

# Sistema Aral: modificació del sistema de molles còniques pel reforç estructural de taules policromades.

## *Aral System: Modification of the Conical Coil Spring System to Structurally Reinforce Painted Panels.*

**Laura Lara Blanco**

[lauralarablanco@gmail.com](mailto:lauralarablanco@gmail.com)

Graduada en Conservació i Restauració de Béns Culturals en l'especialitat de Pintura per l'ESCRBCC.

*Graduate in Conservation and Restoration of Cultural Heritage specialising in Painting from the ESCRBCC.*

La investigació duta a terme en aquest article és un reflex del Treball Final de Grau amb la mateixa temàtica. Aquest ha tingut com a objectiu principal valorar diversos sistemes de reforç estructural en pintura sobre taula i modificar el sistema de molles còniques per millorar les seves característiques i aplicacions. D'aquesta manera s'ha creat el sistema Aral, un prototip basat en un sistema funcional que pretén ser una estandardització assequible per tots els conservadors-restauradors, així com una solució versàtil i fàcil de muntar en peces amb característiques molt dispars.

**Paraules clau:** Travessers mòbils, molles còniques, reforç estructural, taules policromades, restauració de suport, pintura sobre taula.

*The research undertaken in this paper reflects the Final Degree Project on the same subject. The principal objective was to evaluate several systems used to structurally reinforce painted panels and modify the conical coil spring system to improve its characteristics and uses. This is how the Aral system was created, a prototype based on a functional system which is intended to be an accessible standardisation for all conservators-restorers, as well as a versatile solution which is easy to set up using components with very disparate characteristics.*

**Keywords:** Adjustable struts, conical coil springs, structural reinforcement, painted panels, restoration of support, painting on panels.



## INTRODUCCIÓ

Molt sovint, durant els processos de restauració de les pintures sobre fusta, solen trobar-se problemàtiques estructurals derivades de les característiques intrínseques del mateix material del suport i de les condicions climàtiques a les quals ha estat sotmesa la peça. Aquestes degradacions, moltes vegades, han estat relegades a un segon pla i no sempre s'han estudiat amb prou deteniment, ja sigui per la complexa tasca d'estudi estructural o pel temps que requereix el disseny i la creació de sistemes de reforç estructural.

A mesura que passen els anys, s'incrementen els estudis relacionats amb els reforços de taules policromades, emfatitzant les propostes menys invasives i millor adaptades a cada cas, millorant-les i complementant els sistemes rígids emprats al passat.

No obstant això, els estudis realitzats fins a avui solen ser promoguts per museus i institucions que compten amb un elevat fons econòmic. Aquests estudis solen mostrar, en la seva majoria, propostes de reforços estructurals que són complexes i costoses, ja que en les seves instal·lacions poden realitzar processos per a les obres de gran categoria que solen intervenir. A més, aquests sistemes normalment són creats per a una única peça, i no són gaire versàtils per a l'ús en qualsevol obra.

Els sistemes que presenten, normalment, sobrepassen les possibilitats a les que poden accedir petites empreses de conservació-restauració i autònoms, o fins i tot institucions més grans, les quals moltes vegades no

disposen del temps necessari. Per tant, fora d'aquestes institucions, si s'ha de realitzar una intervenció en una obra, ja sigui de qualsevol valor, però que requereix d'un reforç estructural, no es compta amb quasi cap opció, ja que els sistemes que s'han proposat fins ara tenen alguna carència, com pot ser la complexitat del muntatge, la poca versatilitat o l'elevat cost de realització.

El principal objectiu d'aquesta investigació ha sigut donar rellevància als sistemes de reforç estructural que s'han creat durant els últims anys. Després d'estudiar-los i conèixer les seves característiques, s'ha dissenyat un nou sistema a partir d'un de molles còniques. Aquest nou sistema pretén ser una estandardització versàtil, econòmica i fàcil de muntar, tenint en compte que el principal objectiu de la seva creació ha sigut que es pugui adaptar a diverses tipologies de taula policromada.

En aquest article es fa un resum sobre el sistema dissenyat, els materials utilitzats i l'aplicació a la taula policromada *Santa Llúcia*, del Museu Diocesà d'Urgell, peça a la qual se li ha aplicat el sistema per poder estudiar la seva evolució durant els propers anys.

## EVOLUCIÓ HISTÒRICA DELS SISTEMES DE REFORÇ ESTRUCTURAL DE TAULES POLICROMADES

### PRIMERS SISTEMES DE REFORÇ EMPRATS

Durant els segles precedents, les taules que comptaven amb més d'un llistó se solien acoblar amb una sèrie

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

<sup>2</sup> BORRALLO, M. *Propuesta de un sistema de estabilización para una pintura sobre tabla del s. XVIII*. Tutors: Eva Pérez Martínez, José Manuel Barros García. Tesina final de màster inèdita. València: Universitat Politècnica de València, Facultat de Belles Arts, 2011, p. 17.

<sup>3</sup> VIVANCOS, V., (*op. cit.*), p. 62.

d'unions característiques. Aquestes podien ser a unió viva, amb coles de milà o amb espigues, entre d'altres.<sup>1</sup> A part de l'acoblament entre les taules, també es realitzaven travessers per millorar la seva resistència i aportar major qualitat estructural a la peça.

Els travessers solien estar clavats del revers cap a l'anvers, amb claus de ferro forjat, els quals es doblegaven sobre si mateixos. No obstant això, també hi ha alguns casos en que els claus es clavaven de l'anvers cap al revers, doblegant-los cap on hauria d'estar la policromia, tot i que no era el més habitual.<sup>2</sup> Dins del territori espanyol, la forma dels travessers i la disposició de les fustes depenia de la tradició i de les influències que havia tingut cada zona geogràfica.

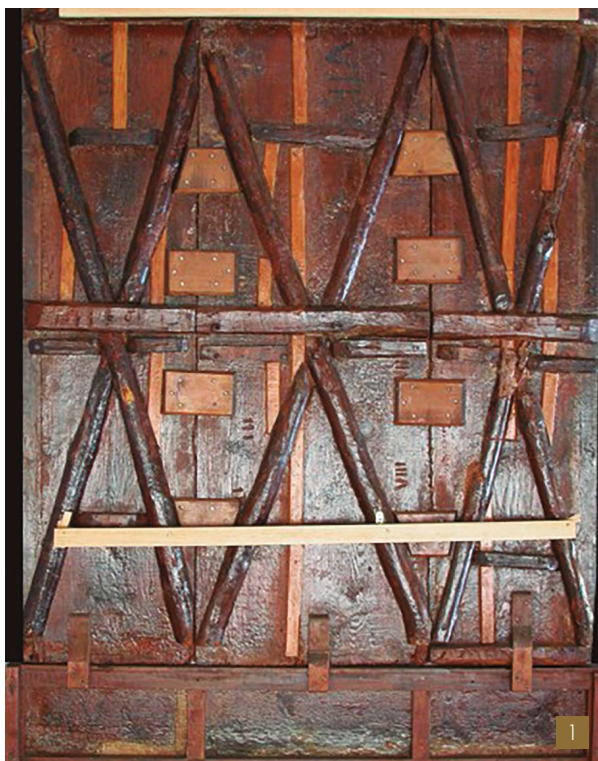
A grans trets, a la Corona d'Aragó i, sobretot, a les escoles catalana i valenciana, era molt característic l'ús de la creu de Sant Andreu.<sup>3</sup> Aquesta disposició dels travessers creava una creu en el revers de la taula, i havia algunes variants en les quals es podien disposar travessers en horitzontal per sota de la creu, ja fossin un, dos o tres depenent de les característiques estructurals de cada suport. <sup>1</sup>

D'altra banda, a la Corona de Castella se solien emprar travessers horitzontals, disposant els barrots en sentit



[1] Revers d'una taula que forma el *Retaule de la Verge de la Llet* del Mestre de Cubells, d'entre finals del segle XIV i inicis del segle XV. Col·lecció pictòrica del Museo Ladró. A la imatge es pot veure un reforç amb triple creu de Sant Andreu, molt típica de la Corona d'Aragó (Fotografia: ARTERESTAUACIÓN. *Retablo de la Virgen de la leche del Maestro de Cubells* [En línia] <<https://arterestauracion.com/retablos-2/retablo-de-la-virgen-de-la-leche-del-maestro-de-cubells/>> [Consulta: 12 març 2021]).

