

La retícula de Kevlar® 49 como sistema de refuerzo en el tratamiento de rasgados en la conservación curativa de pintura sobre lienzo

Daniel Morales-Martín, Luis Rodrigo Rodríguez Simón

Resumen: En los últimos años la fibra de aramida, comercialmente denominada Kevlar®, ha sido utilizada en los tratamientos del soporte textil en pintura de caballete. Este material, presente en distintos formatos, tiene una serie de cualidades fisicoquímicas y morfológicas que lo hacen de interés para la consolidación local o general de los lienzos. En el siguiente trabajo se ha utilizado el hilo de Kevlar® 49 para confeccionar diferentes retículas que sirven como refuerzo puntual en la intervención de rasgados en los soportes de tela pintados. A través de 24 maquetas se han estudiado diferentes tipos de retículas que han sido sometidas a envejecimiento acelerado. Finalizados los ensayos se ha desestimado uno de los modelos testados debido a la rigidez del refuerzo realizado. Sin embargo, se han destacado las cualidades del resto de pruebas, demostrando que este material y la metodología de aplicación propuesta suponen un buen método de consolidación del soporte textil.

Palabras clave: Kevlar 49, retícula, desgarró, mínima intervención, pintura sobre lienzo, restauración

The Kevlar® 49 grid as a reinforcement system in the treatment of tears in the remedial conservation of easel paintings

Abstract: In recent years, aramid fibre, commercially called Kevlar®, has been used in the treatment of the textile support in easel paintings. This material, present in different formats, has a series of physical-chemical and morphological qualities that make it of interest for the local or general consolidation of canvases. In the following work, the Kevlar® 49 thread has been used to make different grids that serve as punctual reinforcement in the intervention of tears on the painted fabric supports. Through 24 models, different types of grids that have been subjected to accelerated ageing have been studied. Once the tests were finished, one of the tested models was rejected due to the stiffness of the applied reinforcement. However, the qualities of the rest of the tests have been highlighted, showing that this material and the proposed application methodology represent a good method of consolidating the textile support.

Keywords: Kevlar 49, grid, tear, minimal intervention, painting on canvas, restoration

A rede de Kevlar® 49 como sistema de reforço para o tratamento de rasgões na conservação curativa de pinturas sobre tela

Resumo: Nos últimos anos, a fibra de aramida, comercialmente conhecida como Kevlar®, tem sido utilizada no tratamento de suporte têxtil em pintura de cavalete. Este material, presente em diferentes formatos, tem uma série de qualidades físico-químicas e morfológicas que a tornam interessante para a consolidação local ou geral de telas. No trabalho que se apresenta, o fio Kevlar® 49 foi utilizado para fazer diferentes redes que servem como reforço pontual na intervenção de rasgões em suportes de tela pintados. Através de 24 maquetes, diferentes tipos de rede foram estudados e sujeitos a um envelhecimento acelerado. No final dos ensaios, um dos modelos testados foi rejeitado devido à rigidez do reforço. No entanto, salientaram-se as qualidades do resto dos testes, demonstrando que este material e a metodologia de aplicação proposta são um bom método para consolidar o suporte têxtil.

Palavras-chave: Kevlar 49, rede, rasgão, intervenção mínima, pintura sobre tela, restauro

Introducción

La conservación-restauración de pintura sobre lienzo ha experimentado un continuo y creciente desarrollo, tanto teórico como técnico, desde la segunda mitad del siglo XX hasta la actualidad. Estos avances conciernen a los principios de intervención de todos y cada uno de los múltiples y muy variados estratos que constituyen en conjunto la obra pictórica. No obstante, a partir de la conferencia internacional *Comparative lining techniques* celebrada en el Museo Nacional Marítimo de Greenwich en abril de 1974, el soporte textil, hasta entonces sacrificado sistemáticamente en aras de preservar el valor estético de la pintura, adquirió mayor relevancia al debatirse las aptitudes de los tratamientos por el momento realizados: la forración a la gacha y el entelado a la cera-resina (Hedley y Percival 1974). Desde entonces, los profesionales, con una visión multidisciplinar, han centrado su trabajo en la búsqueda continuada de tratamientos de conservación y restauración adaptados a las casuísticas específicas de cada obra y al criterio de mínima intervención. Este último, entendido como el sumo respeto por la originalidad histórica y material de la obra, considera la necesidad de conservación, siempre que sea posible, de todos los elementos intrínsecos a la naturaleza de la pintura y en la aplicación eficaz de tratamientos que supongan la mínima aportación material sobre ésta (Salas y Porras-Isla 2018: 31; Roudet 2009).

Hoy se cuenta con protocolos de actuación que buscan minimizar el carácter invasivo de los procesos de intervención y, a su vez, garantizar la reversibilidad o, en su defecto, la retratabilidad de los mismos sin cuestionar la estabilidad de la obra original (Salas y Porras-Isla 2018: 54). Estas pautas son la suma de experiencias profesionales que en el transcurso del paso del tiempo han incorporado distintos tratamientos de tipo local y nuevos materiales para paliar los deterioros del soporte textil en pintura de caballete. Actualmente, la adhesión hilo a hilo, diseñada por Winfried Heiber en la década de 1980, es uno de los tratamientos alternativos al entelado y a la colocación de parches más eficientes, ciñéndose estrictamente al área afectada. A pesar de conseguir una resistencia equiparable a la de un lienzo nuevo (100 gramos de carga por cada hilo intervenido), su propio autor reconoce la posibilidad de contar con un sistema de refuerzo adicional que garantice la estabilidad física de la unión (Hackney 2020: 202-206; Heiber 2007: 106). Como refuerzo se ha recurrido frecuentemente a la adhesión de parches de tela natural o sintética. Sin embargo, se ha demostrado que, al restringir localmente el movimiento natural del soporte, pueden llegar a marcarse por el anverso de la pintura (Orata 2010: 36).

