

Criterios

Bastidores y pinturas sobre lienzo. Equilibrio de las tensiones y propuestas operativas (primera parte)

Franco Del Zotto

Restaurador-conservador. Colaborador del Ministerio de Bienes Culturales, Centro Villa Manin de Passariano y Univ. de Udine

Resumen

En la restauración de pinturas sobre lienzo, la cuestión del soporte -tela y bastidor- ha tenido durante mucho tiempo un papel secundario respecto a la preponderante cuestión estética, propia de la policromía. Las investigaciones con método científico que comenzaron en Italia a partir de los años cincuenta contribuyeron al conocimiento de la interacción del bastidor sobre la tela y sobre los estratos policromos superiores.

En el artículo se ilustra el itinerario seguido en la investigación para llegar a la realización de estructuras portantes flotantes, capaces de amortiguar la resultante de las reacciones físico-mecánicas de la tela y de los estratos pictóricos, derivadas de las variaciones ambientales de temperatura y humedad, para conservar a lo largo del tiempo una tensión adecuada, programada, regularmente distribuida y controlada, condiciones todas ellas indispensables para su conservación.

Palabras clave

Pinturas
Lienzo
Medioambiente
Bastidores
Bastidores flotantes
Expansión-retracción del bastidor
Madera
Patrimonio mueble
Distribución de fuerzas
Intervención
Investigación

Introducción

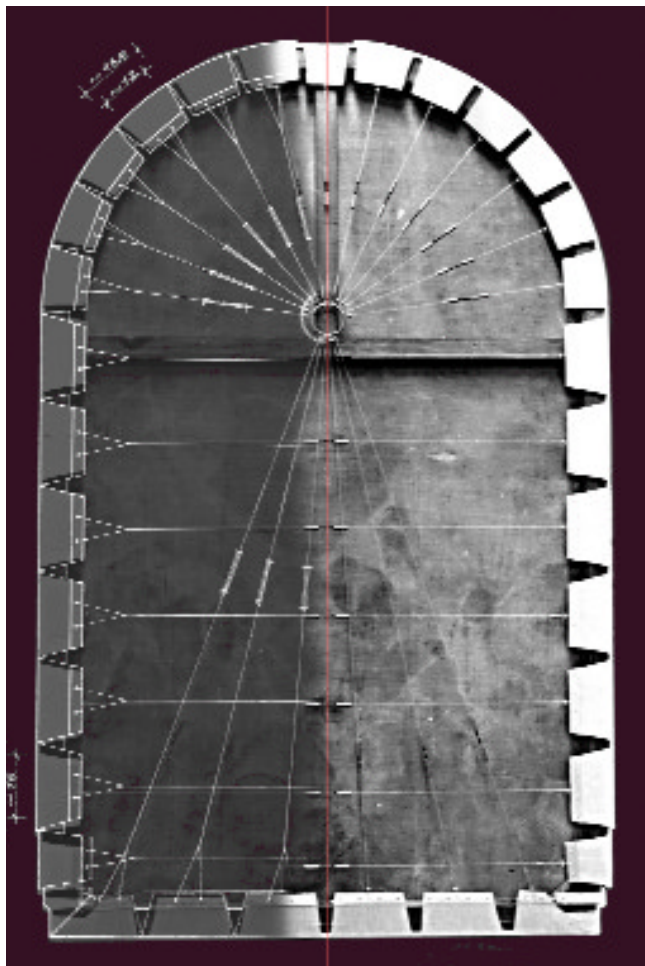
En los primeros años de la década de los ochenta dio comienzo en nuestro taller el estudio de la problemática de las pinturas sobre lienzo en cuanto a su relación con el bastidor y las posteriores experimentaciones y aplicaciones. En aquel período, pocos en Italia estaban interesados en esta cuestión, en absoluto no marginal, tal vez por una propensión a "no complicar demasiado un trabajo garantizado por una tradición plurisecular"¹. Sin embargo, en los años cincuenta, el Instituto Centrale per il Restauro de Roma comenzó sus primeras investigaciones con los estudios de Carità, que continuaron en los años setenta con un programa defendido por Urbani y que, por desgracia, quedó interrumpido; otros, sin embargo -recuérdese a Rigamonti- llevaron adelante experimentaciones e investigaciones a nivel privado, basadas en la práctica de la restauración. En el extranjero, en cambio, sobre todo en Gran Bretaña y en los Estados Unidos, el complejo estudio de las pinturas sobre lienzo y de su interacción con el medio ambiente, comenzado en los años sesenta, continúa todavía con resultados muy significativos, ligados especialmente a las investigaciones de Mecklenburg, Berger y Russell, Hedley y, actualmente, de Young.

En este artículo vamos a presentar la primera parte de una síntesis cronológica del trabajo y de las investigaciones llevadas a cabo en nuestro laboratorio-taller de restauración privado, deteniéndonos en algunas soluciones técnicas concebidas y puestas en práctica, que en el curso de los años se han ido adaptando para responder cada vez mejor a las exigencias de cada obra así como para facilitar la intervención del restaurador.

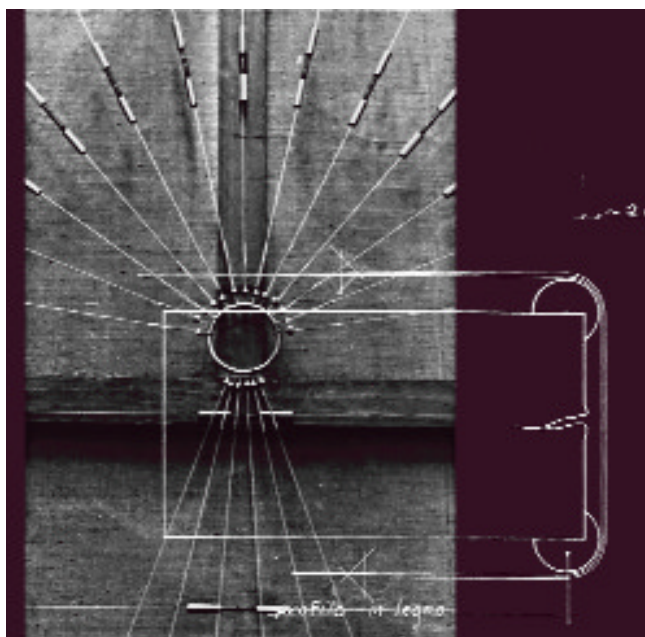
Las propuestas que se van a ilustrar a continuación, además de sobre la propia experiencia personal, se basan en la indispensable aportación de las ciencias experimentales aplicadas a la conservación y en los resultados de estudios teóricos y de sus aplicaciones, publicados en revistas técnicas y en actas de congresos nacionales e internacionales a partir de 1950. Somos plenamente conscientes de que estas propuestas no son exhaustivas, pero deben ser tenidas en cuenta, bien como punto de partida para una confrontación entre los restauradores y los investigadores, bien como práctica compartida y como mentalidad de acercamiento cotidiano, para que el empirismo de los primeros, si bien dictado por la experiencia y por la tradición, se vea apoyado por la comprobación experimental de los segundos y para tener a disposición datos reales que se puedan trasladar a la práctica de la conservación.

Para acercarnos cada vez más a la solución de los fenómenos que inciden en el complejo comportamiento de las pinturas sobre lienzo, estamos convencidos de que es fundamental también la divulgación de los resultados de las experiencias.

Volviendo a los temas de este artículo, nuestro trabajo comenzó con la cuestión de la distribución homogénea y del mantenimiento constante de la tensión aplicada a las pinturas. Mientras que no existe aún una unidad de criterio sobre la tensión a la que se debe someter a la tela, tanto desde el punto de vista cualitativo como



1



2

cuantitativo, todos están de acuerdo, en cambio, en el hecho de que para mantener un equilibrio interno entre los distintos estratos que componen una pintura, resulta fundamental mantener constantemente la tensión a un valor suficiente pero no demasiado elevado (suficiente para impedir la superioridad de los movimientos internos de algunas partes del sistema, y no tan alta como para poner en crisis otras partes)².

Pero poner en práctica lo que la ciencia determina en la teoría no es tarea fácil. Las investigaciones de laboratorio se llevan a cabo predominantemente sobre maquetas, o sobre reconstrucciones de pinturas o fragmentos de pinturas originales; aunque sean irrefutables desde el punto de vista teórico, nunca podrán representar el comportamiento efectivo ni las reacciones reales de una pintura completa colocada en su ambiente real. Una solución para analizar directamente la obra original podría ser un protocolo con instrumentos de fácil utilización y aplicación, trasladado a la cotidianidad de los laboratorios, para registrar la tipología de la restauración en programa y su correspondiente seguimiento, las características de las obras, tales como su estado de conservación y su procedencia histórica, artística y territorial, el destino final, los valores reales de tensión que requiere la obra en curso de restauración y, en los años siguientes de su vida, la transformación de los materiales que la constituyen, etc. La recogida de todas estas informaciones, codificadas para permitir su máxima divulgación y su posterior comparación, constituiría la base ideal para orientar a la investigación científica y promover el desarrollo de nuevas soluciones prácticas^{3,4}.

En nuestro laboratorio hemos tratado de poner en práctica este enfoque recogiendo todos los datos posibles sobre cada una de las intervenciones que hemos llevado a cabo: desde las informaciones relativas a la conservación y a la tipología hasta las que se refieren a la distribución, calidad y cantidad de las fuerzas aplicadas en las operaciones sobre la tela y sobre el bastidor, que constituyen el tema de esta aportación.

El papel de la tensión en las pinturas sobre lienzo

Nuestra investigación comenzó con un "bastidor", es decir, con una estructura fija, o mejor dicho indeformable, en simbiosis con un "aparato" cuyo tamaño es capaz de ampliarse o encogerse, manteniendo el soporte textil pintado sobrestante a una tensión establecida según unos valores predeterminados.

Es sabido que cada sistema de tela-estratos policromos necesita su propia fuerza, determinada por las variables que lo constituyen: tipo de tela, calidad y consistencia de la preparación, estado de conservación de todos los estratos e intervenciones sufridas (forrado, impregnación, etc.) o por sufrir. Cada elemento constitutivo posee su propia identidad químico-física bien diferenciada y manifiesta unas respuestas físico-mecánicas igualmente diferenciadas; cada

1. Bastidor con amortiguadores elásticos de tensión y cables de unión. Configuración geométrica y distribución de las cargas: Gráfico del proyecto y de la realización.
2. Detalle de la sujeción de los tensores en oposición. Sección del Bastidor original, con bordes de deslizamiento para las bandas vueltas hacia el reverso

uno tiene su propio módulo elástico y su resistencia a la tracción, compresión y torsión; cada uno manifiesta sus propias curvas de restricción o dilatación en relación a las variaciones de H.R. y de temperatura⁵. Para valorar la tensión que debe ser aplicada, no podemos olvidar nunca ni la correlación que existe entre tela, imprimación, preparación y color, ni la acción del bastidor que, al repercutir sobre la tela misma, interviene en los estratos que están por encima de ésta. Los datos anteriormente descritos contribuyen a determinar el valor de Fuerza -o de tensión- que debe ser capaz de ofrecer el bastidor y que constituye el límite de referencia de la tensión a la que debe ser sometida una pintura. Así pues, para la salvaguardia del sistema es necesario lograr establecer unas condiciones de equilibrio dentro de la sucesión de estratos que constituyen la "tela pintada" y entre ésta y el bastidor.

Es fundamental que cada bastidor posea un límite de referencia de la tensión bien definido y por ese motivo, en nuestras propuestas, junto a esta exigencia privilegiamos una reducción dimensional del bastidor que acompañe al encogimiento de la tela, en vez de una ampliación (al contrario de lo que sucede con los bastidores tradicionales).

De modo paralelo, un valor de tensión no puede definirse como adecuado si la tensión está mal distribuida sobre la superficie del tejido.

Ya en la antigüedad era conocida la anisotropía entre estratos policromos y tela. Pasando por alto esta condición y para buscar un equilibrio en la sección tela-estratos policromos, Vasari y Armenini, por ejemplo, hablan de la costumbre de aplicar en las telas "bien estiradas" tres o cuatro manos de cola dulce y, finalmente, una fina imprimación y, más tarde, el color⁶. Las investigaciones más recientes sobre el comportamiento de las telas sin tratar y de las pinturas confirman una cierta utilidad de los procedimientos pictóricos anteriormente descritos^{7,8}.