[2] Revers d'una taula que forma el *Retaule de la capella del Crist de la Misericòrdia* de l'Església de San José de Granada. Atribuït a Pedro de Cristo, primer terç del segle XVI. A la imatge es pot veure un reforç amb tres travessers horitzontals i assemblatges amb coles de milà. El reforç és l'habitual de la Corona d'Aragó (Fotografia: 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 línia] <<https://www.juntadeandalucia.es/organismos/culturaypatrimoniohistorico/areas/bienes-culturales/actuaciones-conservacion/intervenciones/detalle/39772.html>> [Consulta: 12 març 2021]).



perpendicular a l'acoblament de la taula. També se sap que, a meitat del segle XV van començar a implantar-se els marcs perimetrals de ranures, ja que aquests aportaven una major resistència a la fusta.<sup>4</sup> **2**

Durant el segle XVI va començar a desenvolupar-se un altre sistema de travessers per a les taules. Aquest consistia en inserir els barrots de fusta a contraveta i dins d'una caixa, tallada al suport, en forma de trapezi.<sup>5</sup> Aquest sistema aportava més fermesa a l'hora de controlar els moviments de la fusta.

#### SISTEMES DE REFORÇ DE RESTAURACIONS PRECEDENTS

Des de finals del segle XVIII fins a mitjans del segle XX es va emprar un sistema de reforç anomenat engafetat,<sup>6</sup> antecedent de molts sistemes de reforç estructural. Van existir diverses variants, però totes tenien la mateixa finalitat: controlar les deformacions naturals de la fusta en les taules policromades.<sup>7</sup> **3**

Aquest sistema estava compost per llistons de fusta entrecreuat entre ells perpendicularment. Els travessers en sentit a la veta anaven encolats o clavats al suport original i, els oposats, lliscaven entre els fixos en direcció contrària.<sup>8</sup>

És cert que ja es tenia constància de la composició de la fusta i de com actuava depenent del tall, de l'ambient on es trobava i de les seves propietats intrínseques. No obstant això, es pensava que la millor manera d'aturar el guerdament era realitzant un engafetat. El sistema estava dissenyat amb la intenció que els travessers fixos acompanyessin els moviments de la fusta, alhora que els travessers mòbils mantenien la taula plana.<sup>9</sup>

Passats uns anys, i veient els efectes del sistema, a mitjans del segle XX, els conservadors-restauradors van començar a adonar-se que els llistons es travaven a causa de les deformacions de la fusta i que no era tan efectiu com es pensava. És en aquest moment en què es van començar a desfer les intervencions anteriors i a investigar i proposar nous sistemes de reforç estructural amb criteris de mínima intervenció.

#### SISTEMES DE REFORÇ A PARTIR DE L'ANY 1950

La principal premissa dels nous sistemes de reforç estructural era que havien de permetre els canvis dimensionals de les taules alhora que estabilitzaven les deformacions.

Es van començar a crear sistemes, els quals actualment es poden englobar en: marcs, bastidors i travessers.

<sup>4</sup> *Ibid.*, p. 64.

<sup>5</sup> *Ibid.*, p. 65.

<sup>6</sup> BORRALLO, M., (*op. cit.*), p. 13.

<sup>7</sup> ZELAZOWSKI, J. *Estudio de obra y propuesta de conservación de una pintura sobre tabla del s. XIX*. Tutor: José Manuel Barros García. Treball final de grau. València: Universitat Politècnica de València, Facultat de Belles Arts, 2014, p. 16.

<sup>8</sup> *Ibid.*

<sup>9</sup> *Ibid.*



[3] Revers de l'obra *Sant Antoni de Pàdua* del Mestre d'Astorga o el seu cercle, de l'any 1530. Museo de León. Es pot veure una intervenció posterior amb un engafetat, possiblement de mitjans del segle XIX. (Fotografia: DOCPLAYER. *Arte leonés en la encrucijada de dos épocas* [En línia] <<https://docplayer.es/65935584-Arte-leones-en-la-encrucijada-de-dos-epocas.html>> [Consulta: 3 març 2021]).

<sup>10</sup> VIVANCOS, V., (*op. cit.*), p. 227.

<sup>11</sup> MARCO, C. *Diseño de un sistema elástico de estabilización y refuerzo para una pintura sobre tabla. El caso de La Resurrección*. Tutores: Eva Pérez Martínez, Ma. Victoria Vivancos Ramón. Tesina final de màster inèdita. València: Universitat Politècnica de València, Facultat de Belles Arts, 2013, p. 16.

<sup>12</sup> *Ibid.*, p. 24.

<sup>13</sup> *Ibid.*, p. 18.

<sup>14</sup> BORRALLO, M., (*op. cit.*), p. 30.

Aquests es poden emprar alhora o individualment, combinant moltes opcions que permeten adaptar-se a les necessitats estructurals de cada obra. Aquests sistemes també es poden protegir formant una vitrina que englobi el conjunt de la peça per crear un microclima adequat. És a dir, que entre totes les possibilitats que ofereix la combinació de sistemes es pot escollir el més adequat per a cada peça.<sup>10</sup> En aquest cas només ens centrarem en els travessers, ja que és el tema principal de la investigació, però és important remarcar que hi ha diverses opcions a part d'aquests.<sup>11</sup>

Per conèixer el sistema de muntatge més adequat per a cada peça és imprescindible estudiar l'obra en profunditat i decidir si es poden modificar els travessers originals, en el cas que en presenti, o si cal crear un nou sistema de reforç.

Dins dels diversos sistemes de reforç existeixen diferents elements flexibles i mòbils que aporten les característiques necessàries al sistema conjunt. Aquests es poden separar entre sistemes d'elastòmers i sistemes de molles.<sup>12</sup>

En aquest article només es desenvoluparan els sistemes de molles, ja que s'ha considerat que són els més versàtils i els que presenten millors característiques en conjunt. D'altra banda s'ha de deixar constància de l'existència dels sistemes d'elastòmers, ja que a partir d'alguns dels seus elements es poden combinar amb els de molles per crear sistemes més efectius.

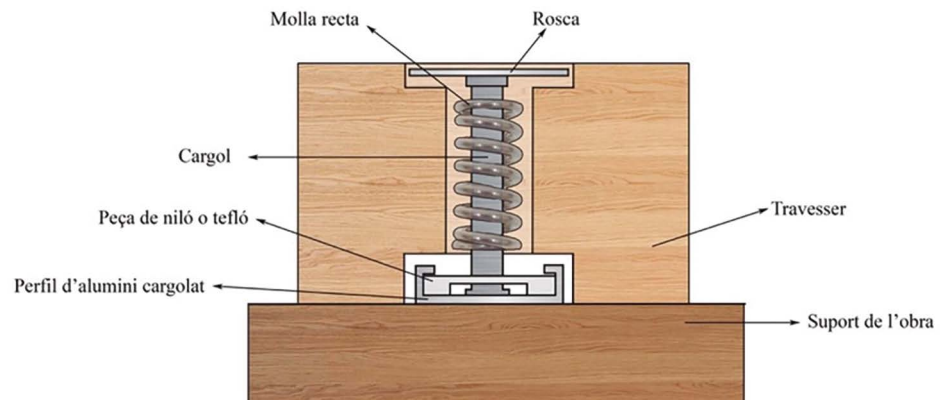
#### SISTEMES DE MOLLES

Tots els sistemes de molles tenen en comú la utilització de ressorts de compressió, de tracció o de torsió. Contràriament a l'engafetat, l'avantatge d'utilitzar aquests sistemes és la possibilitat de controlar elàsticament les deformacions de la taula, incloent els moviments de dilatació, contracció i curvatura. Cada sistema pot utilitzar un tipus de molla o un altre, però les molles més efectives són les còniques, ja que a causa de l'ampli diàmetre inferior que presenten, permeten repartir la pressió homogèniament, sense centrar-la en un punt concret.

#### - Sistema lliscant de molles rectes <sup>4</sup>

Aquest sistema està compost per una caixa cilíndrica superior i una rectangular inferior, la qual conté un perfil d'alumini o de llautó unit a la taula amb cargols, dins del qual llisca una peça de niló o de tefló.<sup>13</sup> Aquesta peça està perforada i permet passar els cargols que guien la molla a través de la segona caixa, aquesta circular. El sistema es tanca amb una rosca, la qual permet variar la pressió de la molla.<sup>14</sup>

La rigidesa del perfil de llautó fa que aquest sistema només es pugui muntar a obres poc corbades, a més, no és massa aconsellable el seu ús, ja que només permet moviments en diagonal. Un altre inconvenient és que les peces van cargolades dins del suport i requereix una intervenció massa invasiva.