Otros métodos de refuerzo son los cosidos quirúrgicos, las grapas (papel japonés, fibra de vidrio, tejido no tejido, entre otros), los puentes de hilo o los sistemas reticulados (Orata 2010: 46-50; Sánchez 2012: 93). Estos últimos, objeto de estudio del presente trabajo, tienen unas características de sumo interés práctico en la conservación curativa del soporte textil en pintura de caballete.

La retícula de hilos como sistema de consolidación de rasgados en la pintura sobre lienzo

Este sistema de refuerzo ha sido empleado, desde principios del presente siglo, para la consolidación del soporte textil en la pintura de caballete, utilizado como alternativa a otros tratamientos de tipo local, como la colocación de parches, o de tipo general, como el entelado.

Este método presenta una serie de ventajas frente a las intervenciones tradicionales. La retícula funciona en dos direcciones, horizontal y vertical, siguiendo la estructura básica del soporte, comportándose como un “tejido de trama muy abierta”. Supone un aporte mínimo de peso a la obra y limita y localiza el adhesivo a los puntos de intersección de los hilos de la retícula. Este aspecto favorece la reversibilidad o retratabilidad del tratamiento (Orata 2010: 44). El principal inconveniente de la retícula es el posible encogimiento de los hilos al cortarlos del bastidor de tensado en el que se han preparado. Este fenómeno puede generar tensiones y deformaciones en el soporte, poniendo en riesgo la estabilidad física de la pintura. De este modo, Fratelli y sus compañeros (2008) determinan en su estudio que la retícula es un sistema de consolidación estructural que no puede realizarse de forma deliberada con cualquier material.

Los casos de estudio que se presentan a continuación demuestran que la retícula de hilos es un tratamiento de gran versatilidad: *La crocifissione di Dro* (anónimo, siglo XVI-XVII) y *L'Industria* (Bartolomeo Giuliano, siglo XIX), realizadas respectivamente por OCRA Restauri di Arco en 2006 y por la Galleria d'Arte Moderna de Milano en 2008, ambas con la participación del Centro per lo Studio dei Materiali per il Restauro (CESMAR7). De acuerdo con el estudio de Lilia Gianotti (2005), en los dos trabajos, el refuerzo general con la retícula comenzó siendo un sistema temporal de apoyo para estabilizar la obra durante su intervención. Sin embargo, pasaron a convertirse en un sistema de consolidación estructural definitivo que funcionaba, en el primer caso, como un “entelado flotante”, y en el segundo, como un “forrado”. Además, en la intervención realizada por OCRA se han combinado dos sistemas reticulados: el ya mencionado y el refuerzo local de injertos con una retícula de 1,0 cm de densidad (Tomasoni 2005; Fratelli *et al.* 2008). También en obras de pequeño y mediano formato se ha utilizado este sistema como tratamiento, pero ajustado al criterio de mínima intervención, para estabilizar y paliar las alteraciones del soporte textil (Buzzegoli, Ciatti y Kunzelman 2003).

El hilo de Kevlar® en la conservación-restauración

Kevlar es la denominación comercial de la fibra de aramida o PPT (poliparafenilentereftalamida) sintetizada en 1965 por la empresa Du Pont. Químicamente esta fibra orgánica se clasifica como una poliamida aromática. Está formada por grupos amidas, de los cuales un mínimo del 85% se encuentran unidos a dos anillos aromáticos, responsables de la rigidez de la cadena polimérica resultante. Ésta posee

una estructura unidireccional con una alta orientación molecular y casi cristalina. Estos aspectos estructurales son los responsables de sus óptimas propiedades: buena estabilidad dimensional, mínimo coeficiente de dilatación, alta resistencia a la tracción (valor anisótropo, mayor en dirección longitudinal que transversal) y a la fatiga, elevada capacidad de absorción de energía, buena amortiguación de las vibraciones, inercia química y estabilidad térmica, entre otras (García *et al.* 2010).

Existen dos tipos comerciales de esta resina: Kevlar® 29 y Kevlar® 49. Ambos poseen propiedades similares [Tabla 1], si bien, difieren en su presentación y en el fin de su utilización. El Kevlar® 29 está hilado, mientras que el Kevlar® 49, denominado hilo plano, se presenta como un haz de microfibras sueltas y paralelas entre sí. Éste último está diseñado para ser embebido en una resina. De este modo, los filamentos que conforman el hilo están tratados superficialmente para favorecer la impregnación de las resinas, lo que también influye en su absorción de humedad, próxima al 10 % (Besednjak 2009: 5).

La fibra de aramida se emplea, primordialmente, en la industria aeroespacial y armamentística como recubrimiento ignífugo de alta resistencia mecánica, entre otros usos. De este modo, las principales fuentes de información acerca de análisis formales, estudios de envejecimiento y aplicaciones, son textos ajenos al campo de la conservación-restauración. No obstante, al igual que sucedió con otros productos y materiales, las peculiaridades del Kevlar® no tardaron en llamar la atención de los restauradores. Trece años después de su descubrimiento, Parrini analizó sus propiedades en combinación con las de otras fibras con el objetivo de encontrar un tejido de alta resistencia para la forración de pinturas sobre lienzo (1978). Desde entonces, otros profesionales han seguido profundizando en el estudio de este material aplicado a la restauración de obras de arte. Como recogen en su publicación Ezio Buzzegoli y sus compañeros (2003), el investigador Viswah Raj Mehra, pionero en tratamientos alternativos al entelado de los lienzos en pintura de caballete, valoró la alta resistencia a la rotura y la ligereza de los hilos de aramida como propiedades fundamentales para su empleo. En los últimos años, se ha recurrido a este material como método de refuerzo alternativo a otros sistemas de intervención más invasivos, ha sido utilizado para la consolidación puntual o general de los soportes de tela pintados y sus distintas versiones de hilado han sido aprovechadas para la realización de puentes de hilo, de retículas y de otros refuerzos adicionales (Orata 2010: 62-63; Fratelli *et al.* 2008; Górecka *et al.* 2015).