Keck proporciona una síntesis eficaz de lo que puede ocurrirle a una pintura sobre lienzo. Él explica los daños causados en las pinturas por su implícita inestabilidad y por la acción de los agentes medioambientales⁹, mientras que la génesis y la tipología de los agrietados de los estratos pictóricos y la acción de tales fenómenos sobre la estabilidad de la tela y de los citados estratos pictóricos han quedado ampliamente ilustrados por Buck¹⁰.

En la práctica, los fenómenos mecánicos descritos actúan negativamente sobre las obras, provocando sobre la tela desfibrados, ondulaciones y desgarros, y sobre la película pictórica microfisuras, levantamientos y, en la peor de las hipótesis, desprendimientos.

Estas formas de degradación progresiva basadas en el desequilibrio del sistema, podrían ser mantenidas en condiciones de stand-by con un adecuado microclima, si la obra está conservada en un ambiente controlado, colocada de manera que se eviten puentes térmicos (fuente de una posible formación de humedad de condensación con sus correspondientes consecuencias) y desplazamientos de aire con sus consiguientes turbulencias mecánicas, si

está equipada con una protección en la parte trasera como defensa contra la acumulación de polvo contaminante y como microcámara de aislamiento útil para la estabilización del microclima, y si está correctamente iluminada. Con una situación ideal como la que se ha descrito, las pinturas no tendrían necesidad de intervenciones drásticas. Por desgracia, la realidad es muy diferente ya que la mayor parte de las obras sobre lienzo se conserva en ambientes donde es difícil recrear las condiciones ideales o "de museo". No por ello hay que intervenir necesariamente extrapolando la obra del contexto histórico en el que sitúa su presencia, y mucho menos momificarla dentro de una "caja" climatizada, o peor aún, desnaturalizándola con operaciones invasivas que alteran su materia y su mensaje.

Una aportación positiva llega de nuestra propuesta de "bastidor flotante", es decir, un instrumento de válida aplicación en el caso de una indispensable sustitución del viejo bastidor. Queremos subrayar que, en cualquier caso, ésta es una elección extrema que no debe ser aplicada de manera indiscriminada como única solución posible para todos los problemas.

Por exigencias de espacio, aquí presentaremos nuestras argumentaciones y sus correspondientes indicaciones operativas, ilustrando dos momentos. El primero se refiere a la distribución de las fuerzas dentro de la superficie de una pintura sobre lienzo; el segundo, a la tensión impuesta a la tela por el bastidor. El trabajo continuará en posteriores entregas para documentar varios prototipos y modelos de bastidor flotante, de sistemas de montaje de las telas, de protección de la parte trasera y de sistemas flotantes que reutilizan el viejo bastidor, hasta llegar a los bastidores para estandartes.

La distribución de las fuerzas

Ya ha sido ampliamente demostrado que el sistema "tradicional" de sujetar la tela al bastidor provoca daños, que son el resultado de una distribución no homogénea de las fuerzas, dependientes de la rigidez dimensional que el remachado perimetral le impone a la tela. Cualquier pintura sobre tela, forrada o no, en principio bien tensa en un bastidor con cuñas o tensores, y clavada en el borde perimetral externo, antes o después está destinada a perder su tensión y, como consecuencia, su condición de plano. Cuando se lleva a cabo un mantenimiento regular de la obra, se trata de evitar este daño accionando el sistema de regulación del tensado, pero no se tiene en cuenta que, al recuperar la tensión, se provoca una nociva acumulación de fuerzas. Éstas se localizan, sobre todo, en los ángulos, donde existe una mayor concentración, y disminuyen a lo largo de las diagonales hacia el centro de la pintura¹¹.

Por desgracia, dichas regulaciones se repiten a menudo, cada vez que el lienzo se relaja. Para proporcionarle la posición plana que debe tener, a cada ajuste le corresponde una ampliación cada vez mayor de los ángulos. El tejido, clavado a lo largo del perímetro, puede moverse libremente sólo en esa pequeña zona¹².

Como consecuencia, en el interior de la tela y a causa del "efecto Poisson", no sólo se generan concentraciones de Fuerzas de tracción (Ft) ortogonales en las diagonales sino también de Fuerzas de compresión (Fc) a lo largo de las diagonales y del perímetro¹³.

Cuando con el paso del tiempo la elasticidad plástica de los estratos pictóricos disminuye, la presencia conjunta de tales fuerzas en el soporte textil provoca en los citados estratos pictóricos grietas de aspecto muy semejante a las fisuras producidas por el envejecimiento. También generan daños sobre la tela las Fuerzas de tracción y de compresión que, desde un simple desfibrado pueden llegar, en los casos más graves, a la rotura de las fibras; esto sucede cuando la expansión angular supera la fuerza de cohesión entre las mismas fibras.

Para eliminar o reducir la aparición de tales daños es necesario intervenir sobre el tipo de sujeción existente entre la tela y el bastidor.

En ocasiones sucede que la investigación "pura" conduce a la concepción de mecanismos complicados, a menudo costosos y con un discutible efecto estético que, completamente extraños al bastidor original, cambian de modo drástico el aspecto de la parte de atrás de la obra, filológica e históricamente tan importante como la de delante. Además, el coste a veces excesivo de estos sistemas innovadores, contruidos para el laboratorio o aplicados en algún que otro caso aislado, obstaculiza su utilización por parte de los conservadores.

Una simple medida de tipo técnico¹⁴ es capaz de evitar en gran parte los daños provocados por los montajes tradicionales, con clavos, grapas y algunas veces también con cola, culpables de la heterogénea distribución de las fuerzas. Ésta consiste en la prolongación de los márgenes de la tela utilizada para el nuevo forro o para las bandas de alargamiento, la cual, en vez de ser clavada tradicionalmente a lo largo del perímetro externo del bastidor, se vuelve hacia la parte de atrás en una longitud suficiente y luego se sujeta. Dicha "área cojín", interpuesta entre la superficie pintada y el punto de sujeción de la tela al bastidor, tiene la finalidad de absorber las fuerzas de deformación generadas por el tensado del bastidor mismo y de favorecer el deslizamiento de la tela sobre los bordes perimetrales para una equilibrada distribución del esfuerzo-deformación (stress-strain)¹⁵.

Pruebas comparadas 1

Para confirmar estas afirmaciones hemos llevado a cabo toda una serie de pruebas experimentales comparadas. Su finalidad era la de confrontar y analizar la distribución de las tensiones-deformaciones de dos muestras: un lienzo montado en el bastidor a la manera tradicional y un lienzo con su área cojín de amortiguado. La metodología de análisis se basó en la utilización del llamado "sistema de retículo", ya experimentado por Hedley¹⁶. Sobre una parrilla dibujada sobre la tela de muestra, en correspondencia con las tensiones que se desarrollaban después de la ampliación del bastidor, podíamos medir variaciones dimensionales. Este sistema permite obte-

ner un conocimiento completo de la distribución de las fuerzas, localizadas no en puntos individuales sino en amplias superficies. De este modo, los gráficos realizados con los datos recogidos permiten visualizar la distribución completa de los esfuerzos internos. En nuestro caso se demostró de gran utilidad para realizar un análisis comparativo y comprender cuál de los dos sistemas era capaz de distribuir mejor las tensiones sobre la tela.

Para la prueba se construyeron dos bastidores de tipo tradicional (ensamblaje de barbilla y mortaja) de 100 cm de altura por 70 cm de base y 3 cm de grosor, con tensores roscados en las cuatro ángulos. Aparte, en una tela ligera de trama densa, se aplicó una fina capa de preparación para obtener una membrana elástica y homogénea. La tela con la preparación fue luego sujeta al bastidor de dos maneras distintas. Sobre el Bastidor 1 se grapó con numerosas grapas a lo largo del perímetro externo; sobre el Bastidor 2 se volvió hacia la parte trasera, donde se clavó con un área cojín de alrededor de 12 cm, medidos desde la arista superior. En esta última muestra, los márgenes del bastidor fueron redondeados a propósito, pulidos y tratados con una película antifricción.

Después de haber aplicado a las dos muestras una tensión igual y moderada, se dibujó el retículo sobre las dos superficies, con cuadrículas de 2 cm de lado, dividiendo la altura de 100 cm con 50 líneas horizontales (eje X) y la base de 70 cm con 35 líneas verticales (eje Y); en el ángulo inferior izquierdo se dibujó una serie de circunferencias de 4 cm de diámetro, útiles para la visualización de los esfuerzos-alargamiento.

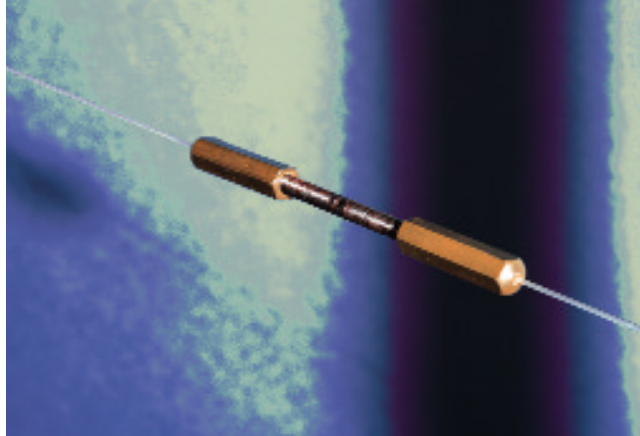
A este punto, los dos bastidores fueron sometidos a una lenta y contemporánea ampliación, hasta imponerle al tejido un alargamiento medio semejante al 1,4 %, porcentaje que se aumentó en el segundo bastidor para acentuar la visibilidad de las respuestas al estrés. Luego se midieron las variaciones dimensionales¹⁷.

Para una confrontación inmediata y una lectura más fácil de los resultados, los gráficos resultantes de la comparación fueron incorporados a dos composiciones tridimensionales para cada muestra: una correspondiente a los ejes X y otra correspondiente a los ejes Y. Una gran cantidad de datos y de medidas quedaba así reagrupada orgánicamente en cuatro gráficos en los que, para una mejor comprensión, son visibles solamente las deformaciones positivas dependientes de la Fuerza de tracción. De ese modo se obtiene una visión bastante precisa de lo que sucede en el interior de la fibra textil en la distribución de la tensión-alargamiento de los dos bastidores.

Examinando los resultados del Bastidor 1, expresados en los gráficos tridimensionales, resulta evidente una concentración masiva de deformaciones positivas en los ángulos, a veces superiores al 30% en las primeras muescas de referencia, mientras que a lo largo del perímetro el alargamiento resulta nulo. Además, se observa que el alargamiento mayor se produce a lo largo de las diagonales del retículo. Apenas nos alejamos del perímetro, el elevado pico registra-

3. Detalle del tensor roscado regulable: Gráfico del proyecto y de la realización. Las dimensiones son especialmente reducidas para reducir la interferencia estética

4. Sistema de amortiguadores elásticos de tensión con un punto de sujeción fijo, realizado en 1986 sobre una pintura del siglo XVII de formato oval. Detalle del montaje al bastidor fijo de madera de las bandas de alargamiento vueltas hacia el reverso. Se pueden ver el pistón roscado con muelle en compresión, disco y tuerca, la lama de sujeción y el freno de expansión (tuerca apoyada detrás de la lama)