4

[4] Esquema explicatiu del sistema lliscant de molles rectes (Il·lustració: 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*. Tutores: Eva Pérez Martínez, Ma. Victoria Vivancos Ramón. Tesina final de màster inèdita. València: Universitat Politècnica de València, Facultat de Belles Arts, 2013, p. 18).

Aquest sistema va ser utilitzat al Museo del Prado l'any 2008 per a la restauració del revers de *La purificación de la Virgen*, de Pedro de Campaña.<sup>15</sup>

### - Sistema amb abraçadores metàl·liques i molles còniques <sup>5</sup>

El sistema amb abraçadores elàstiques de molles còniques helicoidals és un sistema que s'ha utilitzat, normalment, en obres de gran format.<sup>16</sup> Un exemple del seu ús és a la restauració que es va realitzar l'any 2015, en el Museo del Prado, de *El Calvari* de Rogier van der Weyden,<sup>17</sup> ja que permet un muntatge ràpid, poc arriscat i molt eficaç. El seu principal objectiu és aportar tant flexibilitat com fermesa al suport original.

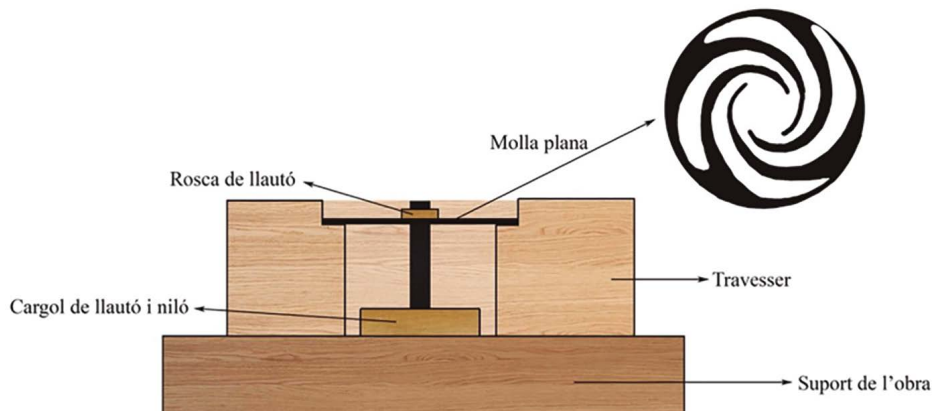
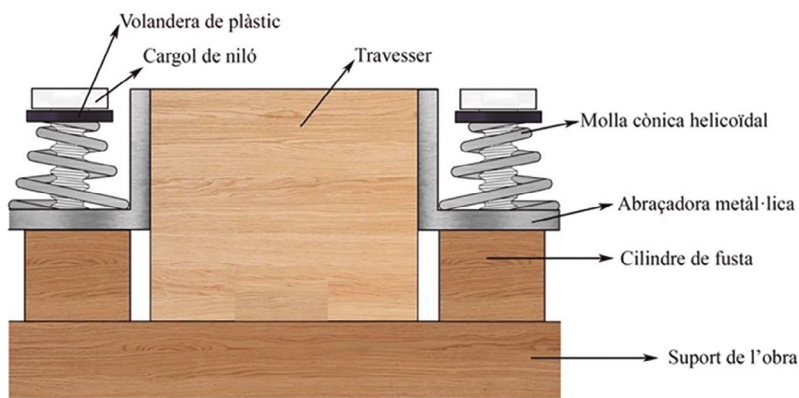
Per muntar-lo, primer es creen els travessers i s'encolen els cilindres de fusta al suport, dins dels quals hi ha un cargol de niló. Els travessers es posicionen al lloc corresponent

i s'introdueixen a sobre les abraçadores metàl·liques, les quals tenen un forat vertical pel qual passa el cargol i dos forats horitzontals per poder cargolar el sistema al travesser. Finalment, s'introdueix la molla cònica i el sistema es tanca amb una volandera de plàstic i un cargol de niló.<sup>18</sup>

El principal inconvenient és que el sistema, en no estar inserit dins del travesser, ocupa molt espai de muntatge. A més, en no estar directament protegit, pot patir degradacions a causa dels factors externs i mediambientals, sobretot si la peça que s'intervé està en un entorn poc controlat.

### - Sistema de molles planes <sup>6</sup>

Dins dels travessers es realitzen dues caixes cilíndriques. La inferior és la que alberga un petit botó de llautó daurat que s'encola a la superfície original, dins del qual hi ha un



[5] Esquema explicatiu del sistema amb abraçadores metàl·liques i molles còniques.

[6] Esquema explicatiu del sistema amb molles planes (Il·lustracions: L. Lara).

<sup>15</sup> MUSEO DEL PRADO. *Restauración de "La Purificación de la Virgen" de Pedro de Campaña*. [En línia] <<https://www.museodelprado.es/aprende/investigacion/recursos/restauracion-de-la-purificacion-de-la-virgen-de/2fe2b762-bbaf-4973-bdde-4a874e-5ba1ef>> [Consulta: 12 gener 2021].

<sup>16</sup> COCCHI, L. *Tecniche avanzate per lo Studio del comportamento strutturale dei dipinti su tavola*. Tutor: Luca Uzielli. Tesi Doctoral. Florència: Università degli Studi di Firenze, Scuola di Dottorato in Agraria, 2013, p. 34.

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

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

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

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

<sup>21</sup> CASTELLI, C.; CIATTI, M.; SANTACESARIA, A. *Dipinti su tavola, la tecnica e la conservazione dei supporti*. Florència: Edizioni Firenze (Opificio delle Pietre Dure), 2012, p. 159.

<sup>22</sup> BORRALLO, M., (op. cit.), p. 29.

<sup>23</sup> MILLER, M.A.; BISACCA, G.; GALITZINE, D. "The Development of a Spring Mechanism for Use in Conjunction with Auxiliary Supports for Previously Thinned Panels". A: *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.

<sup>24</sup> CASTELLI, C.; CIATTI, M.; SANTACESARIA, A., (op. cit.), p. 187.

petit cargol de niló. Aquest passa per un forat central que uneix les dues caixes del traverser. Finalment, dins la caixa superior s'introdueix una molla plana d'acer inoxidable i es tanca amb una volandera i una rosca de llautó.<sup>19</sup>

Les molles planes i els cargols de niló aporten molta mobilitat de tracció al sistema i, a causa del poc espai que ocupen, fan possible la realització de travessers de poc gruix. En conseqüència, a l'obra se li aporta poc pes en comparació a altres sistemes. Per contra, un inconvenient d'aquest mètode és la complicada adquisició d'aquest tipus de molles.

Va ser utilitzat en la restauració, portada a terme l'any 2018 pel Museo del Prado, del suport de la peça *El triunfo de la muerte* de Pieter Bruegel el Vell.<sup>20</sup>

### - Sistema de molles còniques <sup>7</sup>

El sistema de molles còniques es pot adaptar a diverses tipologies de travessers, ja que és un mètode molt versàtil, pràctic i senzill de realitzar. Aquest permet moviments oscil·lants en totes les direccions, i s'adapta tant als moviments de contracció i dilatació com als de deformació en el pla.<sup>21</sup>

Al travesser que alberga el sistema se li realitzen dues caixes cilíndriques; la superior és la de major profunditat i conté la molla cònica, i la inferior, de menor profunditat, és la que conté el cilindre de fusta.<sup>22</sup>

El diàmetre de la caixa superior es determina pel diàmetre exterior de la molla, i el diàmetre de la caixa inferior depèn del diàmetre del cilindre de fusta, el qual ha de comptar amb espai sobrant al voltant.<sup>23</sup> Aquestes dues caixes s'uneixen amb un orifici vertical, per on s'introdueix el cargol que uneix tots els elements i tanca el sistema per la part superior, interposant una volandera entre aquest i l'extrem superior de la molla.