Propiedades	Kevlar® 49	Kevlar® 29
Resistencia a la tracción (GPa)	2,8 – 3,4	2,8 – 3,0
Alargamiento a la rotura (%)	1,9 – 2,4	3,3 – 4,4
Resistencia específica (GPa cm ³ /g)	1,9 – 2,3	1,9 – 2,2
Módulo elástico (GPa)	120 – 186	58 - 80
Densidad (Kg/m ³)	1450 - 1470	1390 - 1440
Diámetro del filamento (µm)	12	12

Tabla 1. - Presentación de las propiedades físico-mecánicas de las dos modalidades comerciales de Kevlar® (Besednjak 2009: 5).

El hilo de Kevlar® 49 posee características físicas y formales que lo hacen más idóneo para la consolidación del soporte de lienzo. Por un lado, la mínima elasticidad de las microfibras que constituyen el hilo garantiza la estabilidad del método de refuerzo durante su manipulación; mientras que su mayor poder de humectación proporciona una mejor superficie de contacto entre el material y el reverso de la tela. Por otra parte, su presentación ofrece una gran versatilidad, de modo que se puede obtener un hilo más o menos ancho según la tensión aplicada a la hora de confeccionar el sistema de refuerzo seleccionado y, además, tiene la ventaja de alternar el corte y la terminación del hilo pudiendo dejarlo recto o abrir las fibras del cabo.

Dadas estas cualidades se ha considerado conveniente llevar a cabo la presente investigación con la finalidad de explorar las propiedades del hilo de Kevlar® 49 en la confección de retículas como sistema de refuerzo local del soporte textil.

Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es el de conocer el comportamiento y la idoneidad de la retícula de hilo de Kevlar® 49 como método de refuerzo de un desgarró en “L”, previamente sellado. Los factores que se han medido en los ensayos han sido la densidad de la retícula, su modo de aplicación, la reversibilidad del tratamiento y su comportamiento en relación con el soporte textil ante unas condiciones de humedad, temperatura y radiación ultravioleta determinadas, así como comprobar de forma preliminar la estabilidad química del hilo utilizado.

Fase experimental

—Elaboración de las maquetas

Para el desarrollo de esta investigación se han elaborado 24 probetas cuya estructura pictórica está compuesta por una tela impermeabilizada y clavada perimetralmente a un bastidor de madera. No se aplicó ningún tipo de preparación, ni de imprimación, ni tampoco de pintura con el propósito de suprimir cualquier película de color que, posteriormente, pudiera interferir en la valoración visual de las posibles alteraciones generadas en el anverso del lienzo a causa del sistema de refuerzo objeto de estudio.

Sobre un bastidor de 19 x 24 cm se ha tensado una tela 100 % de lino con ligamento de tafetán simple y una densidad de 14 x 12 hilos/cm². Siguiendo las indicaciones del tratadista Francisco Pacheco, como capa aislante o de impermeabilización se aplicó cola de conejo al 9 % en frío, es decir, coagulada (Pacheco 1982: 113). En cada maqueta se realizó un desgarró horizontal en forma de “L” de 10 x 5 cm. A continuación, se sellaron los desgarró con cola de esturión al 20%, espesada con almidón de trigo al 18% en una proporción de 1:1.

El hilo de resina de aramida utilizado ha sido el modelo BHK805TEX de la casa comercial *ClipCarbono*. Es un hilo plano con un ancho de 1,5 mm y un espesor de 0,07 mm, aproximadamente [Figura 1]. Los microfilamentos que conforman el hilo tienen un peso de 0,805 g/m, una densidad de 1,45 g/m³, una resistencia a la tracción de 2,880 MPa, un módulo de tracción de 100 GPa y un alargamiento a la rotura del 2,8% (VV.AA. 2018).

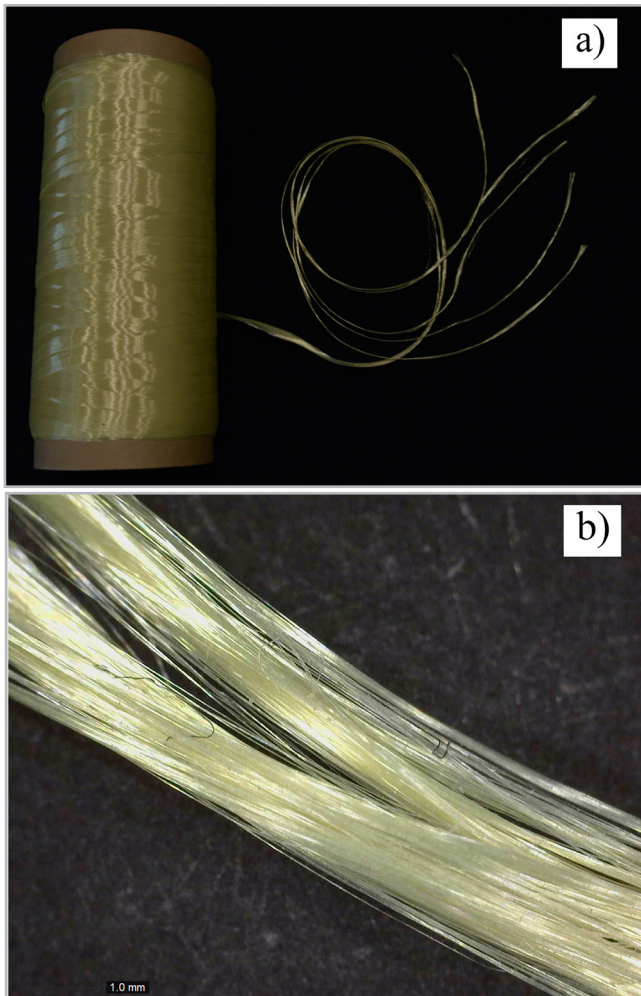


Figura 1.- a) Formato comercial del hilo de Kevlar® 49 modelo BHK805TEX. b) Microfotografía (Dino-Lite AM3113T) del mismo hilo donde se observan los microfilamentos que lo conforman.