3

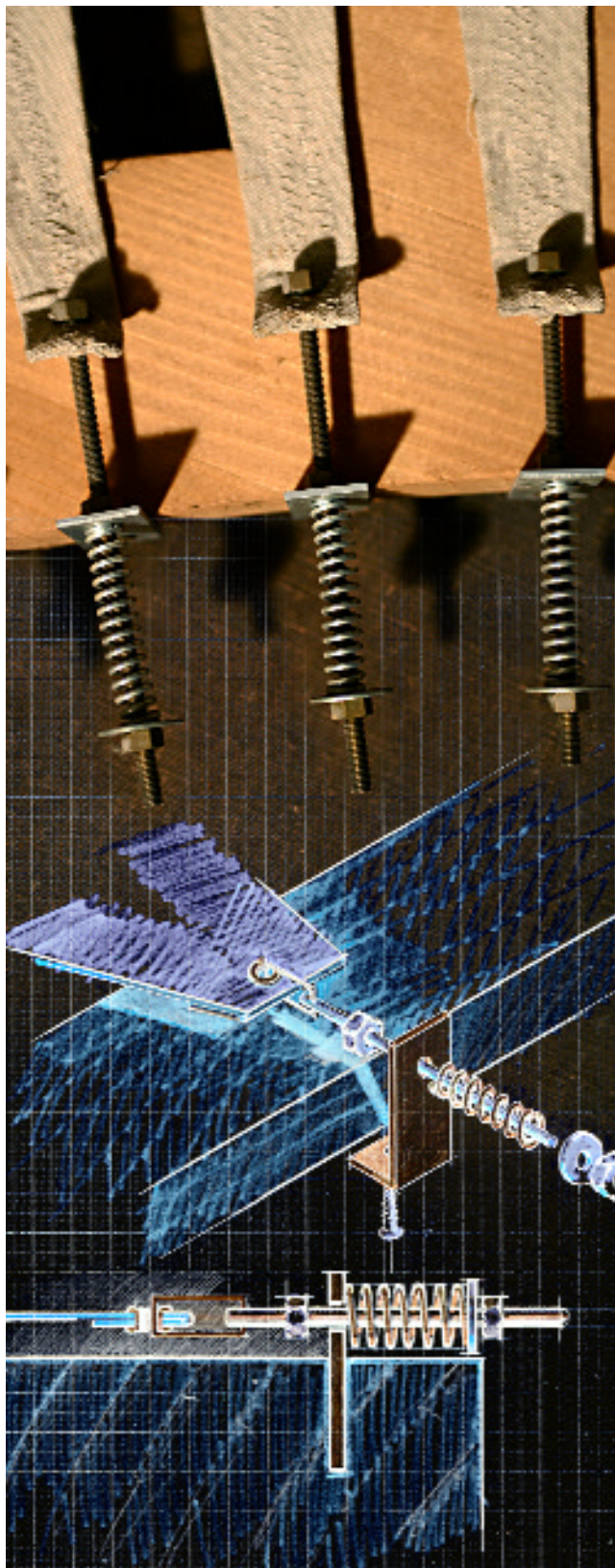
do a los lados desciende rápidamente, distribuyéndose siguiendo las diagonales hasta el centro del gráfico donde, sin embargo, el alargamiento tiene un valor cero, o cercano a cero, en numerosas muescas de referencia. Así pues, la Fuerza de tracción en los lados es de breve duración y, en algunos casos, asume valores negativos y se transforma luego en Fuerza de compresión. Cuanto se ha dicho es especialmente evidente en el gráfico tridimensional correspondiente a los ejes X (Gráfico 3), donde esta característica distribución está justificada por el efecto Poisson, que no procede, como podría creerse, de una mayor tensión-alargamiento en el eje Y (que, según los cálculos efectuados, es inferior a la del eje X), sino más bien de la concentración de grandes fuerzas en los ángulos.

Muy distintos son los resultados obtenidos en el análisis de los gráficos tridimensionales correspondientes al Bastidor 2 (Gráfico 4). Resulta bien visible la ausencia casi completa de las deformaciones positivas de elevadísimo valor encontradas en el caso anterior. Aquí la variación dimensional alcanza un valor máximo del 5%. El hecho más importante es que a lo largo del perímetro existe un deslizamiento de alargamiento transversal, y sobre todo que no existe en toda la muestra ningún punto en el que la tela esté sujeta a deformación negativa (Fc). Contrariamente a lo que sucede con el Bastidor 1, el lienzo presenta aquí algunas zonas en las que se observa una disminución de los valores de deformación; éstas están dispuestas a lo largo de los ejes del retículo. En nuestra opinión, la explicación de este hecho no se debe buscar en la mecánica del tensado efectuada por el bastidor, sino más bien en la capacidad del tejido, en otras palabras de una membrana, para lograr transmitir una fuerza desde el punto de aplicación hacia el interior.

Comparando los gráficos de los dos bastidores de muestra, se puede afirmar que en el Bastidor 2 existe una evidente mejora de la distribución esfuerzo-deformación, mucho más uniforme y constante, y una reducción del efecto Poisson respecto al Bastidor 1.

Sin embargo, para una lectura correcta de estos datos no debe olvidarse la naturaleza anisótropa de la tela, y que el tiempo que requiere un tensado equivalente a un alargamiento del 1,4% ha sido mucho menos lento del que se produce en una obra real. En efecto, puesto que los movimientos de relajamiento y posterior tensión de una pintura se repiten normalmente en fases sucesivas, distribuidas en un amplio arco de tiempo, esto podría volverse a favor de nuestra tesis. Habiendo aplicado a las pinturas de muestra una tensión-alargamiento (stress-strain) en tiempos breves, la tela, a lo largo del perímetro del bastidor, no ha tenido tiempo suficiente para poder ajustarse de forma óptima; unos tiempos de prueba más largos hubieran llevado, con toda seguridad, a un resultado mejor que el obtenido, ya bueno de por sí.

La conclusión de estos resultados comparados es que una simple medida de tipo técnico, económica y carente de interferencias estéticas (área cojín y sujeción en el margen posterior), que permite a veces reutilizar el bastidor original, favorece una homogénea distribución de las fuerzas ejercidas por la expansión del bastidor. Al



4

aplicar este sistema se reduce uno de los factores nocivos más graves para la conservación de las telas y, del mismo modo, se lleva a cabo una acción preventiva.

Las aplicaciones

El sistema de sujeción depende de distintos factores: de las dimensiones y de la forma de la obra, de las características físico-químicas y estructurales de la tela y de los estratos pictóricos, de la entidad de las fuerzas que hay que aplicar y, no en último lugar, del presupuesto del que se dispone. La sujeción puede ser de distintos tipos que, en cualquier caso, analizaremos mejor en los próximos capítulos.

A 1982-83 se remonta una intervención realizada sobre una pintura del siglo XVI curvada (Fig. 1)¹⁸.

Entre las distintas soluciones posibles para sujetar la tela al bastidor, para evitar clavar sus bordes a lo largo del perímetro externo, se tomó la decisión de volverla hasta el reverso de la estructura portante, de modo que no frenara ni la movilidad transversal ni la longitudinal. Las bandas de ampliación, que se vuelven rígidas en su extremo al introducir la tela en un sándwich de láminas de aluminio, han sido luego unidas en oposición en la parte de atrás, con una serie de finos cablecillos y tensores roscados regulables, siguiendo un esquema sobre cuya configuración geométrica se basa la adecuada distribución de las cargas (retomaremos el tema más adelante en este artículo) (Fig. 2,3).

Esta decisión permitió reutilizar el viejo bastidor fijo, sin modificar sus medidas, para una posterior y fácil incorporación al altar marmóreo en el que la pintura estaba colocada originariamente. Este sistema resulta válido cuando hay que intervenir en obras cuya dimensión perimetral no puede ser modificada por estar colocadas en estructuras fijas como altares, nichos o marcos y, por lo tanto, sin márgenes libres para la dilatación.

La modalidad de la sujeción mediante un área cojín fue adoptada también en intervenciones posteriores, como la que se realizó en 1986, de una tipología parecida, sobre un óvalo de medio formato, del que se presentan algunas imágenes (Fig. 4-6)¹⁹.

Durante los años sucesivos, sobre el tema del deslizamiento de las telas a lo largo del perímetro elaboramos otros sistemas que profundizaremos y presentaremos en un próximo capítulo del artículo ya que hemos decidido privilegiar aquí la cuestión del "bastidor".

Es necesario que la atención sobre estos temas²⁰ no disminuya nunca para que los aún numerosos restauradores y constructores de bastidores no perseveren en el hecho de sujetar las telas en el margen perimetral externo, sin pensar en los daños que este comportamiento superficial, aunque tradicional, provoca.

5. El mismo sistema de la Fig. 4. Abajo, un detalle del tensor compacto. a: pistón roscado con muelle en compresión, disco y tuerca; b: lama de sujeción; c: casquillo de contención; d: cilindro pasante con foro roscado.

6. Lama de sujeción de los tensores insertada en la madera con sistema de montaje mediante un perno pasante en versión compacta y un bloque de expansión.

La tensión constante y la relación tela-bastidor

Otro elemento que hay que tener en cuenta por su significativa influencia en el estado de conservación de una pintura sobre lienzo es la "tensión constante en plano" que los bastidores de tipo tradicional (cuñas, tensores) no son capaces de mantener.

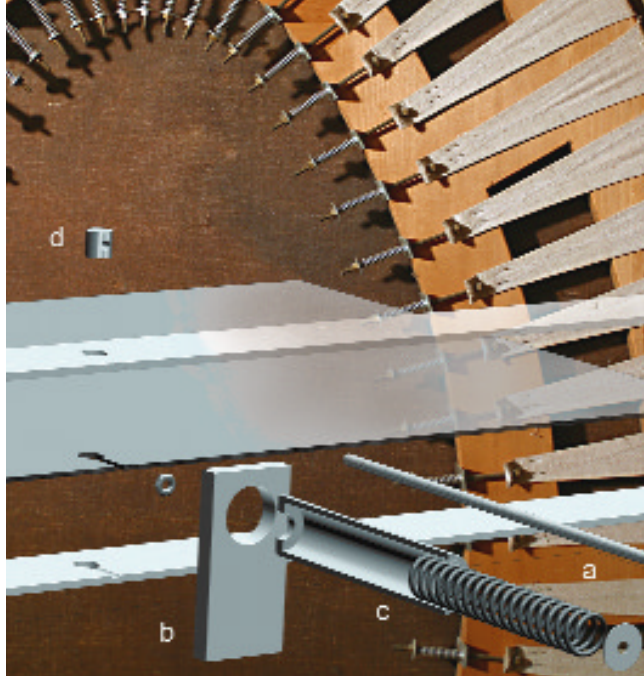
La anisotropía propia del conjunto de los materiales que constituyen la obra es activada por las variaciones microclimáticas de H.R. y temperatura, como se ha descrito anteriormente, y los efectos repercuten negativamente sobre las condiciones de la tela y de los estratos pictóricos.

La investigación en este sector continúa analizando el comportamiento diferenciado de los distintos componentes y coordinando los resultados del conjunto en un intento de formular un esquema de comportamiento lo más real posible. La tarea no es nada simple ya que las variables en una obra de arte son muy numerosas. Hay que reconocer, sin embargo, la aportación sustancial de estos estudios a la realidad de la conservación. Desgraciadamente, falta aún un conocimiento adecuado de estos problemas y la trasfencia práctica de la investigación a las intervenciones sobre las obras²¹.

Recordemos de nuevo un concepto con el que todos están de acuerdo: la estabilidad del microclima es la condición necesaria para una óptima conservación de las obras de arte sobre tela y, por lo tanto, también para el mantenimiento de la tensión constante en plano.

Resulta fácil intuir que en un sistema tela-imprimación-preparación-color las reacciones a las variaciones microclimáticas no son tan simples de definir. Dichas variaciones no ejercen ninguna acción negativa sobre una pintura en sus primeros años de vida, es decir mientras que el color sea capaz de poseer suficiente elasticidad y plasticidad. Con el envejecimiento de los materiales que componen el sistema, cualquier movimiento diferenciado que rompa este equilibrio puede constituir un violento estrés, que pone en peligro la buena conservación de la obra. Dentro de la sección estructural, y de manera perpendicular a ella, aparecen numerosos vectores de fuerza, ya sea F_c o F_t . Cuando el valor de su resultante supera el valor de la fuerza de resistencia de cada uno de los materiales se producen significativas transformaciones dentro del sistema.

A grandes rasgos se puede afirmar que, normalmente, las capas de imprimación y preparación tienden a asumir un papel predominante sobre los demás estratos. Cuando una pintura sobre lienzo se ve sometida a una disminución de la humedad relativa del ambiente donde se conserva, la tela empieza a dilatarse mientras que el conjunto imprimación-preparación tiende, en cambio, a imponer su fuerza encogiéndose. Como consecuencia, la tela está sujeta a la F_c ejercida por los estratos superiores, mientras que estos últimos quedan sometidos a la F_t ejercida por la tela. La manifestación de F_t depende del hecho de que la tela está apoyada en un bastidor dimensionalmente invariable que opone una fuerza de restricción al sistema.