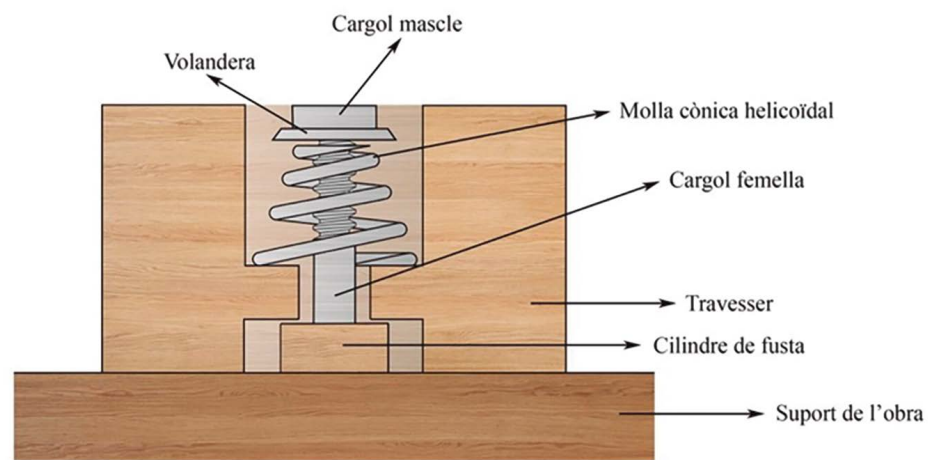
Aquest sistema pot fer variar la rigidesa necessària en cada cas, ja que, depenent del diàmetre del filferro de la molla emprada o de la pressió que es faci amb el cargol mascle, es pot tenir un sistema amb més o menys mobilitat. Si més no, en un mateix travesser es poden tensar més o menys cada molla, adequant-se a les característiques del centre de la taula o dels extrems.

En contraposició, l'inconvenient d'aquest sistema és el pes que s'afegeix a l'obra original, ja que per albergar tots els seus elements es necessita un travesser de bastant gruix.

Un exemple d'aplicació del sistema de molles còniques helicoidals seria a la peça *Il Cataletto della Misericordia*, de Domenico Beccafumi, avui a la Pinacoteca Nacional de Siena.<sup>24</sup>

### CONCLUSIONS DELS SISTEMES DE REFORÇ ACTUALS

A part dels sistemes de molles esmentats, n'hi ha molts



7

[7] Esquema explicatiu del sistema de molles còniques (Il·lustració: 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*. Tutors: Eva Pérez Martínez, Ma. Victoria Vivancos Ramón. Tesina final de màster inèdita. València: Universitat Politècnica de València, Facultat de Belles Arts, 2013, p. 21).



més que s'utilitzen a l'actualitat o que s'han utilitzat no fa gaire anys. La premissa que segueixen tots aquests sistemes és permetre el moviment de la fusta sense travar-la,<sup>25</sup> alhora que creen un reforç necessari per a la peça.

La majoria de sistemes de molles esmentats no s'han dissenyat per ser polivalents, sinó que el seu disseny parteix de les necessitats estructurals d'un tipus d'obra en concret. Això fa que no tots els sistemes puguin ser aplicables per qualsevol tipus de peça, sinó que se cenenyeixen a unes qualitats específiques.

S'ha considerat que el sistema més adaptable i més versàtil és el sistema de molles còniques. Per tant, aquest és el que s'ha estudiat més a fons i el qual s'ha redissenyat per millorar les seves característiques i la seva versatilitat.

### MODIFICACIÓ DEL DISSENY DEL SISTEMA DE MOLLES CÒNIQUES: SISTEMA ARAL

El sistema de molles còniques presenta unes característiques que el fan totalment adaptable per a qualsevol tipus de peça, tot i que el sistema original té alguns inconvenients per poder-lo crear i muntar a la peça en qüestió.<sup>8</sup>

Per la modificació, primer de tot s'ha tingut en compte l'inconvenient primordial del sistema original: la manera d'aconseguir un moviment rotatori continu i controlat del cap del cargol dins la peça de fusta adherida al suport. La principal premissa que s'ha seguit ha sigut l'adaptabilitat, alhora que les noves peces s'han dissenyat amb l'objectiu de mecanitzar el sistema de producció, fer-lo més senzill i estandarditzar-lo.

A la **TAULA 1** s'esmenten els problemes que presenta el sistema i els elements de solució que es proposen, juntament amb un codi QR, on es pot accedir als dissenys en 3D.

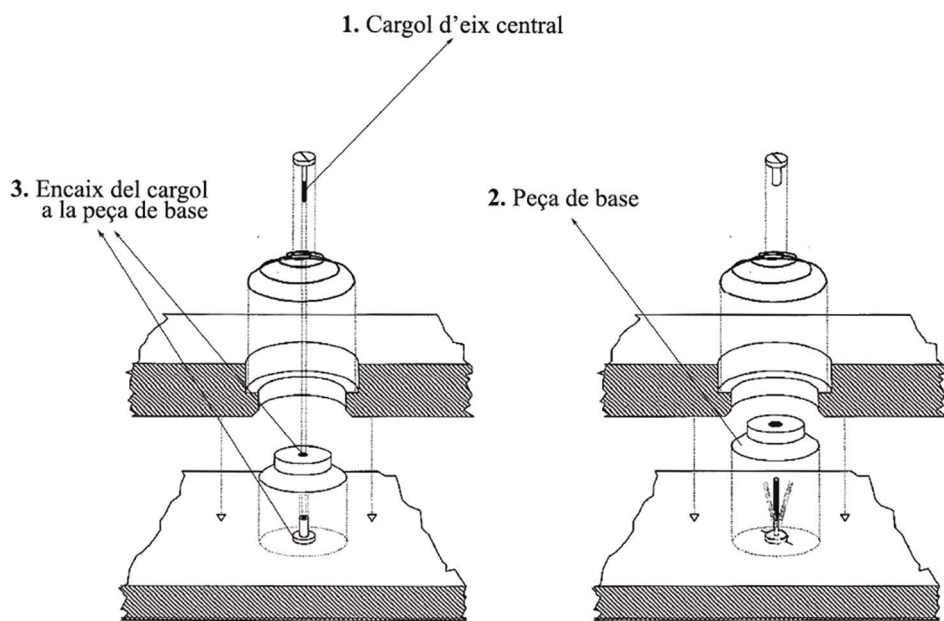
Un cop establertes les tres mancances principals, i haver aconseguit tres solucions, es proposa el següent disseny del nou sistema de molles, anomenat sistema Aral.<sup>12</sup>

Prèviament a la creació del sistema en un prototip, s'han modelat totes les peces en el *software* 3D Max per ajuntar-les dins del travesser<sup>26</sup> i veure com seria el moviment conjunt.<sup>27</sup> Gràcies a això s'ha pogut comprovar de manera visual el funcionament que tindrà el sistema i com serà el muntatge final.<sup>13</sup>

<sup>25</sup> VIVANCOS, V., (*op. cit.*), p. 66.

<sup>26</sup> SKETCHFAB. *Sistema de molles còniques i travesser*. [En línia] <<https://sketchfab.com/3d-models/sistema-de-molles-coniques-i-travesser-2ded352b15d14b-1ca05a9ba85e961506>> [Consulta: 17 maig 2021].

<sup>27</sup> CLOUS ET DE VIS. *Disseny del sistema de molles còniques en 3D*. YouTube [vídeo digital], 17 de maig de 2021 <[https://www.youtube.com/watch?v=KqfIBiKHR\\_Y](https://www.youtube.com/watch?v=KqfIBiKHR_Y)> [Consulta: 17 maig 2021].



8

[8] Funcionament del sistema de molles còniques (Il·lustració: CASTELLI, C; CIATTI, M; SANTACESARIA, A. *Dipinti su tavola, la tecnica e la conservazione dei supporti*. Florència: Edizioni Firenze (Opificio delle Pietre Dure), 2012, p. 187, modificada per L. Lara amb Adobe® Photoshop).

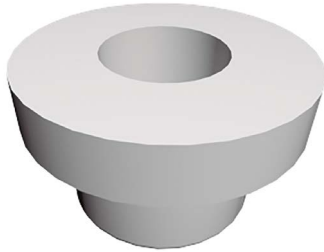

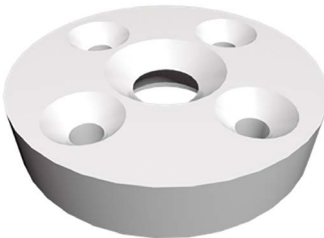

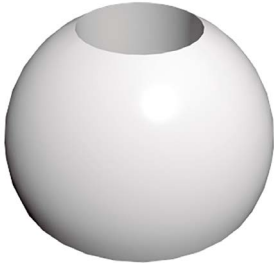

<sup>28</sup> MARCO, C., (op. cit.), p. 21.

[9] Adaptador en 3D.