Se han ensayado tres tipos de retícula con una densidad de 0,5 cm, 1,0 cm y 1,5 cm. Para su realización se han construido tres bastidores de madera (uno por modelo) con unas dimensiones de 15 x 11 cm. En cada canto se han practicado una serie de ranuras con una separación de 0,5 cm; 1,0 cm y 1,5 cm. La confección de la retícula de 0,5 cm ha requerido un total de 7 metros de hilo, la de 1,0 cm 4 metros y la de 1,5 cm 2,5 metros. A la hora de hacer la retícula se ha modulado manualmente el hilo, obteniendo así un refuerzo cuyos hilos tienen un ancho de 1,5 mm (formato comercial) [Figura 2 a] y otro con una medida de 0,7 mm aproximadamente [Figura 2 b y c]

Para determinar las dimensiones del refuerzo se estimó un margen de 3 cm a cada lado del desgarro. De este modo la retícula cubre un área de 126 cm². Según su densidad se tendrán más o menos puntos de unión en esta área. En las retículas de 0,5; 1,0 y 1,5 cm se cuenta respectivamente con 280, 68 y 44 puntos de unión.

La adhesión de la retícula al reverso de la tela de la maqueta se ha realizado con una dispersión acrílica (Plextol® B500) diluida al 40 % en agua y posteriormente espesada con metilcelulosa en una proporción del 4 % respecto al peso total de la disolución. El refuerzo se ha adherido de forma directa e indirecta. En el primer caso se ha colocado la retícula (tensada en su bastidor) sobre la zona a consolidar y en la intersección de los hilos de Kevlar® se ha aplicado el adhesivo, dejándolo secar bajo peso ligero. En el segundo caso los puntos de la mezcla a base de Plextol® B500 se han puesto por la cara de la retícula que va a estar en contacto directo con el soporte. Cuando el adhesivo ha alcanzado el estado de mordiente, se ha colocado la retícula sobre el rasgado facilitando la unión mediante peso ligero durante el secado.

Una vez el refuerzo está correctamente adherido al reverso de la maqueta, se han cortado los hilos para liberar la retícula del bastidor de tensado. Para evitar crear un filo recto que pueda marcarse por el anverso de la tela, se ha alternado el largo de los hilos entre 1,0 y 0,5 cm. De este modo, se traza una línea en zig-zag. Se han ensayado dos formas de terminación de los cabos: rectas, tal cual quedan una vez cortados [Figura 2 b), y abiertas, separando las fibras del hilo con una sonda de exploración dental [Figura 2 a) y c). El segundo formato guarda cierta similitud con los sistemas tradicionales (desflecado)

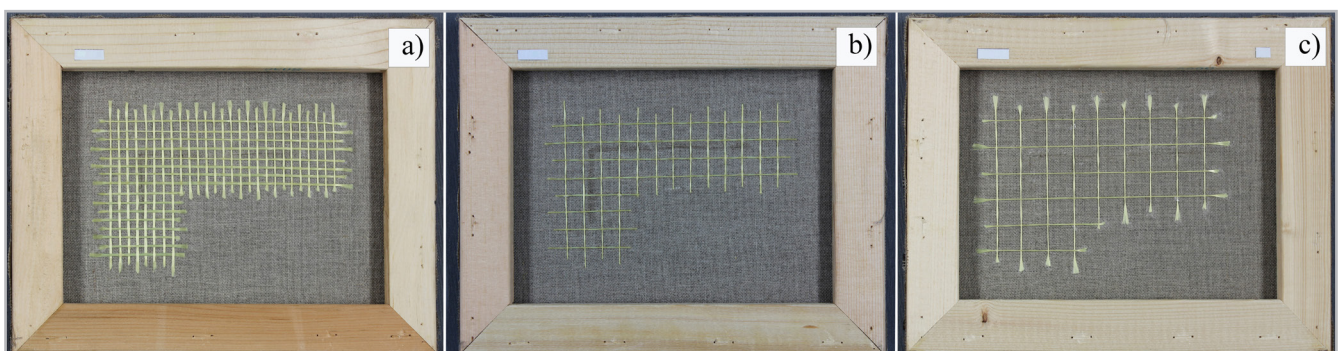


Figura 2.- Fotografías del reverso de las maquetas 3, 14 y 23 donde se muestran algunos de los diferentes modelos de retículas de refuerzo analizados.

utilizados en la manipulación de las telas para minimizar las marcas del tejido nuevo en el anverso de la obra tras adherir un parche (Calvo 1997: 166). La adhesión se hizo de acuerdo con el método utilizado para la unión de la retícula, de forma directa e indirectamente [Tabla 2].