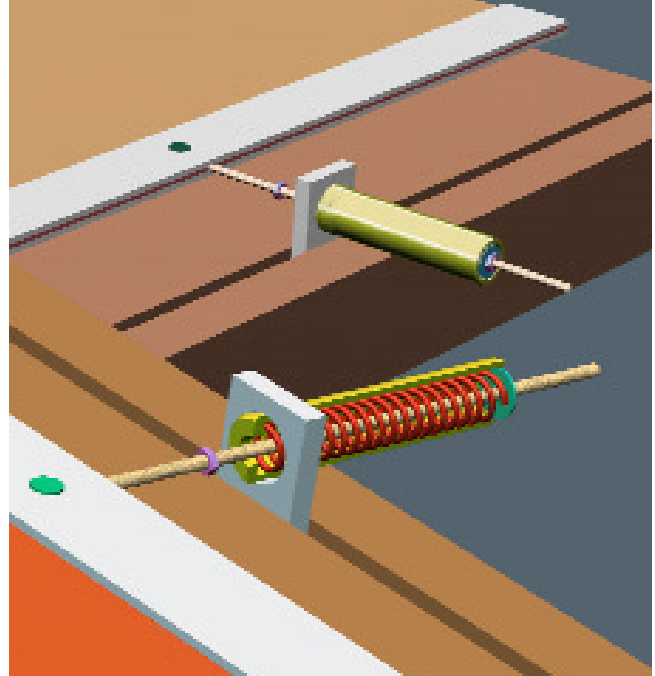
5

Se puede afirmar razonablemente que si una tela (entendida como conjunto de fibras textiles) se ve sometida a una tensión superior a su nivel de resistencia -después de variaciones microclimáticas, o bien con la ampliación del bastidor mediante cuñas- ésta cede para restituir la tensión interna al máximo punto sostenible, o MST²².

Es pues evidente que cada cesión causa inevitables deformaciones internas -desfibrados- y externas -craquelado, exfoliación-. Cuando la F_t impuesta por los estratos pictóricos supera el límite máximo de su resistencia cohesiva, éstos se ven obligados a romperse; o bien, si la fuerza de cohesión supera con mucho la fuerza de adhesión entre la tela y los estratos, éstos se separan de la tela. Si existe una buena fuerza de cohesión entre cada uno de los estratos y una buena fuerza de adhesión entre éstos y la tela, y si la F_c transmitida por los estratos pictóricos a la tela es mayor que la fuerza de reacción (MST) impuesta por el sistema tela-bastidor, entonces los estratos pictóricos arrastran consigo violentamente a la fibra textil. Cuando el encogimiento del color provoca una tensión en la estructura, imponiendo en el interior de la tela una resultante F_c , y supera la fuerza de cohesión de las fibras, entonces estas últimas se ven obligadas a ceder (desfibrado, alargamiento) en los puntos libres que no están sujetos a compresión (sujetos a F_t), o dicho con otras palabras, en los márgenes de las resquebrajaduras de los estratos pictóricos. Se inicia de este modo un sistema de daños en cadena: cuanto más amplio sea el craquelado, más se levantan "en concha" los estratos policromos.

Con el aumento de los valores de H.R., los estratos de imprimación y preparación se hinchan y su aumento de tamaño provoca la dilatación forzada de la tela que está debajo. Si dicho movimiento es de una entidad reducida, los daños serán limitados; si, por el contrario, la hinchazón de los estratos no es seguida por la tela, que se opone a este movimiento, entonces las capas de imprimación y preparación quedan sometidas a F_c , y la tela a F_t . Si la fuerza de adhesión entre los distintos estratos es superada por la resultante de la fuerza de dilatación ejercida por la imprimación y la preparación y por la fuerza de encogimiento de la tela, se produce una exfoliación entre la tela y el conjunto imprimación-preparación-color.

Cuando los valores de H.R. sobrepasan el 80% es la fibra textil la que le impone a los demás estratos sus propios movimientos de encogimiento violento²³. De ese modo, los estratos que están por encima de ella se ven sometidos a una fortísima F_c ; y si dicha fuerza logra superar a la fuerza de adhesión entre tela y estratos pictóricos, estos últimos se separan del tejido, levantándose, como ocurre en el caso anterior. También en este caso los fenómenos se ven acentuados a lo largo de los márgenes de los resquebrajamientos.



6

Otro elemento que hay que tener en cuenta es la temperatura, cuyas variaciones repercuten sobre todo en la película pictórica. Los movimientos del color son de carácter leve si la película pictórica es sutil, pero pueden tomar la delantera sobre las otras fuerzas si esta es gruesa y poco homogénea. Se ha comprobado que cuanto más vieja es una pintura mayor es la influencia ejercida por las variaciones de temperatura sobre el color.

Los estudios de laboratorio han puesto en evidencia que cualquier variación microclimática, por mínima que sea, basta para provocar dentro del sistema notables situaciones de estrés dimensional. La entidad de estas tensiones puede agravarse posteriormente en caso de que las variaciones sean frecuentes e imprevistas.

Es bien conocido el hecho de que una obra de arte que no esté colocada en un ambiente controlado se ve expuesta, en el arco de un mismo día, a variaciones frecuentes y elevadas. La combinación y la repetición en el tiempo de las situaciones de estrés provocan en la tela desfibrados y ondulaciones y en el color, resquebrajamientos, exfoliaciones, levantamientos y desprendimientos; fenómenos todos ellos que se agravan con el progresivo envejecimiento de la pintura.

Para aliviar tales problemas se puede intervenir en el medio ambiente, en el área que circunda al objeto y en el objeto mismo, con acciones que deberían responder necesariamente a los siguientes criterios:

- > mínima intervención, es decir, limitando tanto la cantidad y las modalidades de uso de los materiales nuevos usados como la eliminación de los materiales originales y/o los pertenecientes a un determinado contexto histórico. Es necesario tomar conciencia de que cada nuevo material que se añade, cada elemento original modificado o eliminado puede alterar, además del baricentro estético, histórico y funcional de la obra, también el físico;
- > respetar la obra en su totalidad y como conjunto de sucesiones y estratificaciones estéticas, materiales y funcionales;
- > respetar las características estructurales de la obra. En cualquier caso, hay que aceptar también una "fragilidad" congénita;
- > respetar el contexto para el que la obra fue realizada en su origen, o en el que ha sido contextualizada históricamente.

La condición de un microclima ambiente controlado es difícilmente alcanzable a gran escala; se sabe lo difícil que resulta incluso obtener un buen resultado en un museo.

Puede ser más fácil encerrar el objeto en "cajas microclimáticas", una operación de momificación forzada, que corre el riesgo de alterar el valor estético, además del filológico y funcional. Sin embargo, habría que desarrollar y difundir la aplicación de una protección parcial, con microcámaras de aislamiento en la parte posterior, y otras medidas, como se ha descrito anteriormente²⁴.

Junto a la intervención microclimática parcial, se puede intervenir directamente sobre los componentes de la pintura. Se ha verificado que para su buena conservación resulta esencial mantener el soporte textil "rígido" y "plano". Generalizando, para conservar la rigidez de la tela, es esencial mantener siempre al mínimo nivel posible la tensión que provoca la máxima resistencia a la deformación²⁵. Para obtener esto se puede actuar sobre la sección tela-estratos policromos, o bien sobre el bastidor.

Las operaciones de apresto y de forrado se refieren a la sección tela-estratos policromos.

Por lo que se refiere al apresto (que durante los primeros años de vida de una pintura constituye uno de los principales factores de la rigidez del conjunto) se podría intervenir en la parte trasera, de manera que se reactive el estrato original y se recupere el carácter unitario del conjunto. Por desgracia, la degradación causada por el envejecimiento natural modifica fisiológicamente el material hasta tal punto que impide la reconstitución de las uniones en su interior.

La alternativa de aplicar un apresto ex-novo sería ventajosa para la recuperación de la rigidez. Aun llevando a cabo algún tipo de protección, no se puede negar que esta forma de intervención es invasiva y filológicamente sujeta a críticas, sin olvidar los interrogantes existentes sobre los efectos de la interacción entre materiales nuevos y originales.

Por lo que se refiere al forrado como praxis generalizada, sin embargo, tenemos nuestras dudas, a pesar de que esta solución puede considerarse, en teoría, adecuada para hacer que la tela recupere su rigidez. Se trata, en efecto, de una intervención siempre invasiva, ya que aporta otros materiales extraños al original, los cuales, interactuando con éste, provocan transformaciones químicas, físicas y estéticas²⁶.

Como conclusión, la tensión puede convertir un trozo de tela en "un soporte estable semejante al de un plato metálico, rígido como una tabla y, por ello, capaz de proteger los frágiles estratos pictóricos"²⁷. La rigidez de una tela aumenta si aumenta la tensión aplicada. Será una tarea del conservador lograr proporcionarle al tejido una tensión adecuada con el fin de que el módulo E sea suficiente para bloquear los movimientos del color, pero no tan elevada como para superar la máxima tensión de resistencia. Con la utilización de sistemas de tensado de tipo tradicional (bastidores con cuñas o tensores) no puede obtenerse este resultado ya que, inicialmente, la tela aparece bien tensa, pero con el paso del tiempo está destinada a relajarse, y puesto que estos movimientos tienen una frecuencia alta, no sólo diaria sino horaria, no es posible acompañar estas deformaciones con un mantenimiento puntual que no constituya fuente de daño.

La solución que deseamos proponer es la adopción de un "bastidor flotante". Con la utilización de este mecanismo se contribuye a secundar las variaciones dimensionales de la pintura provocadas por los cambios ambientales.

Tras haber examinado los datos recabados en los estudios desde 1955 hasta hoy, y utilizando materiales existentes en el mercado, hemos elaborado un proyecto de sistema de tensado flotante que se basa en la sencillez de ejecución, en unos costes reducidos y en un buen impacto estético. Es, por consiguiente, un sistema fácil de realizar, incluso por las manos del propio conservador, y que, visto por detrás, es capaz de mantener la imagen tradicional del reverso de una pintura. Nuestra investigación sigue adelante desde hace ya algunos años y en este período se han elaborado y puesto en práctica varias soluciones, valorando en primer lugar su respuesta en el laboratorio y, luego, en la realidad práctica. Vista la fiabilidad de sus prestaciones, hemos aplicado algunas de estas propuestas a pinturas de una época comprendida entre los siglos XVI y XX.

En los capítulos anteriores hemos examinado ya la cuestión de la homogénea distribución de las fuerzas. Ahora vamos a analizar el tema de la tensión, que se mantiene constante mediante un mecanismo flotante, es decir, en condiciones de expandirse y, sobre todo, de encogerse, para secundar los movimientos de los estratos superiores. Dicha flexibilidad puede ser obtenida de varias maneras. Vamos a analizar aquí tres de ellas.

Amortiguadores elásticos de tensión y tirantes de unión

Ya en la intervención llevada a cabo en los años 82-83, de las pruebas experimentales realizadas resultó que con la única acción de darle la vuelta a la tela por la parte de atrás y ponerla en tensión con una serie de cables, se ofrecía al conjunto una elasticidad mínima y suficiente para amortiguar las variaciones dimensionales del tejido y, como consecuencia, absorber las excesivas tensiones que hubieran podido aparecer (Fig. 1-3)²⁸.

A la elasticidad del conjunto contribuía también el bastidor original de tipo fijo que, como puede observarse, se ha vuelto a utilizar. En la práctica de la restauración, los viejos bastidores son a veces inútilmente eliminados, provocando así no sólo un daño de tipo histórico, sino también de conservación, si no se sustituyen con estructuras funcionalmente adecuadas. Su reducida sección, unida a la buena cura de la madera, los hace especialmente estables y elásticos. Si se complementan estas características favorables con algunas medidas para mejorarlas, se podría contribuir a la salvaguardia del lienzo y al mantenimiento de un importante vestigio histórico.