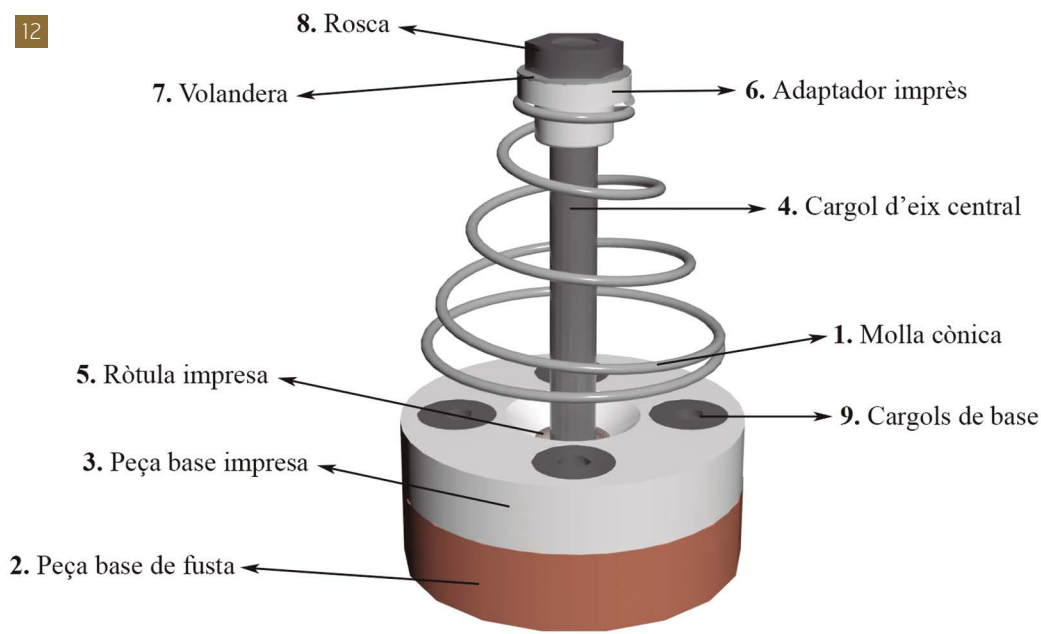
[10] Peça de base en 3D.

[11] Ròtula en 3D (Il·lustracions: L. Lara i S. Lara).

TAULA 1

ELEMENT	MANCANÇA	ELEMENT DE SOLUCIÓ	SOLUCIÓ
<b>1</b> <b>Cargol d'eix central</b>	<p>No encaixa perfectament amb la molla. Hi ha un espai entre els dos elements. Per fer-lo totalment flexible s'hauria d'utilitzar un cargol de niló, ja que si s'utilitza un d'acer és possible que quedi massa rígid i no permeti la mobilitat necessària.</p> <p>El sistema original també proposa utilitzar un cargol femella i un de mascle, tot i que el fet que els dos cargols s'uneixin en mig de la molla pot fer que aquesta s'encalli i no sigui del tot efectiu el moviment.<sup>28</sup></p>	<p><b>Adaptador del cargol a la molla.</b> <span style="float: right;">9</span></p>   <p>Codi QR a la peça de base en 3D.</p>	<p>Adapta el diàmetre exacte del cargol al de la molla i no deixa cap espai entremig. Pel que fa al cargol, se n'ha escollit un d'acer amb cap hexagonal intern i cilíndric extern.</p>
<b>2</b> <b>Peça de base</b>	<p>Aquesta peça presenta l'inconvenient de l'elaboració, ja que en tenir una forma massa peculiar és complicat tallar moltes peces iguals. A més, hi ha poc espai per encabir el cap del cargol, quedant massa ajustat al forat i traient gran part de la mobilitat del sistema.</p>	<p><b>Peça doble de base.</b> <span style="float: right;">10</span></p>   <p>Codi QR a la peça de base en 3D.</p>	<p>Permet que el cargol no estigui en contacte directe amb l'obra. La peça que va adherida a la superfície és de base cilíndrica i de fusta. Dins d'aquesta peça hi ha un forat central realitzat amb una broca circular, on va recolzat el cap del cargol.</p> <p>La segona peça de base és un model creat en 3D i imprès en un material inert. Aquesta peça té un forat bisellat pel qual passa el cargol i s'uneix a la peça de fusta amb quatre cargols petits. El cap del cargol d'eix central queda encabir dins d'una caixa interna.</p>
<b>3</b> <b>Encaix del cargol a la peça de base</b>	<p>No es presenta un moviment uniforme i no hi ha la suficient mobilitat. En el sistema original el cap del cargol està en contacte directe amb la fusta original, fet que provoca un desgast continu al suport que no seria necessari.</p>	<p><b>Ròtula.</b> <span style="float: right;">11</span></p>   <p>Codi QR a la peça de base en 3D (Il·lustracions: L. Lara i S. Lara).</p>	<p>Aporta un moviment rotatiu continu a l'eix central i aporta total mobilitat al cargol. El cap del cargol s'introdueix a la ròtula, que és la peça que aporta moviment i uneix aquest element amb la peça de base impresa.</p>

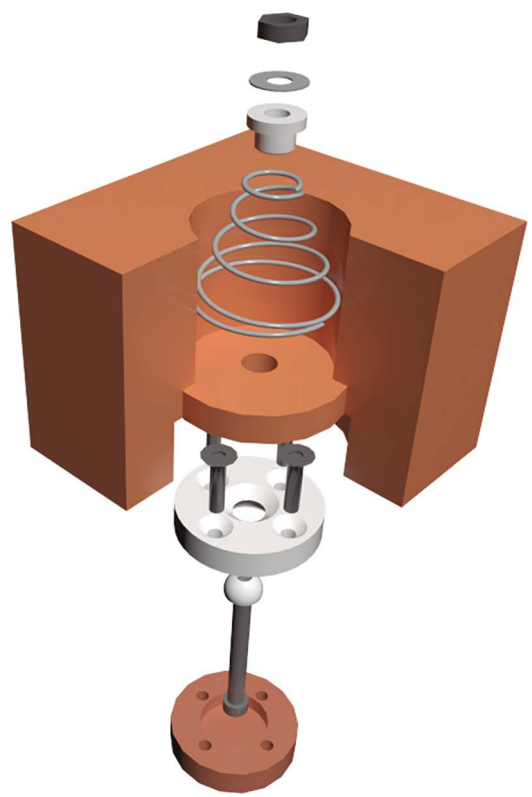
12



Codi QR a la descripció dels elements en 3D del sistema de molles còniques Aral.

[12] Descripció dels elements del sistema de molles còniques Aral.

13



Codi QR al sistema de molles còniques Aral desmuntat dins del travesser.



Codi QR al vídeo explicatiu del muntatge del model 3D del sistema de molles còniques Aral. (Vídeo: L. Lara).

[13] Sistema de molles còniques Aral desmuntat dins del travesser (Il·lustracions: L. Lara i S. Lara).

[14] Prototip del sistema Aral (Fotografia: L. Lara, modificada amb Adobe® Photoshop).



14

<sup>29</sup> Traduït al català de l'original en castellà: FLORES, L. *Estudio del comportamiento de adhesivos sintéticos y de sus propiedades físico-químicas aplicados sobre soporte lúgneo*. Tutors: José Vicente Grañá Sales, José Manuel Simón Cortés, Ma. Victoria Vivancos Ramón. Tesina Final de Màster. València: Universitat Politècnica de València, Facultat de Belles Arts, 2016, p. 40.

<sup>30</sup> *Ibid.* p. 81.

<sup>31</sup> 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), núm. 12, p. 6.

<sup>32</sup> *Ibid.*

<sup>33</sup> GRUPO ESPAÑOL DE CONSERVACIÓN. *Plastazote*. [En línia] -<https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/emba-laje-exposicion/plastazote/> [Consulta: 15 febrer 2021].

#### CREACIÓ D'UN PROTOTIP DEL SISTEMA ARAL <sup>14</sup>

Una vegada s'han dissenyat totes les peces en format digital 3D, s'ha creat un prototip del sistema dissenyat per comprovar la seva eficiència i adaptabilitat.

#### Creació del travesser

El travesser creat per encabir el prototip mesura 16,5 cm de llarg, 6 cm d'amplada i 3,7 cm de gruix, i s'ha muntat sobre una fusta de pi de 22 cm de llarg, 12 cm d'amplada i 2,2 cm de gruix, la qual simula la fusta original de la peça. Aquest travesser s'ha realitzat amb fusta laminada, intercalant peces de xapa de pi d'1 mm de gruix i de fusta massissa de pi de 4 mm de gruix, encolades amb acetat de polivinil.