Maqueta	Densidad de la retícula	Ancho del hilo de la retícula	Terminación del hilo de la retícula	Adhesión de la retícula
1	0,5 cm	1,5 mm	Recta	Directamente
2	0,5 cm	1,5 mm	Recta	Indirectamente
3	0,5 cm	1,5 mm	Abierta	Directamente
4	0,5 cm	1,5 mm	Abierta	Indirectamente
5	0,5 cm	0,7 mm	Recta	Directamente
6	0,5 cm	0,7 mm	Recta	Indirectamente
7	0,5 cm	0,7 mm	Abierta	Directamente
8	0,5 cm	0,7 mm	Abierta	Indirectamente
9	1,0 cm	1,5 mm	Recta	Directamente
10	1,0 cm	1,5 mm	Recta	Indirectamente
11	1,0 cm	1,5 mm	Abierta	Directamente
12	1,0 cm	1,5 mm	Abierta	Indirectamente
13	1,0 cm	0,7 mm	Recta	Directamente
14	1,0 cm	0,7 mm	Recta	Indirectamente
15	1,0 cm	0,7 mm	Abierta	Directamente
16	1,0 cm	0,7 mm	Abierta	Indirectamente
17	1,5 cm	1,5 mm	Recta	Directamente
18	1,5 cm	1,5 mm	Recta	Indirectamente
19	1,5 cm	1,5 mm	Abierta	Directamente
20	1,5 cm	1,5 mm	Abierta	Indirectamente
21	1,5 cm	0,7 mm	Recta	Directamente
22	1,5 cm	0,7 mm	Recta	Indirectamente
23	1,5 cm	0,7 mm	Abierta	Directamente
24	1,5 cm	0,7 mm	Abierta	Indirectamente

Tabla 2.- Relación de las características de las retículas de refuerzo testadas en el estudio.

Envejecimiento acelerado en cámara climática

El estudio de envejecimiento acelerado se ha realizado en una cámara climática de la marca Memmert, modelo HPP110. Se ha establecido una temperatura de 50°C y una humedad relativa oscilante entre el 30% y el 90%. En el interior de la cabina se han incorporado dos lámparas Vilalta de luz día con radiación ultravioleta de 20W. El tiempo de exposición de cada maqueta ha sido de 192 horas.

Análisis colorimétrico

La evaluación de la estabilidad química del hilo de Kevlar® 49 se ha llevado a cabo a través de su medición colorimétrica antes, durante y después del proceso de envejecimiento artificial. Se ha utilizado un colorímetro PCE-TCR 200. Las mediciones se han tomado en muestras del hilo BHK805TEX tras 0, 24, 48, 72 y 192 horas de exposición en la cámara climática. Se han tomado 3 medidas consecutivas sobre el mismo punto. La evaluación de las variaciones cromáticas se realizó de acuerdo al espacio CIE 1976 que está definido por tres coordenadas cartesianas. Un eje vertical representa la *claridad* del color (L) y dos ejes perpendiculares en plano a L constituyen las *coordenadas cromáticas* (verde : $a^* < 0 < a^*$: rojo ; azul : $b^* < 0 < b^*$: amarillo) (Doménech 2018: 240).

Examen con luz rasante

La estabilidad mecánica de cada retícula en relación con los movimientos del soporte pictórico se ha evaluado cualitativamente mediante la observación de las maquetas con luz rasante antes y después del proceso de envejecimiento acelerado.

Reversibilidad

Una vez finalizado el proceso de envejecimiento artificial se estudió la reversibilidad de cada retícula. Para ello, se levantó manualmente el refuerzo tirando de él en sentido horizontal y con un ángulo plano respecto al reverso de la maqueta. Los residuos generados tras esta operación se evaluaron cualitativamente a diferentes escalas de aumento y bajo luz visible y luz ultravioleta con un microscopio digital USB, marca Dino-Lite y modelo AM3113T.

Resultados y discusión

—Observaciones previas

Durante la reproducción del rasgado en las maquetas 2, 5, 10, 16 y 24 se produjo, a causa del impacto de la herramienta utilizada, una pequeña deformación que dio lugar a la falta de proximidad entre los cabos de los hilos seccionados [Figura 3]. Para homogeneizar el trabajo y los resultados no se realizó ningún tipo de intervención para conseguir su aproximación.

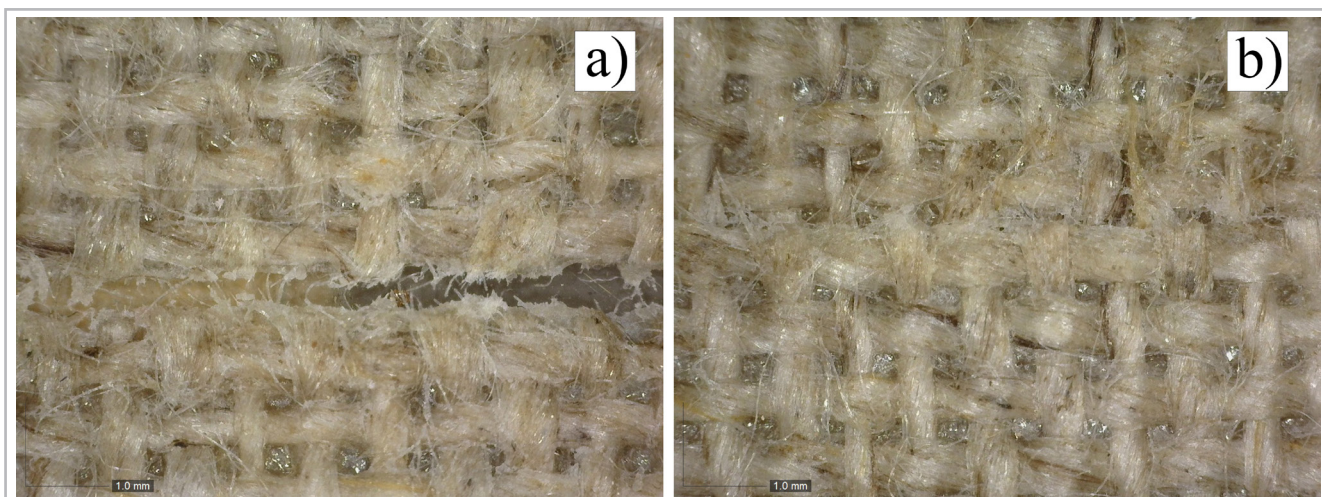


Figura 3.- Microfotografías tomadas con un microscopio digital USB en la zona de sutura del rasgado. a) Detalle de la falta de proximidad entre los cabos seccionados. b) Detalle de un desgarro correctamente sellado.