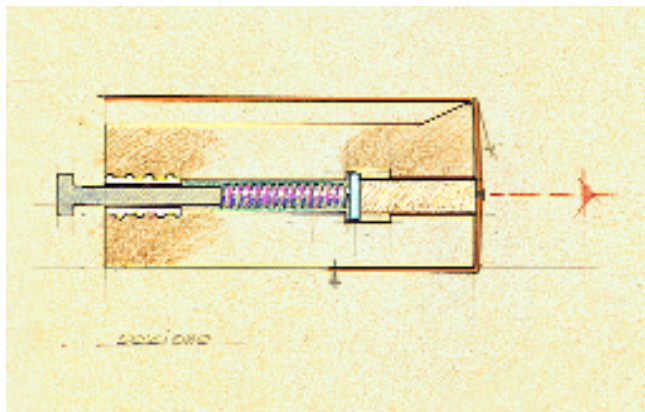
Para obtener una mayor elasticidad en el conjunto, es posible intervenir modificando la calidad del cable (más o menos elástico), dotando a los tensores de un mecanismo en forma de muelle, o bien, en armonía con el concepto de mínima intervención estéticamente no invasiva, sustituir las bandas de ampliación de la tela por otras de tejido elástico.

7.1 y 7.2. Proyecto del Bastidor con sección en "C", realizado enteramente en madera (1981)

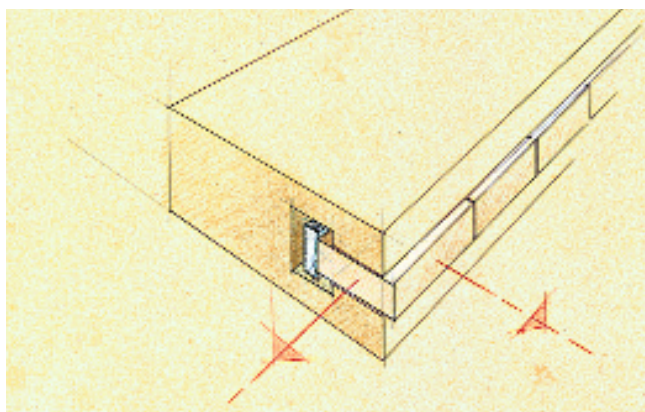
8. Proyecto del Bastidor con perfil en "T", realizado en madera y aluminio (1981)

9.1 y 9.2. Bastidor con sistema "de palanca" (1982)

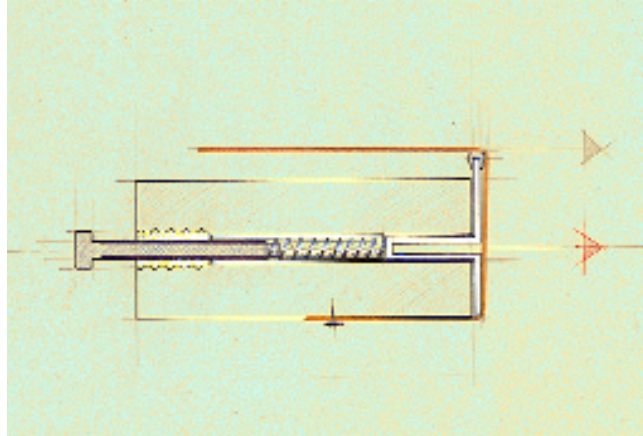
a: Bastidor de madera fijo; b: pistón con muelle de carga regulable; c: perfil basculante de aluminio; d: sujeción de cremallera.



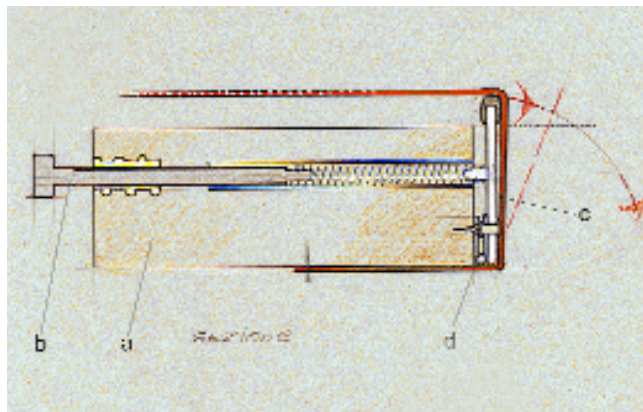
7.1



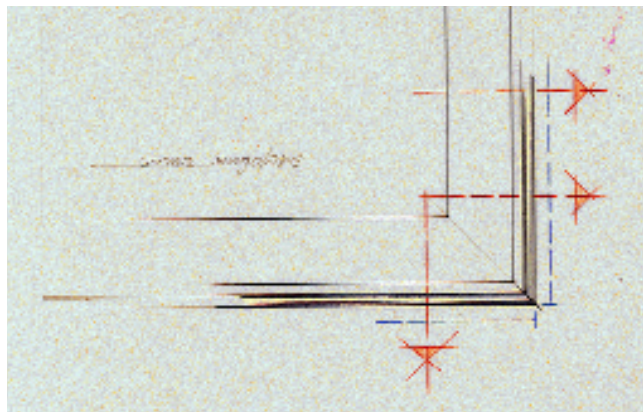
7.2



8



9.1



9.2

Amortiguadores elásticos de tensión con un punto de sujeción fijo

Aquí la flexibilidad del sistema viene dada por las bandas de ampliación que continúan hasta la parte de atrás, sujetas al bastidor por unos puntos fijos, realizados con lamas inoxidable atornilladas a la madera y tensadas mediante unos pequeños pistones de muelles regulados en compresión por una tuerca.

En este modelo hay que señalar la presencia de un freno de expansión en caso de cesiones imprevistas de la tensión, como, por ejemplo, desgarros en la tela o variaciones microclimáticas extremas. El freno, cuya oscilación se puede regular, está constituido por una tuerca colocada entre el extremo de la banda y el punto de agarre al bastidor (Fig. 4).

Este sistema resulta de fácil ejecución, tanto por la elección de un bastidor de tipo fijo como por la fácil localización de los materiales y por su ensamblaje. Además, es especialmente apto para las pinturas de forma irregular (redondas, ovales, polilobuladas) ya que las bandas de pequeño formato permiten seguir también las curvas con un radio reducido. Las imágenes (Fig. 5) se refieren a la intervención llevada a cabo en 1986 sobre la pintura ya citada en el capítulo de la distribución de las fuerzas. La obra, que se remonta al siglo XVII, está dentro de un marco de madera, colgado en la pared

de una sacristía, sin control microclimático. El soporte textil original, muy ligero, no fue forrado, por ello el mecanismo fue proyectado y realizado con una fuerza adecuada al caso. El sistema de seguridad, una vez calibrado según los valores medios del ambiente de destino, fue concebido de modo que pudiera funcionar expresamente en caso de disminución de la humedad. La pintura sigue hoy en un óptimo estado de conservación²⁹.

El sistema de montaje anteriormente descrito puede ser mejorado desde un punto de vista estético introduciendo la lama de agarre dentro de la sección del bastidor rígido en una canaladura realizada a este propósito, lo cual facilita también su montaje (Fig. 6). El sistema de unión entre los tensores y las bandas puede ser diversificado; en la Figura 4 se muestran dos modos: uno mediante anillo y tachón y el otro con cilindro pasante.

En esta última versión, todo el mecanismo está encerrado en una casquillo de contención, que se atornilla a la lama de sujeción; el perno del pistón va a engancharse en el sándwich de rigidez en el que se han insertado los márgenes de la tela mediante un pequeño cilindro pasante con un orificio roscado hecho a este propósito. De esta manera se obtiene una mayor compactibilidad, un mejor impacto estético y una mayor protección del sistema. Se vuelve tan compacto que incluso puede ser usado también con los viejos bastidores.

Sistema de mantenimiento y de la tensión alojado en la estructura interna del bastidor

En el origen de todos nuestros experimentos se encuentra la búsqueda de soluciones técnicas capaces de resolver los problemas que se encuentran en la realidad operativa de la restauración; soluciones funcionales, fácilmente realizables, pero también estéticamente en armonía con la tipología del bastidor tradicional.

Por estos motivos hemos privilegiado la utilización de la madera, aunque no excluyamos a priori otros materiales como, por ejemplo, el aluminio³⁰.

Como base se encuentra, en cualquier caso, la idea de la mínima interferencia estética y, por consiguiente, del alojamiento del mecanismo dentro de la sección del bastidor. De los primeros prototipos, que se remontan a los años 1980-83³¹, proyectados no sólo para su utilización en bastidores definitivos sino también en bastidores provisionales, presentamos algunos ejemplos. Todos ellos tienen en común la utilización de una base constituida por un bastidor rígido, es decir, con ángulos de ensamblaje fijo, que es más fácil de construir y, como consecuencia -factor nada despreciable-, de menor coste.

> Bastidor de madera con sección en forma de "C" (Fig. 7)

En el alojamiento realizado en la sección del bastidor fijo de madera, hacia el exterior se ha insertado un borde perimetral, siempre de madera, fraccionable en elementos más cortos, medida útil para los bastidores perfilados y para un mejor deslizamiento de la tela a lo largo del eje de las barras perimetrales. El impulso de ampliación posee una serie de pequeños pistones, dotados con muelles de carga regulable. La distribución uniforme de las fuerzas sobre los elementos de empuje está asegurada mediante una lama interna a la sección. La tela, como siempre, queda sujeta en la parte de atrás.

> Bastidor con perfil en "T" (Fig. 8)

El elemento de impulso está realizado con un perfil en "T" metálico, inserto en el borde perimetral del bastidor de madera, cubierto con una película aislante y dotado de un borde codal y de deslizamiento de un material antifricción, que se aplica en los dos extremos de la T. El pequeño pistón está realizado igual que en el modelo anterior. El montaje se hace siempre en el reverso.

> Bastidor con sistema "de palanca" (Fig. 9)

Aquí el elemento perimetral está constituido por un perfil metálico plano -eventualmente revestido con un tronzado de madera- dotado de bordes codales y de deslizamiento. En un extremo del perfil se encuentra el montaje con el bastidor de madera mediante un sistema de cremallera que sirve como eje para la rotación del borde perimetral de aluminio. El pequeño pistón está realizado como en los modelos anteriores, pero su ubicación, respecto al eje del bastidor, está descentrada hacia la tela para permitir un impulso y una ampliación del perímetro más fáciles. En este sistema no se requiere un deslizamiento de la tela a lo largo de la sección del bastidor y, como consecuencia, la fuerza necesaria para la ampliación es menor que la de los modelos anteriores.

10.1 y 10.2. Bastidor con sistema de montaje "con clip" (1982)

a: Bastidor de madera fijo; b: casquillo roscado; c: pistón cóncavo con roscado externo; d: pistón de sujeción e impulso; e: muelle; f: perfil en aluminio en "C"; g: perfil de Teflón o PVC en "C"; h: clip de metal; i: revestimiento de PVC.

Bastidor con sistema de montaje en forma de "clip" (Fig. 10)

Se trata de un bastidor fijo de madera cuyo perímetro externo está enganchado a un segundo bastidor de aluminio con una sección en forma de "C". El impulso está dotado de una serie de pistones, alojados en el interior de la sección del bastidor de madera, constituidos por un elemento de "enganche e impulso" que soporta la "C" y sobresale por el lado opuesto, hacia el interior del bastidor, por un muelle y por un pequeño pistón cóncavo roscado en la parte externa que, enroscándose dentro de un casquillo bloqueado a la sección de la madera, permite calibrar la intensidad de la fuerza aplicable. Sobre los pistones, distribuidos a lo largo de todo el perímetro del bastidor, se engancha, enroscado, el perfil de aluminio. En su interior se ha incorporado un revestimiento en material plástico antifricción, siempre en forma de C, fraccionado en módulos deslizables. Del mismo material es también el revestimiento de la zona de apoyo de la tela. Ésta está bloqueada dentro de la C con un sistema en forma de clip de metal o de material plástico, que facilita la metodología de montaje y evita daños en la fibra. El fraccionamiento en módulos del revestimiento y el sistema de montaje en forma de clip le permiten a la tela una libertad de movimiento longitudinal, mientras los pistones -regulables- aseguran el mantenimiento de la tensión preestablecida.