Segons l'estudi sobre adhesius de L. Flores, "Les característiques generals d'aquest adhesiu són: bona flexibilitat i elasticitat, bona adhesió, nul·la toxicitat, ús senzill i net, resistència a la calor fins a 50-60 °C i el seu aspecte físic és blanc amb textura líquida-viscosa".<sup>29</sup>

Aquest adhesiu és un dels que presenta més resistència a la força de tracció per arrencament amb una càrrega directa perpendicular; concretament, pot suportar fins a 15,28 kg/cm<sup>2</sup>.

Els llistons s'han anat encolant tenint en compte que s'han d'orientar les fibres en sentit de la major longitud, alhora que l'orientació dels anells sempre ha de tenir la mateixa disposició. Invertint els taulons s'ha d'evitar que el conjunt de totes les peces torni a fer un cercle conjunt.<sup>30</sup>

S'ha escollit aquest tipus de travesser perquè la finalitat de la fusta laminada encolada és aconseguir una peça sòlida que tingui major resistència que un llistó de fusta massissa tallat en la mateixa secció.<sup>31</sup> A més, crear travessers amb fusta laminada permet modelar-los a la curvatura exacta de la peça original, tot i que el prototip s'hagi creat pla; però aquest sistema permet reduir l'anisotropia en comparació amb la fusta massissa, augmentant la homogeneïtat i la fiabilitat.<sup>32</sup>

Primer de tot s'han realitzat les caixes més grans, on s'introdueix el sistema de la base. S'ha escollit una broca circular de 40 mm i se li ha donat una profunditat de 14 mm a cada caixa, on van encabits els sistemes. Cal que la caixa sigui una mica més profunda que les dues peces de la base, ja que d'aquesta manera el travesser sempre estarà en contacte amb la fusta original i no quedarà elevat.

A la part superior del travesser, amb una broca de 25 mm s'han realitzat les caixes on va allotjada la molla. Aquestes són d'una profunditat de 23 mm perquè pugui encaixar-se la molla sense tenir gran marge de moviment.

Per últim, als travessers s'han adherit amb acetat de polivinil tres tires de Plastazote® d'1 cm de gruix per 6 cm de llarg i 3 mm de gruix. Aquest material és una escuma reticulada de polietilè, inerta químicament i biològica i lliure d'additius.<sup>33</sup>

D'altra banda també s'ha tingut en compte que, en ser una escuma, al cap dels anys acabarà despolimeritzant-se i perdent la seva funcionalitat. En aquest cas s'ha tingut en compte els 3 mm de gruix del Plastazote® per confeccionar les caixes inferiors. És a dir, quan l'escuma perdi les seves propietats polimèriques, l'espai entre el travesser i el suport desapareixerà, i les dues fustes, la del travesser i l'original, estaran en contacte directe, però en cap moment els travessers perdran la seva funcionalitat.

Al prototip també se li ha fet una incisió a una de les cantonades del travesser, per poder veure amb més claredat la funcionalitat de cada peça. Gràcies a això s'ha pogut comprovar el moviment de cada element i corroborar la seva funcionalitat.

### Creació del sistema de molles

La molla cònica<sup>34</sup> que s'ha escollit està enrotllada en fred i compta amb un diàmetre exterior màxim de 25 mm, el diàmetre del fil és d'1 mm i té 5 espirals. La molla està confeccionada en acer amb una protecció superficial inoxidable, una característica que assegura la bona estabilitat del material a llarg termini. S'ha tingut en compte el compliment de la norma UNE-EN 13906-1:2013,<sup>35</sup> que especifica les característiques generals de les molles helicoidals.

S'ha decidit utilitzar un cargol de cap buit amb casquet hexagonal per a clau Allen. Aquest és un model de cargol que no té cap aresta externa i només té la rosca fins la meitat del coll, fet que permet que a la part superior no es travi la molla, fent el moviment més suau i continu.

El cargol és de mètrica 4 i el radi petit intern de la molla mesura 7 mm. No s'ha escollit un cargol del mateix diàmetre que la molla perquè, si no, l'eix central és massa gruixut i no aconsegueix el moviment necessari. Perquè no es bellugui la molla, s'ha imprès l'adaptador dissenyat anteriorment amb un gruix de 3 mm que unifiqui el moviment dels dos elements. També s'han imprès la peça de base i la ròtula.

Tots aquests elements s'han imprès amb una impressora Creality Ender 3 Max, amb un filament blanc de tereftalat de polietilè (PET).<sup>36</sup> Aquest material és un polímer amb propietats resistents a la torsió, a la deformació tèrmica i a l'envelliment. Té molt bona resistència química i és un material inert, a més de ser poc porós i resistent a l'atac de fongs.

Les peces s'han imprès en 50 minuts a una temperatura de fusió de 220 °C, mentre que el llit de la impressora

estava a una temperatura de 60 °C. Una vegada impreses, la ròtula s'ha introduït dins del cap del cargol i l'adaptador dins del radi petit de la molla.

Amb la referència de la peça de la base impresa s'ha decidit el diàmetre per crear la peça base de fusta. Aquesta s'ha dissenyat a partir de les mesures estàndards dels llistons rodons de fusta de faig, amb la intenció de poder mecanitzar el sistema de producció i fer que la manufactura d'aquestes pugui ser més àgil. S'ha escollit un llistó de fusta de 30 mm de diàmetre, i amb una serra de biaixos s'han tallat peces de 0,7 mm de gruix. Aquest diàmetre permet que, en encabir el sistema a la caixa del travesser, hi hagin uns 10 mm de moviment.

Finalment, s'ha marcat el centre de cada peça després de polir-les i, amb un trepant de peu i una broca circular de 15 mm, s'han fet forats de 3 mm de profunditat on va encabir el cap del cargol amb la ròtula.

Per últim, a partir dels forats perimetrals de la peça de base impresa s'han realitzat els forats de la peça de fusta. Aquests s'han realitzat amb un trepant i una broca de 2 mm. Tot seguit, per unir les peces, s'han cargolat els quatre cargols d'acer inoxidable de cap avellanat de clau Allen, però abans s'ha col·locat el cargol a l'interior de les dues peces. Un cop la peça de base s'ha muntat, amb una serra s'han tallat els quatre cargols de base per adequar-los a l'alçada corresponent de la base de manera que no sobresurtin i quedin a ran de la base de la fusta original.

La peça de base s'ha encolat a la fusta amb acetat de polivinil i, una vegada fixada, s'ha encabir tot el sistema dins del travesser i s'ha tancat amb una volandera i una rosca d'acer inoxidable.

### Conclusions de la creació del prototip

Les mesures dels elements que s'han creat es poden escalar a major o menor dimensió, de manera que el sistema es torna molt versàtil per a qualsevol obra. D'altra banda, a partir de l'estudi específic de cada obra, es pot determinar com es veurà afectada la peça pels canvis termohigromètrics en l'ambient en què es troba. Amb aquestes dades es pot determinar si cal ampliar o reduir els forats de marge de moviment que presenta el sistema.

### ADAPTACIÓ A LA PEÇA SANTA LLÚCIA

Després d'haver estudiat el funcionament del prototip i haver creat un model estàndard, s'ha optat per comprovar la seva efectivitat en una peça que necessitava l'aplicació d'un sistema de reforç estructural. El principal motiu pel qual s'ha decidit aplicar el sistema a una peça és per

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

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

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

[15] Anvers i revers de la taula policromada *Santa Llúcia* abans del procés de restauració (Fotografia: L. Lara).



15

corroborar la veracitat del prototip i conèixer quines dades són necessàries per a la seva adaptació a una peça.

Tenint en compte tots els elements del sistema, s'ha realitzat un estudi previ de la taula policromada en qüestió i s'han calculat algunes dades necessàries per a la correcta adaptació d'aquest al suport.

#### DADES GENERALS DE LA TAULA POLICROMADA SANTA LLÚCIA 15

L'obra en qüestió és una pintura sobre fusta de la col·lecció permanent del Museu Diocesà d'Urgell. La policromia és un tremp i representa la figura de Santa Llúcia. L'obra està datada entre finals del segle XVI i inicis del segle XVII i té una autoria anònima.

El suport és de format rectangular vertical i està constituït per dos taulons de fusta de conífera, concretament de *pinus sylvestris*, tallats en secció longitudinal radial als anells de creixement.

Mesurant els taulons pel revers, l'esquerra mesura d'alçada 107 cm, d'amplada mínima 26,4 cm i d'amplada màxima 26,7 cm, ja que aquest no és completament recte. D'altra banda, el tauló de la dreta mesura 108 cm d'alçada, 25,1 cm d'amplada mínima i 26 cm d'amplada màxima. El gruix és uniforme a tota l'obra, mesurant 3,1 cm.