Evaluación del envejecimiento del hilo de Kevlar® ante radiación ultravioleta

Tras realizar las mediciones colorimétricas del hilo de Kevlar® 49 a lo largo de su exposición a radiación ultravioleta se ha detectado un cambio cromático en el eje de coordenadas a^* [Tabla 3]. Esta variación se produce rápidamente, de modo que, pasadas 24 horas, el valor Δa^* es igual a 1. Este parámetro sigue en aumento hasta finalizar el ensayo (192 horas $\Delta a^* = 3,10$). A partir de 96 horas bajo dicha fuente de iluminación el cambio es perceptible por el ojo humano, ya que el valor ΔE^* es superior a 3 ($\Delta E^* = 3,02$ y $\Delta E^* = 3,22$ a 96 y 192 horas de exposición respectivamente).

Horas	L	a^*	b^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
0	66,05	-4,29	22,48	-	-	-	-
24	65,64	-3,29	21,46	0,41	1,00	1,02	1,79
48	65,21	-2,34	21,92	0,84	1,95	0,56	2,20
72	64,99	-2,18	22,02	1,06	2,11	0,46	2,40
96	65,42	-1,34	22,71	0,63	2,95	0,23	3,02
192	65,26	-1,19	22,09	0,79	3,10	0,39	3,22

Tabla 3.- Resultados del análisis colorimétrico del hilo de Kevlar® 49 durante su exposición a radiación ultravioleta.

A pesar de la resistencia inicial del hilo de Kevlar® a factores como la tracción mecánica, la humedad, la temperatura y los agentes contaminantes (Mead et. al. 1982), este presenta una gran inestabilidad frente a la radiación ultravioleta, concretamente a la región del ultravioleta cercano, 350-420 nm. Este agente de degradación ejerce un proceso de fotooxidación en el grupo amida que constituye la estructura molecular de este material. Además de un cambio cromático, el resultado de esta alteración puede hacer que la fibra pierda hasta el 50% de su resistencia mecánica, si bien, este fenómeno se produce ante condiciones extremas como las establecidas en el ensayo realizado (Zhang et al. 2006).

Valoración del comportamiento mecánico de la retícula de Kevlar® 49 en relación al soporte textil

Durante el proceso de envejecimiento acelerado en cámara climática el soporte textil de las maquetas ha experimentado movimientos de expansión y contracción debido a las oscilaciones higrométricas. Este fenómeno se ha reflejado conjuntamente en el lienzo y en las retículas de refuerzo.

El investigador Alain Roche analiza el comportamiento ante variaciones termohigrométricas del tejido de lino impermeabilizado con cola de origen animal y tensado en un bastidor (2003: 28-31). Según estos, los soportes con dichas características experimentan el siguiente proceso: a una humedad relativa baja, en torno al 15%, se mantiene la tensión inicial de la tela; a partir del 25% de humedad comienza a producirse una caída lineal de la tensión, la cual alcanza el valor mínimo cuando la humedad es del 70%, punto en el que el estrato de cola se encuentra completamente relajado. De este modo, cuando la humedad relativa sigue en aumento, el soporte textil impone su comportamiento, iniciándose así un proceso de tensado. Ante estas condiciones ambientales el tejido se tensa rápidamente debido al hinchamiento de los hilos que lo constituyen. Esta propiedad es de carácter anisótropo, siendo mayor en el sentido de la trama que en el de la urdimbre. Sin embargo, el nuevo valor de tensión no es igual al inicial, el cual no vuelve a alcanzarse.

Los soportes de estas características tienen dos intervalos críticos frente a fluctuaciones termohigrométricas. El primero se sitúa entre el 30% y el 60% de humedad relativa, momento en el que empieza a decaer la tensión de la tela hasta aproximarse a su valor mínimo; y el segundo, está comprendido entre el 85% y el 90% de humedad, cuando la tela empieza a recuperar tensión.

Una vez finalizado el ensayo se ha visto cómo la tela está correctamente tensada, sin apreciarse ningún tipo