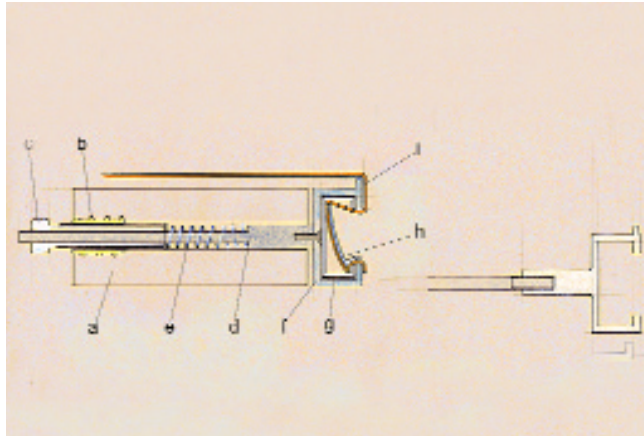
> Bastidor con perfil en "T" y bloqueo de expansión (Fig. 11)

En la sección del bastidor fijo de madera se ha introducido un perfil en "T" de aluminio con un borde redondeado de madera, para evitar fenómenos de condensación, tratado con una película antifricción, sobre el cual puede deslizarse fácilmente la tela, vuelta hasta la parte de atrás. El impulso de ampliación está dotado de un pistón regulado por un muelle. En este sistema hemos querido detenernos sobre todo en los fenómenos de encogimiento de la pintura; por eso se ha privilegiado la "retirada" dimensional del bastidor, y el bloqueo de expansión máxima de los pistones como elemento de seguridad. Es adecuado para pinturas de medianas y pequeñas dimensiones, debido a la limitada resistencia a la torsión y a la flexión del perfil en T, y también para obras con una curvatura amplia.

Los proyectos anteriormente descritos han sido desarrollados todos ellos con prototipos y, en parte, realizados.

De estas bases partió la investigación para desarrollar un nuevo modelo de bastidor, puesto en funcionamiento en el ámbito de la actividad del laboratorio sobre una serie de pinturas a partir de 1985; en 1989 fue presentado oficialmente en Bolonia³².

Como puede verse en la Figura 12, se trata de un bastidor con bordes perimetrales móviles, molduras de desplazamiento antifricción, mecanismo flotante autoadaptable (ya definido como "Bastidor de autoexpansión continua controlada"). Es flotante porque libera por completo el conjunto tela-estratos pictóricos de cualquier sujeción rígida, ya sea ortogonal o tangencial a su perímetro, y autoadaptable en la medida en que interviene en correspondencia con las efectivas condiciones instantáneas de la tela. El bastidor de base es de madera, con ángulos de sujeción rígida, lo cual favorece su fácil construcción, y con encajes fijos



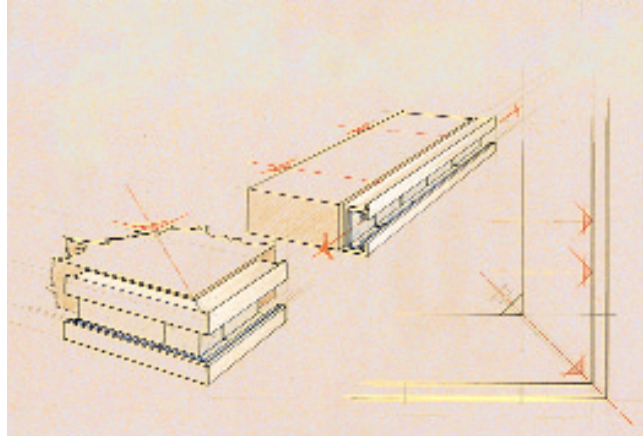
10.1

que no se convierten en puntos de hundimiento estructural (además de con madera, se puede realizar el bastidor también con materiales ligeros como por ejemplo el aluminio). Puede ser construido con distintas maderas, no necesariamente de estructura laminar -una madera de calidad y bien curada es más que suficiente para garantizar su estabilidad frente a abarquillamientos y combaduras; la laminar, por el contrario, resulta útil en figuras perfiladas y para pinturas de grandes dimensiones. El marco de madera actúa como soporte para las barras de perfilado de aluminio con sección en H, que se engatillan a lo largo del perímetro sin quedar sujetas, manteniendo su capacidad de deslizarse en todas las direcciones del plano. En el lado externo del perfil se ha insertado un listón o moldura deslizable, de madera dura o de otros materiales (por ejemplo PVC) con la superficie tratada para disminuir la fuerza de fricción con la tela y para favorecer el desplazamiento dentro del mismo perfil. Su especial sección redondeada y cóncava reduce la superficie de contacto con la tela y, al mismo tiempo, la mantiene aislada del aluminio y ligeramente separada del bastidor. El hecho de estar fraccionado en módulos de pequeño formato, permite que la tela se deslice sobre los elementos en sentido transversal, o junto a los elementos mismos en sentido longitudinal, a lo largo de todo el perímetro, mejorando de ese modo la distribución de las fuerzas del tensado. En los ángulos del bastidor, los módulos de deslizamiento se unen para formar un ángulo fijo, para evitar grietas de forma angular en fase de tensado.

La tela, o las bandas de alargamiento, están siempre vueltas hacia la parte de atrás y sujetas de distintas maneras al bastidor fijo.

La tensión constante es proporcionada por un sistema de expansión continua controlada, colocado dentro de la sección del bastidor de madera y constituido por un casquillo de un material inoxidable (aluminio, plástico o PVC) con relieve sobre la superficie externa, para una sujeción solidaria en la madera sin solución de continuidad. Dentro del casquete se aloja un asta roscada que atraviesa el perfil perimetral de aluminio, inserta en un muelle colocado entre el perfil y el bastidor, y que sale por el lado perimetral interno del bastidor mismo. Una tuerca fijada al asta roscada permite calibrar de forma milimétrica la oscilación del muelle.

El mecanismo de expansión está calibrado y distribuido a lo largo del perímetro según las necesidades de cada pintura concreta. Para cualquier obra es necesario cuantificar a priori, es decir en fase de proyecto, tanto la tensión necesaria para el montaje de la tela al bastidor como la geometría de los elementos de distribución. De los estudios publicados hasta el día de hoy, llevados a cabo en distintas instituciones, se puede concluir de forma razonable que el valor de la tensión no es un valor absoluto generalizable³³. De nuestras experiencias resulta que tampoco la geometría de la distribución de los pistones está estandarizada matemáticamente (a pistones equidistantes no les corresponde una tensión uniformemente distribuida). A pesar de ello, las pruebas experimentales han puesto en evidencia que las tensiones se concentran



10.2

siguiendo un esquema al menos "geográficamente" identificable con una buena aproximación; todo ello proporciona indicaciones sobre la localización de los pistones.

Se puede intuir fácilmente que el sistema de tensado de las pinturas que se ha propuesto aquí responde a las características previstas de sencillez ejecutiva a costes reducidos y posee, además, un agradable aspecto estético.

Todo el mecanismo, en efecto, está contenido en el interior de un bastidor y también la banda perimetral de aluminio queda oculta por la tela que se vuelve en el borde. El hecho de que la barra de aluminio, por su especial forma de H, sea capaz de oponer una fuerte resistencia al momento flector y a la torsión ejercidos por el tensado de la tela, le permite al conservador realizar un bastidor con una sección de dimensiones muy reducidas.

Desde el punto de vista de la funcionalidad, el bastidor propuesto ha demostrado sus buenas capacidades.

En un bastidor tradicional con cuñas o tensores, cuando a causa de las variaciones medioambientales de U.R y de temperatura, la tensión interna de la tela sobrepasa el valor de máxima tensión sostenible, la tela llega a estar supertensa y luego se ve obligada a una deformación de alargamiento para devolver la tensión interna al valor de MST. El bastidor flotante autoadaptable interviene sobre todo en este tipo de estrés, evitando que el tejido se desfibre. En efecto, al encogerse, los muelles insertados en el mecanismo reducen las dimensiones del bastidor que, de esa forma, mantiene la MST constante y el módulo E a un valor suficiente.

En el caso inverso, siempre en un bastidor tradicional, cuando la tensión desciende por debajo de su propio límite elástico más bajo, la tela no es ya capaz de resistir los movimientos impuestos por los estratos policromos. Como ya se ha visto, esta "incapacidad" del soporte textil es la principal causa de los desprendimientos del color.

El bastidor flotante, sin embargo, logra contrastar la caída de tensión mediante la ampliación dimensional realizada con el desplazamiento de las barras perimetrales; al recuperar de ese modo la tensión, se consigue también la recuperación del módulo E necesaria para una óptima conservación.

Otro dato es que con este sistema se puede plantear la máxima dilatación perimetral permitida. Efectivamente, una vez terminada la restauración y transcurrido para la pintura un periodo de adaptación al microclima al que está destinada, los tornillos son regulados de modo que los muelles tengan una oscilación establecida de antemano para proporcionar de ese modo a la tela una F_t que no supere la MST. Todo esto permite aplicar a la tela una F_t más elevada (cercana al valor de MST). El sistema de regulación de la MST con los tornillos resulta útil como elemento de seguridad en caso de rasgaduras en la tela o de variaciones microclimáticas extremas.

El desgarro, en efecto, no aumentará de tamaño y, del mismo modo, la tela no se desfibrará puesto que la tensión continua de los muelles se ha bloqueado al llegar al valor de seguridad establecido.

Como ya se ha afirmado en otras ocasiones, el cálculo de la fuerza que debe transmitir el bastidor a la tela debe hacerse en la fase de proyecto. Una vez calculada la fuerza, se podrá decidir el tipo, la cantidad y la distribución de los muelles y de sus correspondientes pistones así como la oscilación del tope de seguridad de los citados pistones.

Pruebas comparadas 2

Para tener una demostración científica del correcto tensado aplicada por el bastidor flotante autoadaptable que hemos propuesto, hemos llevado a cabo una nueva prueba experimental.

Con el sistema de parrilla ya descrito se construyó un bastidor de muestra -Bastidor 3-, realizado siguiendo la metodología de autoexpansión, subdividiendo el listón antifricción en secciones de alrededor de 35 cm de longitud sobre el cual se ha deslizado la tela con la preparación. Una vez dibujada la parrilla sobre la superficie, el bastidor fue tensado y se dio comienzo a toda la serie de medidas. Para valorar mejor la respuesta del bastidor a las distintas sollicitaciones, algunas situaciones de estrés fueron exageradas a propósito. El porcentaje de alargamiento impuesto era ligeramente más elevado que el de los otros dos bastidores; además, se intervino de manera que las dos ángulos opuestos quedasen sometidas a una mayor dilatación, cosa que se manifestó gráficamente con la alineación de los picos sobre una recta. Los picos de tensión-alargamiento bajaron respecto a los del Bastidor y esta situación aún podría ser mejorada seccionando el antifricción en elementos más cortos.

La comparación entre los gráficos de las medidas efectuadas sobre un lado de los tres bastidores pone en evidencia la disminución de los valores de máxima tensión en los ángulos así como una elevación de los valores más bajos respecto al centro (aplanamiento de la curvatura) (Gráfico 6).

Así pues, se puede afirmar que el bastidor fruto de esta investigación, comparado con los sistemas tradicionales, con cuñas o tensores, tiene una buena repercusión frente al sistema obra de arte por su capacidad de encogerse o ampliarse en caso necesario, sin modificar los valores de la tensión interna y, en consecuencia, tampoco el módulo E.

A lo largo de los años, hemos llevado a cabo algunas mejoras en este modelo de bastidor, tanto desde el punto de vista funcional como del constructivo, con el fin de optimizar la localización de los materiales y el procedimiento de realización. En el próximo capítulo presentaremos algunos ejemplos a partir de éste que anticipamos en esta ilustración de la Fig. 13.

11. Bastidor con perfil en "T" y bloqueo de expansión (1985)

a: Bastidor fijo de madera; b: perfil deslizante de aluminio en "T"; c: borde de deslizamiento de madera; d, e, f: pistón de muelles con freno de expansión.

12. Bastidor flotante autoadaptable (1985)

a: Bastidor fijo de madera; b: perfil deslizante de aluminio con sección en "H"; c: listón de deslizamiento, fraccionado en módulos; d, e, f: pistón de muelles con freno de expansión.

13. Bastidor flotante autoadaptable. Gráfico de proyecto y de despiece.

a: Bastidor fijo de madera; b: perfil deslizante de aluminio con sección en "C"; c: listón de deslizamiento; d: clip autolubrificante fraccionado en módulos.

El autor agradece al ingeniero Agostino Bruschi, al ingeniero Luca Piciaccia y a la restauradora Francesca Tonini su desinteresada colaboración.

Nota

Este texto ha sido traducido del italiano por Rosalía Gómez.