Pel que fa a l'estructura constitutiva, la peça compta amb els dos taulons units entre ells a unió viva,<sup>37</sup> sense encolar i amb el reforç estructural de dos travessers horitzontals

<sup>37</sup> VIVANCOS, V., (*op. cit.*), p. 58.

clavats pel revers. No obstant això, la peça presenta antics forats perimetrals de claus, de quan estava encastada, possiblement, en una estructura arquitectònica més gran, com un retaule.

Probablement, a causa del bloqueig de mobilitat de la taula provocat pels travessers fixes, es pot apreciar que els dos taulons estan separats entre ells i estan torçats, fent que la imatge pictòrica no coincideixi.

**MESURA DE LA MINVA MÀXIMA DE LA FUSTA A PARTIR DE LES DADES D'HUMITAT RELATIVA I TEMPERATURA DEL 2020 DE LA SALA DE RESERVA DEL MUSEU DIOCESÀ D'URGELL**

Actualment la taula policromada se situa a la sala de reserva del Museu Diocesà d'Urgell, dins d'un ambient on la humitat i la temperatura es controlen periòdicament.

Gràcies a les dades obtingudes pel *data logger*, ubicat a la sala de reserva del museu, s'ha pogut conèixer la variabilitat de la humitat relativa i de la temperatura que hi ha hagut durant l'any 2020 i s'ha creat un gràfic resum amb les dades dels mesos analitzats. [16]

**Càlcul de les possibles variacions dimensionals fora del pla**

Conèixent el tipus de fusta de la peça i les dades ambientals d'humitat relativa i temperatura<sup>38</sup> de l'emplaçament, el qual compta amb una saturació màxima del 30% (Hsat),<sup>39</sup> es pot calcular la humitat d'equilibri de les fibres (Heq):

Per la humitat relativa de 65% a 7 °C correspon una humitat d'equilibri de 12%,<sup>40</sup> i per la de 45% a 8 °C, una de 9%.<sup>41</sup>

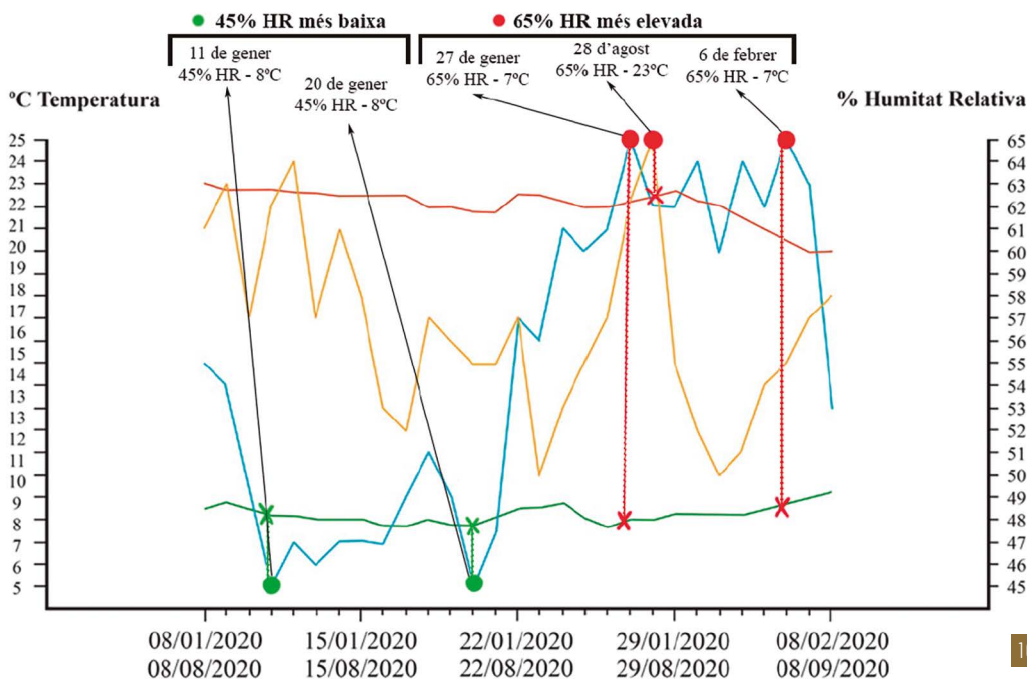
Cada tall de cada tipus de fusta presenta unes constants màximes de contracció.<sup>42</sup> Concretament, la fusta de *pinus sylvestris* té una minva màxima pel tall transversal de 0,4%,<sup>43</sup> pel tall longitudinal radial de 4%,<sup>44</sup> i pel tall longitudinal tangencial de 7,7%.<sup>45</sup> Amb aquestes dades i les mesures corresponents a cada secció de la taula es poden realitzar els càlculs per conèixer el màxim de variació estructural que presentarà la fusta en el ambient en el qual es conserva.<sup>46</sup>

$$\Delta HR_{eq} = HR_{m\grave{a}x} - HR_{m\grave{i}n} \text{ (d'una } HR_{sat} \text{ de 30\%)} \\ \Delta HR_{eq} = 12\% - 9\% = 3\% \text{ (d'una } HR_{sat} \text{ de 30\%)}$$

Una vegada s'ha obtingut la humitat d'equilibri general, es calculen les possibles variacions dimensionals:

$$(\Delta HR_{eq} \div HR_{sat}) \cdot (\text{minva del tall} \div 100) \cdot \text{mesura en mm} \\ = \text{variació màxima en mm}$$

$$\text{Minva màxima del tall transversal} = \\ (3 \div 30) \cdot (0,4 \div 100) \cdot 1080 = \mathbf{0,43 \text{ mm}} \\ \text{Minva màxima del tall longitudinal radial} = \\ (3 \div 30) \cdot (4 \div 100) \cdot 31 = \mathbf{0,12 \text{ mm}} \\ \text{Minva màxima del tall longitudinal tangencial} = \\ (3 \div 30) \cdot (7,7 \div 100) \cdot 520 = \mathbf{4,00 \text{ mm}}$$



[16]

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.

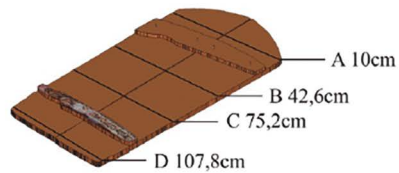
44 CASTELLI, C; CIATTI, M; SANTACESARIA, A., (op. cit.), p. 64.

45 *Ibid.*

46 MARCO, C., (op. cit.), p. 35.

[16] Resum de les dades d'humitat relativa i temperatura de la sala de reserva del Museu Diocesà d'Urgell (imatge: L. Lara).

[17] Mesura de les deformacions de les taules separades i reacoblades de la peça *Santa Llúcia* (Il·lustració: L. Lara).



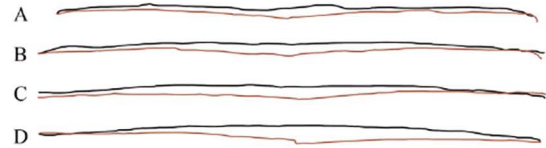
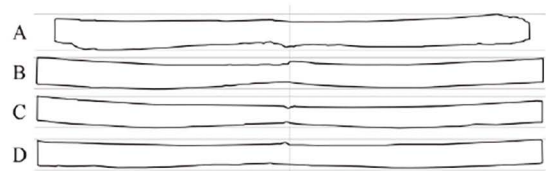
Mesura de la curvatura de les taules unides amb els travessers fixes.

■ Taules reacoblades

■ Taules separades



Mesura de la curvatura de les taules separades i reacoblades.



17

### Mesura de les deformacions en el pla: curvatura <sup>17</sup>

S'han mesurat quatre punts de la taula a una distància relativa entre ells per poder obtenir unes dades significatives de les variacions. Es pot apreciar que la fusta és bastant uniforme i, només al centre, en la unió dels dos taulons, hi ha una petita diferència de gruix.

Els dibuixos dels perfils de l'obra sense desmuntar mostren que les dues taules presenten un guerdament convex uniforme a l'anvers i que, a la junta, hi ha un petit esglaó i una separació de les dues fustes.

D'altra banda, s'han realitzat dues mesures més: una abans d'acoblar de nou els dos taulons i una després d'acoblar-los. En aquest cas només s'han mesurat al revers. Amb la segona mesura es pot apreciar la corba pròpia de cada fusta i, amb la tercera mesura, es pot comprovar la corba final de la peça.