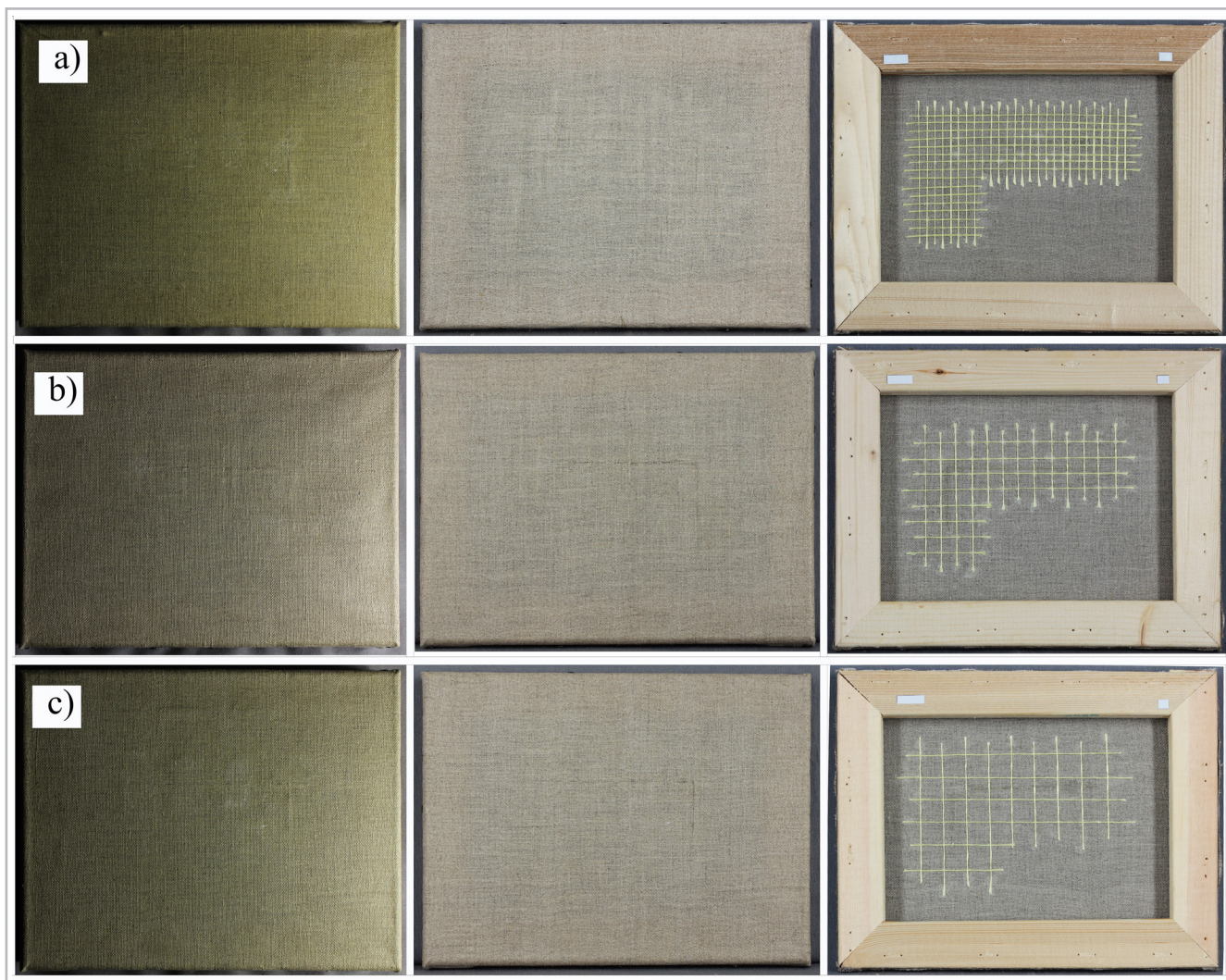


Figura 4- a) Secuencia fotográfica de la maqueta 7 tras finalizar el ensayo en cámara climática: anverso visto con luz rasante y visible y reverso. b) Secuencia fotográfica de la maqueta 15 tras finalizar el ensayo en cámara climática: anverso visto con luz rasante y visible y reverso. c) Secuencia fotográfica de la maqueta 22 tras finalizar el ensayo en cámara climática: anverso visto con luz rasante y visible y reverso.

de interferencia por parte del refuerzo del reverso, independientemente de la densidad de la retícula y de su modo de adhesión [Figura 4]. Sin embargo, observando la retícula se puede ver cómo en esta sí se han producido una serie de fenómenos que se describen a continuación y que varían en función de la densidad de los hilos que la constituyen.

El refuerzo con una densidad de 0,5 cm se ha despegado en algunos puntos, lo que ha generado una serie de abolsados que se acentúan en la parte circundante al rasgado [Figura 5]. Esto se debe a que este modelo de retícula genera un refuerzo rígido incapaz de adaptarse adecuadamente a los movimientos de la tela. Ante la relajación del tejido y su posterior tensado los puntos de unión de la retícula se han despegado para poder liberar la tensión sufrida por los hilos de Kevlar®.

Los refuerzos con una densidad de 1,0 y 1,5 cm se han adaptado a los movimientos de expansión y contracción

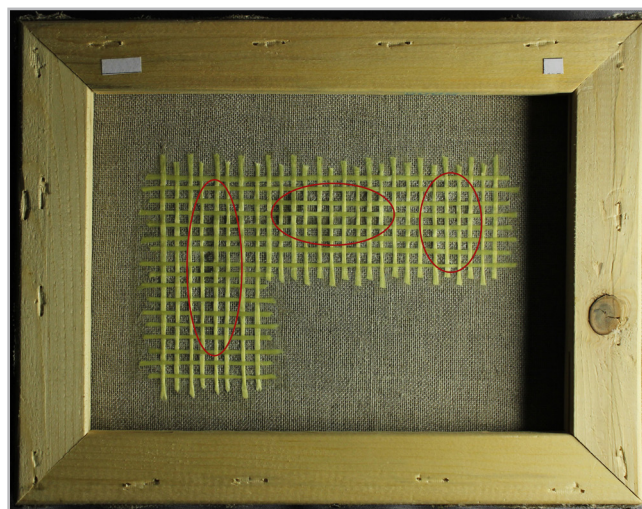


Figura 5- Fotografía con luz rasante del reverso de la maqueta 1 tras el ensayo en cámara climática. En la imagen se señala en color rojo los puntos donde la retícula se ha despegado, formándose abolsados entre el refuerzo y el soporte.

de la tela. Una vez que las maquetas pasan del 70% de humedad relativa y el soporte comienza a tensarse nuevamente, sin llegar a recuperar su valor inicial, el hilo de Kevlar® ha sido capaz de amortiguar las tensiones de dicho proceso. Esto se ve reflejado en el hecho de que al no recuperar la tensión inicial la parte del hilo que no está adherida al soporte ha quedado ligeramente comprimida [Figura 6]. Además, este fenómeno se acentúa en el sentido vertical de la retícula, que se corresponde con los hilos de la trama donde se produce mayor tensión (Roche 2003: 22). El encogimiento del soporte y la retícula no se hace perceptible en la cara del anverso ya que ambos elementos se han movido de forma armónica sin generar tensiones.