Contacto: francodelzotto@adriacom.it

¹ Urbani, 1972

² Carità, 1966 y Berger-Russell, 1988

³ "...la investigación puede desempeñar un importante papel en la actualización de la práctica de la conservación, asumiendo como propio el objetivo de construir una metodología para la recogida de datos referentes al estado actual del objeto que hay que conservar como ente mensurable. A partir de dicha metodología se podrán deducir objetivamente las técnicas apropiadas para ralentizar al máximo su continua evolución... Es evidente que, sobre todo, se debe intentar circunscribir el ámbito del estudio a los problemas cuya falta de solución depende solamente del retraso cultural de la práctica de la conservación. Problemas de este tipo son planteados hoy por todos los procedimientos de restauración utilizados en el momento, y ninguno de ellos está provisto del más mínimo conjunto de pruebas referentes a su eficacia funcional o a la compatibilidad con el objetivo de su conservación. La verificación experimental de estos procedimientos es urgente también en los raros casos en los que éstos pueden parecer, en la práctica, convalidados por una larga experiencia positiva." (Urbani, 1972).

El campo de acción al que se ha dirigido la investigación no invasiva es el de la matemática de los sistemas finitos (Colville-Kilpatrick-Mecklenburg, 1982).

⁴ A partir de los años noventa, algunas empresas partieron de las hipótesis y de las realizaciones publicadas para producir y comercializar "bastidores de muelles" capaces de satisfacer la "nueva filosofía" de la tensión constante y uniforme aplicada a las telas. Este interés por las estructuras portantes de las pinturas supone, en nuestra opinión, un síntoma positivo, ya que demuestra la renovada atención en la "cuestión de los soportes" de cuantos trabajan en la conservación. Por el contrario, nos parece negativa la estandarización del producto bastidor (por razones económicas obvias). En efecto, se ha probado que no existe una teoría absoluta que se pueda aplicar a cualquier pintura y, por consiguiente, no existe el bastidor estándar único.

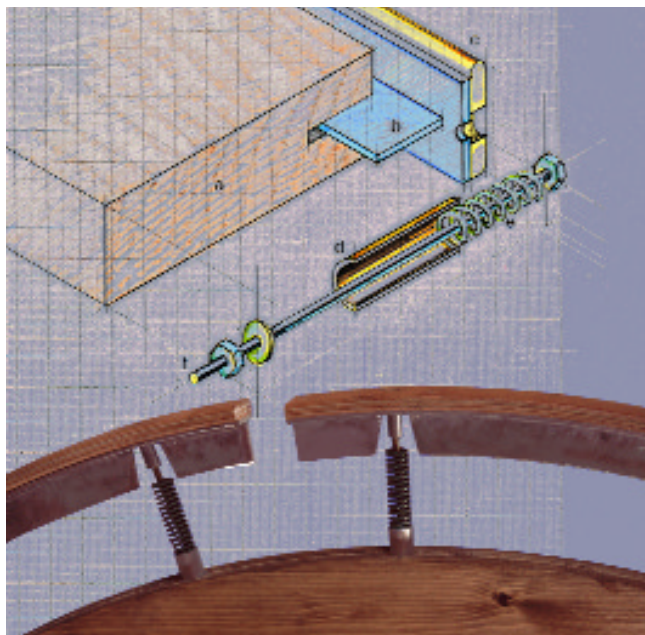
Si debería ser única, en cambio, la actitud ante la obra, es decir, el respeto ante sus exigencias específicas para encontrar soluciones concretas.

⁵ Considerando el número y las características de los comportamientos de una pintura sobre lienzo y las respuestas de cada uno de sus elementos y del conjunto a los distintos fenómenos internos y externos que lo influyen, resulta bastante difícil determinar el procedimiento ideal de intervención conservadora que se debe llevar a cabo. A este propósito, se citan algunas notas de Young-Hibberd y Bilson.

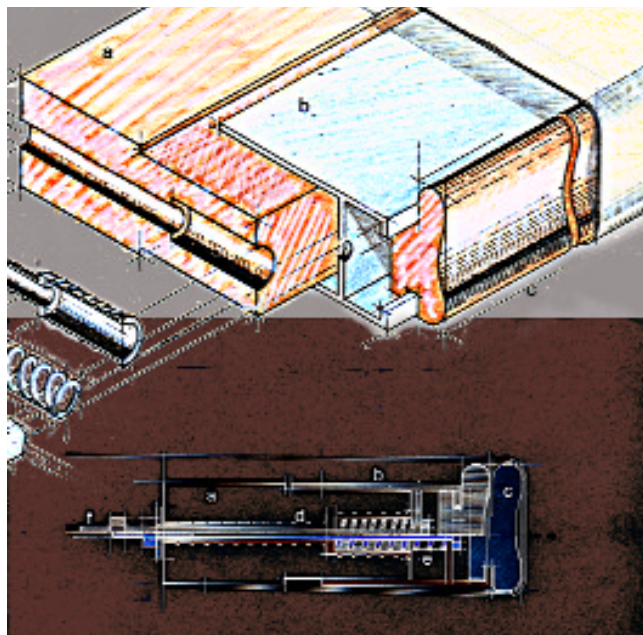
"Durante los test de tensión biaxial a que fueron sometidos algunos fragmentos de tela sin trazar, los tejidos permanecen la mayor parte del tiempo en una región de transición que va desde el alargamiento del fruncido y de la fibra hasta el alargamiento de la fibra. El punto en que se produce este fenómeno dependerá de muchos factores (tipo de trama, diámetro y densidad de la fibra, apresto). En las pinturas esto se complica posteriormente con el paso del tiempo y con la degradación de carga." (Young-Hibberd, 1999).

"Utilizando un procedimiento de análisis por imágenes de la fibra a distintos niveles de H.R., es decir un método sin contacto, las variaciones de la superficie reflejan los comportamientos ya explicados por Mecklenburg y Hedley. La mayor parte de los daños producidos en el color, al 94 y al 100% de H.R., resulta provocada por los efectos localizados de la hinchazón transversal de la trama y los desprendimientos corresponden exactamente a la posición de la trama más que a los relieves de la urdimbre. Aunque los daños en el color provocados por la compresión de fuerzas constituyen claramente la acción más significativa del encogimiento de la tela, hemos de tener en cuenta también el daño que en ella produce la hinchazón localizada de las fibras que están debajo -fenómeno que puede producirse tanto en las telas de trama densa como en las de trama rala-, independientemente del tiempo que permanezcan estables dimensionalmente respecto a las variaciones de H.R. (Bilson, 1996).

⁶ "El hecho de que los antiguos pintores concibieran la tela como un soporte relativamente estable y rígido, convertido casi en un elemento autoportante por las capas de preparación (un poco como un tabique divisorio constituido por una cámara de cañón y por un enfoscado), es confirmado por la estructura fija de los antiguos bastidores (entendidos más como elementos perimetrales o trapecios de rigidez que como mecanismos de tensión) y por la elección muy frecuente de telas de trama rala o, en cualquier caso, muy realizada, de modo que se pueda proporcionar a la preparación una especie de "armadura" mucho más que un plano de apoyo o una simple superficie de adhesión." (Urbani, 1972).



11



12

⁷ Entre otros, Berger y Russell afirman, por ejemplo, que el tratamiento con imprimación de la superficie textil, al menos en el primer período de vida de una pintura, podría ser de una gran utilidad para la prevención de los daños que pueden producirse en el sistema (Berger y Russell, 1988).

⁸ Sobre las diferentes reacciones a las variaciones microclimáticas de telas sin tratar y lienzos pintados, véanse los estudios fundamentales de Mecklenburg y Hedley.

⁹ "A excepción de los daños causados por fuerzas destructivas, por catástrofes imprevistas e inevitables, las obras de arte se alteran, se deterioran y envejecen inexorablemente como resultado de su natural inestabilidad y por la acción de los agentes medioambientales." (Keck, 1969).

¹⁰ Buck afirma que "el agrietado del color deriva de la acción de los estrés mecánicos que son el resultado secundario de otros factores de degradación químicos, físicos o biológicos. Las denominadas grietas primarias, llamadas también precoces, de encogimiento o de secado, son el resultado de acciones químico-físicas generadas por el proceso de secado y evaporación de los disolventes. Su entidad depende sobre todo de la técnica de ejecución empleada por el artista. Las llamadas grietas de envejecimiento son atribuibles tanto a situaciones de estrés mecánico interno al sistema estructural de la pintura como a las situaciones de estrés derivadas de presiones procedentes del exterior, especialmente del bastidor" (Buck, 1972).

¹¹ Carità, 1955; Hedley, 1975; Mecklenburg, 1982.

¹² Al observar la película pictórica de muchas pinturas se puede comprobar que las grietas, en una cantidad importante, están concentradas a lo largo del perímetro. La causa de este deterioro hay que buscarla sobre todo en los esfuerzos anormales que esa zona de la tela debe realizar para conciliar los movimientos elásticos de la superficie con el carácter fijo del remachado (Carità, 1955).

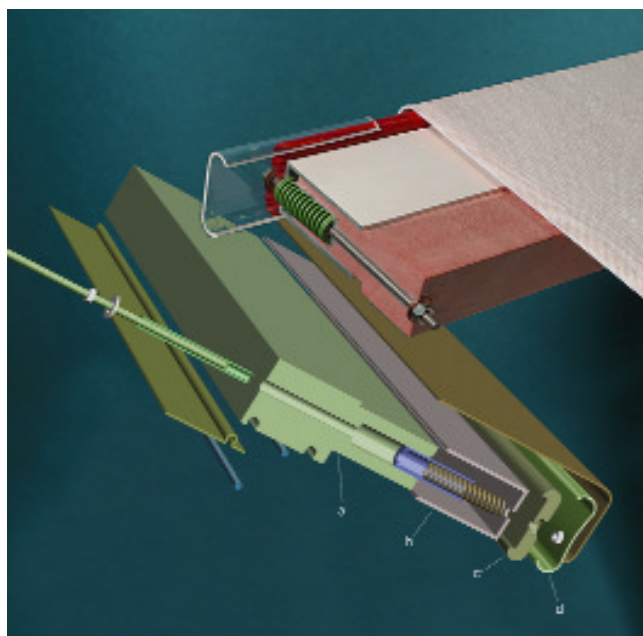
¹³ Keck, 1969; Berger-Russell, 1988; Young-Hibberd, 1999.

¹⁴ Carità afirma: "Entre las distintas soluciones posibles, considero que hay que adoptar la brillante solución propuesta por el doctor Giovanni Urbani, del Instituto, que pensó volver la tela hasta la parte de atrás, haciéndola pasar por los bordes sin frenar su movilidad transversal ni su movilidad longitudinal" (Carità, 1955).

¹⁵ Algunas realizaciones prácticas aparecen en los Boletines del ICR. En 1979 algunos restauradores de Friuli adoptaron para una pintura curvada de gran formato el sistema de volver la tela hacia la parte de atrás envarando los bordes y sujetándolos a un contrabastidor (Menis, 1988).

¹⁶ Hedley, 1975.

¹⁷ Para reducir la posibilidad de error en las valoraciones se realizaron cuatro series de mediciones para un mismo número de puntos (en total, alrededor de 1300 en cada bastidor); mediciones dispuestas en 168 líneas de muestra en la dirección a 45°, 22 líneas en el eje de las Y y 23 en el eje de las X de cada bastidor. Las líneas de muestra privilegiadas cubrían toda la superficie textil, con una mayor concentración a lo largo del perímetro. Las primeras mediciones se realizaron en las líneas situadas a 45° de la esquina A hacia la esquina C, donde para cada una de las rectas se midió un único porcentaje de alargamiento (DI%). Las mediciones fueron repetidas en la dirección de la esquina D hacia la esquina B. En primer lugar, se eligió la medida a 45° porque los daños más graves, los del "craquelado", que dependen de la irregular distribución de la fuerza, se concentran en los ángulos en dirección 45°. Analizando la pareja de gráficos del Bastidor 1, y en especial el gráfico dirección A-C (Gráfico 1), se nota que a partir de la esquina A, donde existe un alargamiento del 15%, se observa una imprevista caída de la tensión hasta estabilizarse la deformación-alargamiento en el 1-2%, para volver posteriormente a una nueva caída con valores negativos en la esquina B (hecho debido a una cesión estructural de la fibra textil), lo cual indica la presencia de Fc. Lo mismo sucede en la esquina D, de donde se deduce que el valor del alargamiento, tras una fase uniforme, sufre una brusca elevación en la esquina C equivalente al 20%. En el gráfico que visualiza las mediciones en la dirección diagonal DB, se repite una situación semejante: en los ángulos se manifiesta un alargamiento más evidente, semejante al 20-28%, mientras en la parte central se produce una caída de los valores de alargamiento que se acerca a cero.