Després d'aquest petit estudi es pot determinar que el sistema de molles ha de ser una mica més resistent que flexible. Ha d'adaptar-se als moviments de contracció i dilatació de la fusta, així com a la curvatura que pugui adquirir al cap dels anys. Pot apropar-se més a la rigidesa, ja que s'haurà d'adaptar a uns moviments bastant controlats.

### CREACIÓ DEL SISTEMA ARAL I ADAPTACIÓ A LA PEÇA SANTA LLÚCIA

Abans de realitzar el sistema adaptat a la peça, s'ha dut a terme el procés de restauració del suport. Després de realitzar els processos corresponents i de separar els dos travessers originals, ha calgut reacoblar les taules. <sup>18</sup> Les dues taules estaven unides sense encolar i només se subjectaven pels claus dels antics travessers fixos. S'ha

decidit col·locar tres espigues horitzontals, una a cada 36 cm d'alçada. Aquestes espigues són de secció circular i de fusta de faig, les quals mesuren 3,5 cm de llarg i tenen un diàmetre de 8 mm. El resultat d'aquest procés ha sigut la obtenció d'una corba còncaua molt més estable que les dues taules separades. <sup>19</sup>

Els travessers i els sistemes de molles s'han creat seguint els mateixos sistemes que els emprats en la creació del prototip. Per les dimensions de la peça, en aquest cas s'ha optat per crear dos travessers amb quatre sistemes de molles cadascun. <sup>20</sup>

S'ha decidit anar confeccionant els travessers a sobre de la peça en si, ja que la peça permet exercir la força necessària per aconseguir modelar els llistons a sobre de la corba, sense malmetre el suport.

Abans de començar a encolar els llistons, s'ha posat Melinex® al revers de la peça. La cola s'ha anat aplicant a les dues bandes dels llistons; mitjançant una espàtula, s'ha exercit una pressió constant per aconseguir que l'adhesiu penetres dins dels porus de la fusta. S'han anat adherint els llistons i les xapes de pi, fins aconseguir un gruix de 3,8 cm. S'han posat pesos i serjants i s'han deixat les fustes sota pes durant una setmana. Finalment s'han polit i s'han realitzat les caixes on van encabits els sistemes.

Una vegada els travessers s'han tallat completament, s'ha realitzat un tractament preventiu contra xil·lofags, donant dues capes d'oli de nim <sup>47</sup> al 5% en etanol. Amb els travessers ja creats, s'ha decidit utilitzar tires de Plastazote® per fer un millor contacte entre la fusta original i els travessers. <sup>21</sup>

<sup>47</sup> Oli de la planta *Azadirachta indica*.





[18] Procés de reacobrament de les dues taules (Fotografia: L. Lara).

A partir dels resultats obtinguts s'ha arribat a la conclusió que, mentre la peça segueixi en un ambient controlat amb els mateixos paràmetres, no patirà gaire canvis dimensionals. La major variació dels taulons serà en l'amplada, però només variarà un màxim de 4 mm, per tant, el sistema de molles ha de permetre com a mínim aquest moviment, per adaptar-se als moviments de la fusta i no travar-la.

Les peces de la base mesuren 30 mm de diàmetre i, escollir una broca de 35 mm de diàmetre per realitzar les caixes inferiors, fa que el sistema tingui 5 mm lliures per moure's en totes les direccions. D'aquesta manera hi ha un mil·límetre de marge extra. Per contra, al prototip s'havia realitzat una caixa de base 5 mm més àmplia que la del sistema aplicat a la peça. Les peces de base s'han adherit al suport original amb acetat de polivinil, ja que d'aquesta manera, si en un futur cal eliminar el sistema, es pot realitzar.

S'ha pesat cada element per conèixer el pes que se li afegeix a la peça. Cada sistema complet té un pes de 15,6 g. Per tant, si a la peça s'afegeixen 8 sistemes, el pes d'aquests serà de 126,4 g. D'altra banda, el travesser superior té un pes de 536,8 g i l'inferior de 572,4 g. Per consegüent, a la peça se li afegeix un pes total de 1,23 kg, que és el que pesa el total dels elements. <sup>22</sup>

També s'ha realitzat el procés de restauració dels estrats pictòrics, però no s'explicarà en aquest article. <sup>23</sup>

#### **Recomanacions de conservació i manteniment**

S'ha de realitzar una revisió anual o bianual per comprovar el bon estat de les peces del sistema. A més, si la temperatura i la humitat són molt variables, és

necessari adaptar cada una de les molles a les necessitats climatològiques.

Si les dades recollides en un futur s'aproximen a les estudiades, caldrà regular la tensió de les molles. A l'època de l'any en què la humitat relativa sigui més baixa del 45% caldrà donar més tensió a les molles centrals i destensar les perimetrals. D'altra banda, quan la humitat relativa augmenti per sobre del 65%, les molles més perimetrals s'hauran de tensar més que les centrals.<sup>48</sup> D'aquesta manera s'aconsegueix un equilibri estable entre la contracció i dilatació de la fusta del suport amb el comportament dels travessers.

#### **CONCLUSIONS**

Des de fa molts segles es coneixen els problemes que dona la fusta com a suport pictòric. Per aquest motiu, molts dels sistemes que es coneixen fins a avui dia han tingut com a objectiu acompanyar el moviment de la fusta per evitar els guexaments innecessaris i destructius que provoca la seva pròpia anisotropia.

A partir del sistema Aral, el qual ha sigut dissenyat a partir del sistema de molles còniques, s'ha proposat un nou sistema de reforç estructural per a taules policromades.

El principal problema de crear un sistema per una obra és la falta de temps en les intervencions i el fet que s'hagin d'estudiar diverses característiques de la peça per conèixer quin és el millor sistema per aplicar. A partir del nou sistema i de l'aplicació a la peça *Santa Llúcia*, ha quedat demostrat que, realitzant unes petites variants respecte al prototip dissenyat, pot aplicar-se en una peça amb un elevat grau de curvatura.

<sup>48</sup> MARCO, C., (op. cit.), p. 45.

D'altra banda, cal remarcar que els resultats del sistema dissenyat no es podran analitzar fins passats uns mesos. Cal que la peça hagi estat en diferents èpoques de l'any per obtenir dades significatives de la funcionalitat del sistema.

També cal seguir desenvolupant-lo per adaptar-lo a més peces que necessitin aquesta intervenció, ja que d'aquesta manera es poden realitzar comparacions i anar perfeccionant el sistema Aral. S'ha de tenir en compte la realització d'un futur estudi en el qual, sense perdre

efectivitat, es pugui reduir el pes dels travessers adaptats al sistema Aral. Un exemple seria fer-los més prims i crear una tapa impresa per protegir cada sistema.

Per concloure, cal remarcar que l'estudi realitzat en aquest treball ha pretès ser una continuació dels sistemes emprats fins al moment i una solució als problemes que actualment es presenten en aquest àmbit. No obstant això, s'ha de seguir estudiant rigorosament per arribar a descobertes que permetin aconseguir un sistema el més versàtil possible.



Curvatura còncaua uniforme després de reacoblar les taules.



Curvatura irregular abans de reacoblar les taules.

19



20

[19] Diferència entre la curvatura inicial de la peça i després de reacoblar les taules.

[20] Sistemes de molles còniques Aral.

[21] Visió lateral i inferior dels nous travessers creats per la taula policromada *Santa Llúcia* (Fotografies: L. Lara).



21



Codi QR al vídeo explicatiu del muntatge del sistema de molles còniques Aral a la taula policromada *Santa Llúcia* (Vídeo: L. Lara).



[22] Procés del muntatge del sistema de molles còniques Aral a la taula policromada *Santa Llúcia*.

[23] Anvers i revers de la taula policromada *Santa Llúcia* després del procés de restauració (Fotografies: L. Lara).

## BIBLIOGRAFIA

ARBUÉS, C; FONT, T. "Aproximació a la formació de la col·lecció del Museu Diocesà d'Urgell". A: *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". A: *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". A: *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 lógicos. Restauración". *Artigrama*. Vol. 1 (1989-1990), núm. 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), núm. 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". A: *Jornadas de Investigación Emergente en Conservación y Restauración de Patrimonio (1: 26 octubre de 2016: Valencia)*. València: 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". A: *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". A: *Symposium of The Structural Conservation of Panel Paintings (april 24-28, 1995: Los Angeles)*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1998, p. 136-148.