Lara).

10 Pieza de base en 3D (Ilustración: L. Lara y S. Lara).

QR Código QR en la pieza de base en 3D (Ilustración: L. Lara y S. Lara).

11 Rótula en 3D (Ilustración: L. Lara y S. Lara).

QR Código QR en la rótula en 3D (Ilustración: L. Lara y S. Lara).

12 Descripción de los elementos del sistema de muelles cóni-

⁴⁸ MARCO, C., (*op. cit.*), p. 45.

cos Aral (Ilustración: L. Lara y S. Lara).

QR Código QR a la descripción de los elementos en 3D del sistema de muelles cónicos Aral (Ilustración: L. Lara y S. Lara).

13 Sistema de muelles cónicos Aral desmontado dentro del travesaño (Ilustración: L. Lara y S. Lara).

QR Código QR al sistema de muelles cónicos Aral desmontado dentro del travesaño (Ilustración: L. Lara y S. Lara).

QR Código QR en el vídeo explicativo del montaje del modelo 3D del sistema de muelles cónicos Aral (Vídeo: L. Lara).

14 Prototipo del sistema Aral (Ilustración: L. Lara, modificada con Adobe® Photoshop).

15 Anverso y reverso de la tabla policromada *Santa Lucía* antes del proceso de restauración (Ilustración: L. Lara).

16 Resumen de los datos de humedad relativa y temperatura de la sala de reserva del *Museu Diocesà d'Urgell* (Ilustración: L. Lara).

17 Medida de las deformaciones de las tablas separadas y reacomodadas de la pieza *Santa Lucía* (Ilustración: L. Lara).

18 Proceso de reacomodamiento de las dos tablas (Ilustración: L. Lara).

19 Diferencia entre la curvatura inicial de la pieza y después de reacomodar las tablas (Ilustración: L. Lara).

20 Sistemas de muelles cónicos Aral (Ilustración: L. Lara).

21 Visión lateral e inferior de los nuevos travesaños creados por la tabla policromada *Santa Lucía* (Ilustración: L. Lara).

22 Proceso del montaje del sistema de muelles cónicos Aral en la tabla policromada *Santa Lucía* (Ilustración: L. Lara).

QR Código QR en el vídeo explicativo del montaje del sistema de muelles cónicos Aral en la tabla policromada *Santa Lucía* (Vídeo: L. Lara).

23 Anverso y reverso de la tabla policromada *Santa Lucía* tras el proceso de restauración (Ilustración: L. Lara).

BIBLIOGRAFÍA

ARBUÉS, C; FONT, T. "Aproximació a la formació de la col·lecció del Museu Diocesà d'Urgell". En: *2a Jornada Museus i Patrimoni de l'Església a Catalunya (Lleida 24 d'octubre de 2014)*. Lleida: Museu de Lleida diocesà i comarcal, 2014, p. 77-87.

BARBERO, J. "Nuevo sistema de travesaños móviles para la consolidación de soportes en pintura sobre tabla". En: *II Seminario sobre Restauración de Bienes Culturales, Aportaciones teóricas y experimentales en problemas de conservación (19-21 julio de 2006: Aguilar de Campoo)*. Aguilar de Campoo: Monasterio de Santa María la Real, 2007, p. 103-130.

CALVO, A. *Conservación y restauración: materiales, técnicas y procedimientos de la A a la Z*. Madrid: Ediciones del Serbal, 2003.

CASTELLI, C. "The restoration of Panel Painting Supports". En: *Symposium of The Structural Conservation of Panel Paintings (april 24-28, 1995: Los Angeles)*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1998, p. 316-340.

CAUDEVILLA, J. "Elementos de traba en soportes ligneos. Restauración". *Artígrama*. Vol. 1 (1989-1990), nº 6-7, p. 115-134.

COCCHI, L. [et. al.]. "Mechanical study of a support system for cupping control of panel paintings combining crossbars and springs". *Journal of Cultural Heritage*. Vol. 13 (2012), nº 53, p. 109-117.

MASTROIACOVO, T. [et. al.]. "Estudio técnico-estructural de una pintura sobre tabla novohispana del siglo XVI: análisis de tensiones, variaciones dimensionales y estado de conservación actual". En: *Jornadas de Investigación Emergente en Conservación y Restauración de Patrimonio (1: 26 octubre de 2016: Valencia)*. Valencia: Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio, Universitat Politècnica de València, 2016, p. 21-30.

MINISTERIO DE CULTURA Y DEPORTE. *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en pintura de caballete (2018)*. NIPO: 030-18-136-5

UZIELLI, L. "Historical Overview of Panel-Making Techniques in Central Italy". En: *Symposium of The Structural Conservation of Panel Paintings (april 24-28, 1995: Los Angeles)*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1998, p. 110-135.

VÉLIZ, Z. "Wooden Panels and Their Preparation for Painting from the Middle Ages to the Seventeenth Century in Spain". En: *Symposium of The Structural Conservation of Panel Paintings (april 24-28, 1995: Los Angeles)*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1998, p. 136-148.