13

Analizando la pareja de gráficos del Bastidor 2, en las direcciones AC y DB (Gráfico 2), se nota que el alargamiento en los ángulos va desde un porcentaje mínimo de alrededor del 4% hasta un valor máximo del 7%. Además, no se observa ninguna cesión de la fibra a la Fc. Comparando las parejas de gráficos del Bastidor 1 y el Bastidor 2 resulta evidente que en la primera muestra existe un fuerte alargamiento en los ángulos mientras que en el segundo éste se reduce considerablemente con un esfuerzo-deformación mucho más uniforme. Para obtener una panorámica precisa y completa de los esfuerzos-deformaciones de dos telas de muestra, se llevaron a cabo mediciones a lo largo de los ejes X e Y, calculando no ya el alargamiento total de la línea de muestra sino la variación parcial de la longitud de cada uno de los segmentos del retículo (2 cm en el bastidor no tensado). Las líneas del retículo tomadas como muestra son más numerosas a lo largo del perímetro. Se buscó intencionadamente esta disposición porque se sabe que en una pintura sobre lienzo el área más afectada por las deformaciones es sobre todo la periférica. Con los datos recogidos se realizaron 45 gráficos (22 para el eje de las Y y 23 para el eje de las X) por cada muestra. En las abscisas están localizados los puntos de la medición sobre el retículo mientras que sobre las ordenadas se encuentra el correspondiente porcentaje de alargamiento.

¹⁸ F. Del Zotto, 1983.

¹⁹ La intervención fue presentada en el curso de una conferencia en el mes de julio de 1988.

²⁰ F. Del Zotto 1989, 1990.

²¹ Para una mayor profundización véanse entre otras las investigaciones de Mecklenburg, 1982; Berger-Russell, 1988; Hedley, 1988; Schaible 1990; Young, 1996; Young-Hibberd, 1999 y Ackroyd-Young, 1999. Mecklenburg afirma que la humedad ambiental juega un papel significativo en el deterioro mecánico de las pinturas, basándose en la tesis de que los materiales artísticos se expanden y se contraen, lo cual es debido a la adquisición y a la pérdida de agua asociados con las variaciones de la humedad ambiental. La expansión y la concentración han sido definidas como las causas principales del agrietado y de los levantamientos del color del soporte textil... Un material

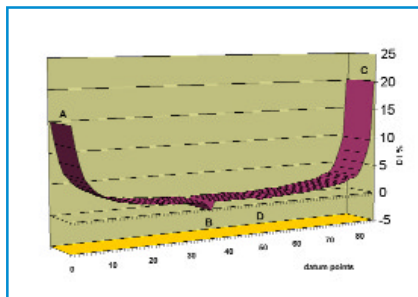


Gráfico 1

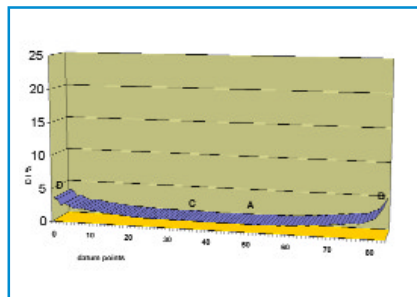


Gráfico 2

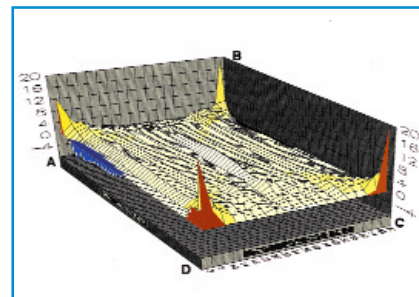


Gráfico 3

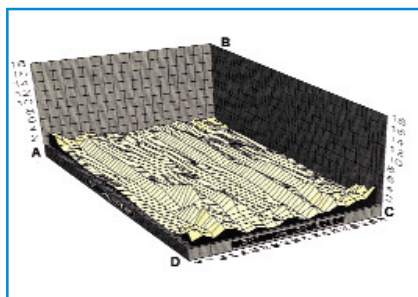


Gráfico 4

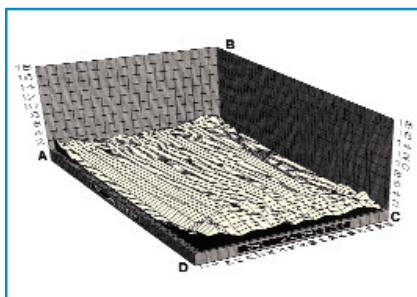


Gráfico 5

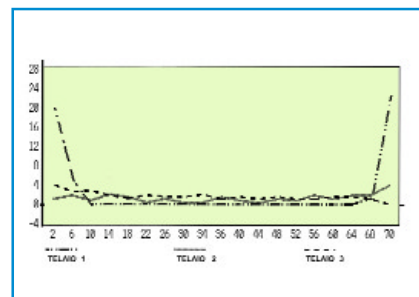


Gráfico 6

se dilata o se contrae en el intento de disminuir el estrés generado dentro de ese mismo material. Expansiones y contracciones son mecanismos de liberación del estrés... Cuando los materiales artísticos asumen y pierden humedad, éstos tienden a variar sus dimensiones, a expandirse y a contraerse. Un concepto erróneo que se encuentra frecuentemente es que este movimiento es la única fuente de desarrollo de estrés y, por lo tanto, del agrietado del material, pero este movimiento no es suficiente ya que el estrés se desarrolla solamente si el material se encoge, parcial o totalmente, durante las variaciones en el contenido de humedad. Para las pinturas al óleo sobre un soporte textil, dicho encogimiento puede derivar tanto de los distintos estratos de color como del bastidor.

²² Berger-Russell, 1988, definen como MST el punto de cesión de la tela, superado el cual tienen lugar deformaciones irreversibles.

²³ Keck, 1969; Berger-Russell, 1988.

²⁴ De las soluciones para la protección del reverso de las pinturas se han interesado, entre otros, Carità (1966), Berger (1984), Booth (1989), Di Pietro-Ligierink (1999).

²⁵ El límite elástico de un material es el range dentro del cual el estrés es directamente proporcional al strain. La relación entre estrés y strain es la medida de la rigidez de la tela y es definido como módulo de elasticidad "E". Para conservar la rigidez "E", junto a las soluciones citadas en el texto, Berger y Russell sugieren: 1) La utilización de bastidores de autoexpansión a tensión constante. En numerosas pruebas y aplicaciones llevadas a cabo en los más importantes museos, este modelo de bastidor ha demostrado repetidamente su capacidad para absorber las más violentas variaciones dimensionales sin aumentos significativos de estrés. En semejantes condiciones, los bastidores tradicionales podrían provocar una nociva variación de tensión diez veces mayor. 2) Aumentar la rigidez de la tela y reducir las variaciones del estrés mediante la imprimación. 3) Aumentar la rigidez de la tela con el forrado o el montaje de un soporte añadido. La última operación es realizada utilizando adhesivos que frecuentemente hacen las veces de preparación para la tela durante el proceso, añadiéndose de ese modo a los efectos del tratamiento de forrado. Dichas operaciones podrían reducir también los efectos de las variaciones ambientales, protegiendo el reverso de la tela (Berger-Russell, 1990).

²⁶ "Las rupturas de una tela o de un soporte debilitado por los daños no son argumento suficiente para efectuar un reentelado. El reentelado es, a menudo, la coartada ideal para justificar un tratamiento brutal, allanando las irregularidades del reverso de un cuadro y provocando de ese modo la invalidez definitiva del objeto. El reentelado como remedio contra el craquelado, los levantamientos de los estratos pictóricos, la formación de escamas, pompas y lagas, conduce inexorablemente a la violación de las delicadas características de la preparación de la superficie pintada y cambia su aspecto estético. Las verdaderas consecuencias de un reentelado son reacciones físicas y químicas combinadas, invisibles en el momento de la intervención, pero incontrolables. Para concluir, es mucho más fácil para un restaurador demostrar sus capacidades técnicas, su perfeccionismo y su trabajo "limpio y sin errores", que hacerle comprender a un cliente privado o público que la intervención prevista puede ser parcialmente evitada, si no por completo en ciertos casos" (E. Weddigen, 1980). G. Bonsanti, 1994.

Gráfico 1. Bastidor 1, visualización del porcentaje de deformación - DI% - a lo largo de la diagonal AC.
Gráfico 2. Bastidor 2, visualización del porcentaje de deformación - DI% - a lo largo de la diagonal DB.
Gráfico 3. Bastidor 1, visualización de las deformaciones de alargamiento (DI%) sobre el eje X.
Gráfico 4. Bastidor 2, visualización de las deformaciones de alargamiento (DI%) sobre el eje X.
Gráfico 5. Bastidor 3, visualización de las deformaciones de alargamiento (DI%) sobre el eje X.
Gráfico 6. Comparación de las deformaciones verificadas en el lado DC de los Bastidores 1, 2 y 3.

²⁷ Berger-Russell, 1988.

²⁸ Antes de aplicar este mecanismo a la pintura, se llevó a cabo una serie de pruebas experimentales de bajo impacto sobre la citada pintura, para medir el comportamiento elástico y las variaciones dimensionales de la obra en función de la humedad relativa, manteniendo constantes los valores de tensión aplicada y de temperatura ambiente. La tela, colgada de un bastidor provisional mediante unas bandas, fue medida en sentido vertical (a lo largo del tejido, donde las variaciones dimensionales son notablemente mayores respecto a la trama). Los relieves fueron realizados mediante un catetómetro en un arco de 11 días, sometiendo a la tela a tensiones de carga progresivamente crecientes hasta llegar a un límite discretamente limitado que corresponde a la tensión media de un bastidor. Por lo que se refiere al test de alargamiento elástico, hemos verificado que la pintura se deformaba poquísimo, probablemente por el carácter compacto alcanzado por la fibra y por la estabilidad de los estratos pictóricos. En lo que se refiere al test de alargamiento en el tiempo, a una variación de H.R. - del 73 al 85% - la variación dimensional era muy reducida, equivalente al 0,1%.

La prueba experimental ha puesto en evidencia tanto la estabilidad de la tela ante las variaciones termohigrométricas, como la vitalidad de la fibra, lo cual atestiguaba en favor del sistema de montaje luego utilizado, evitando, entre otras cosas, una intervención de forrado (Del Zotto, 1983).

²⁹ Un sistema semejante, pero con el tensado proporcionado por una serie de muelles de tracción y desprovisto del tope de seguridad, fue adoptado por los laboratorios del Opificio delle Pietre Dure de Florencia sobre dos grandes lienzos de Rubens de la Galería de los Uffizi, dañados en el atentado de 1993.

³⁰ Para la utilización de materiales metálicos hay que tener presente el posible fenómeno de la formación de condensación, que sugiere su utilización en condiciones especiales o con determinados tratamientos y medidas.

³¹ Del Zotto, 1983

³² Del Zotto, 1989

³³ En un reciente experimento llevado a cabo en la Tate Gallery de Londres, en colaboración con el Courtauld Institute -elogiable sinergia entre investigadores y conservadores-, Young ha recogido los siguientes datos: de las pruebas experimentales se deduce que la tensión óptima debería ser de 2000 N/ml, pero una confrontación con la realidad operativa ha llevado a valores más realistas que van de 200 a 600 N/ml. Para Berger-Russell (1988) el valor de tensión es de 200 N/ml; para Hedley (1988), en pinturas de pequeño o mediano formato, está comprendido entre 800 y 4000 N/ml; para Mecklenburg y Tumosa 2000 N/ml es la máxima tensión sostenible por parte de una pintura; Ciappi (1993) adopta para los lienzos de Rubens un valor de 850 N/ml. Como indicación general, según nuestra experiencia de laboratorio, considerando las variables que poseen las pinturas sobre tela, podemos sugerir un range que va de 200 a 650 n/ml.