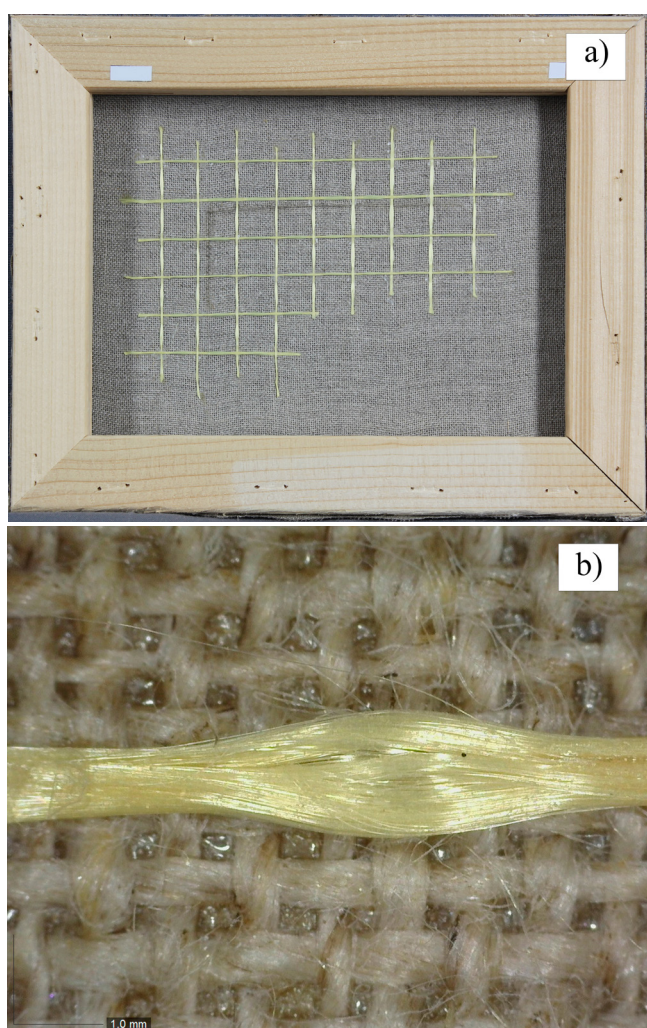


Figura 6- a) Reverso de la maqueta 21 donde se aprecia la compresión de los hilos de la retícula de Kevlar®. b) Microfotografía de la deformación sufrida por los hilos de la retícula ante los movimientos del soporte textil durante su exposición a variaciones de humedad relativa.

En las maquetas, 2, 5, 10, 16 y 24 el rasgado se ha abierto debido a un defecto en el proceso de sellado (falta de contacto entre los cabos seccionados), siendo indiferente la densidad de la retícula de hilo de Kevlar® [Figura 7].

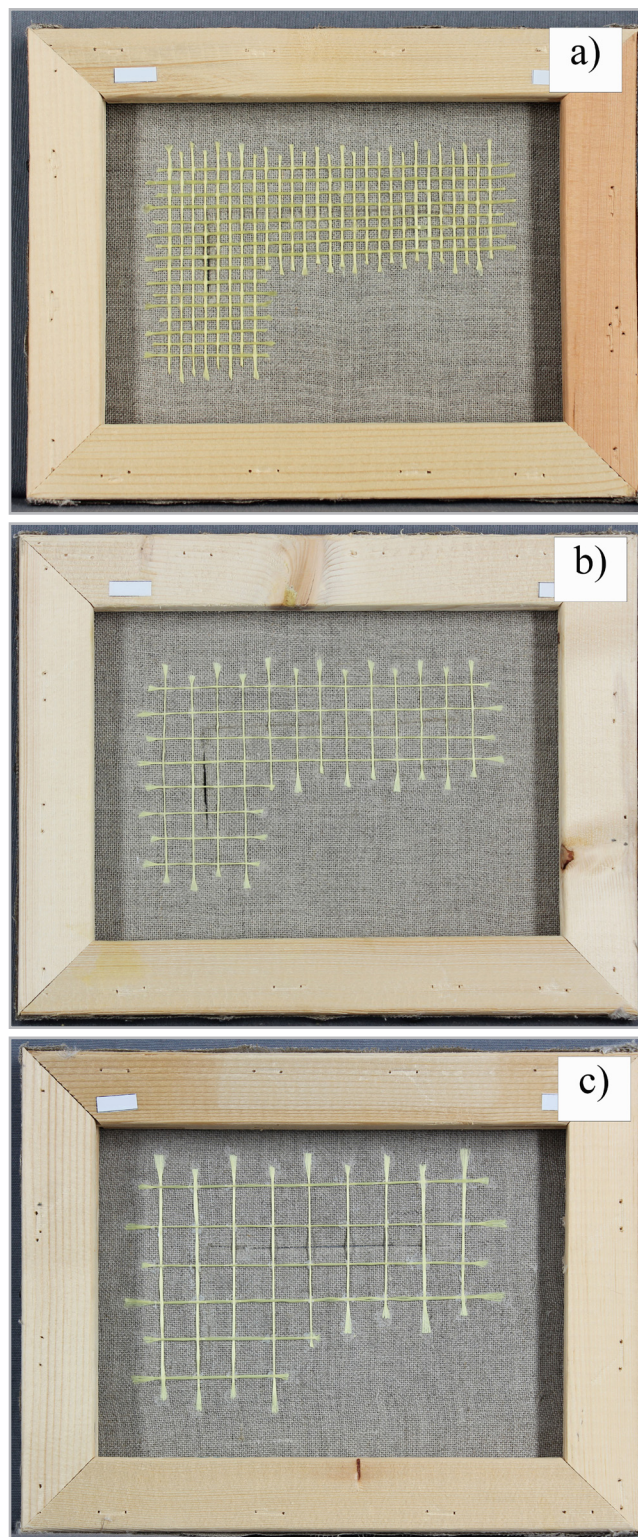


Figura 7- Fotografías del reverso de las maquetas 5 (a), 16 (b) y 24 (c), donde el rasgado se ha abierto tras el ensayo de envejecimiento acelerado.

Reversibilidad

Tras retirar mecánicamente la retícula de refuerzo se observó, visualmente y a escala microscópica, dos aspectos: el tipo de fallo adhesivo producido y la cantidad de residuos

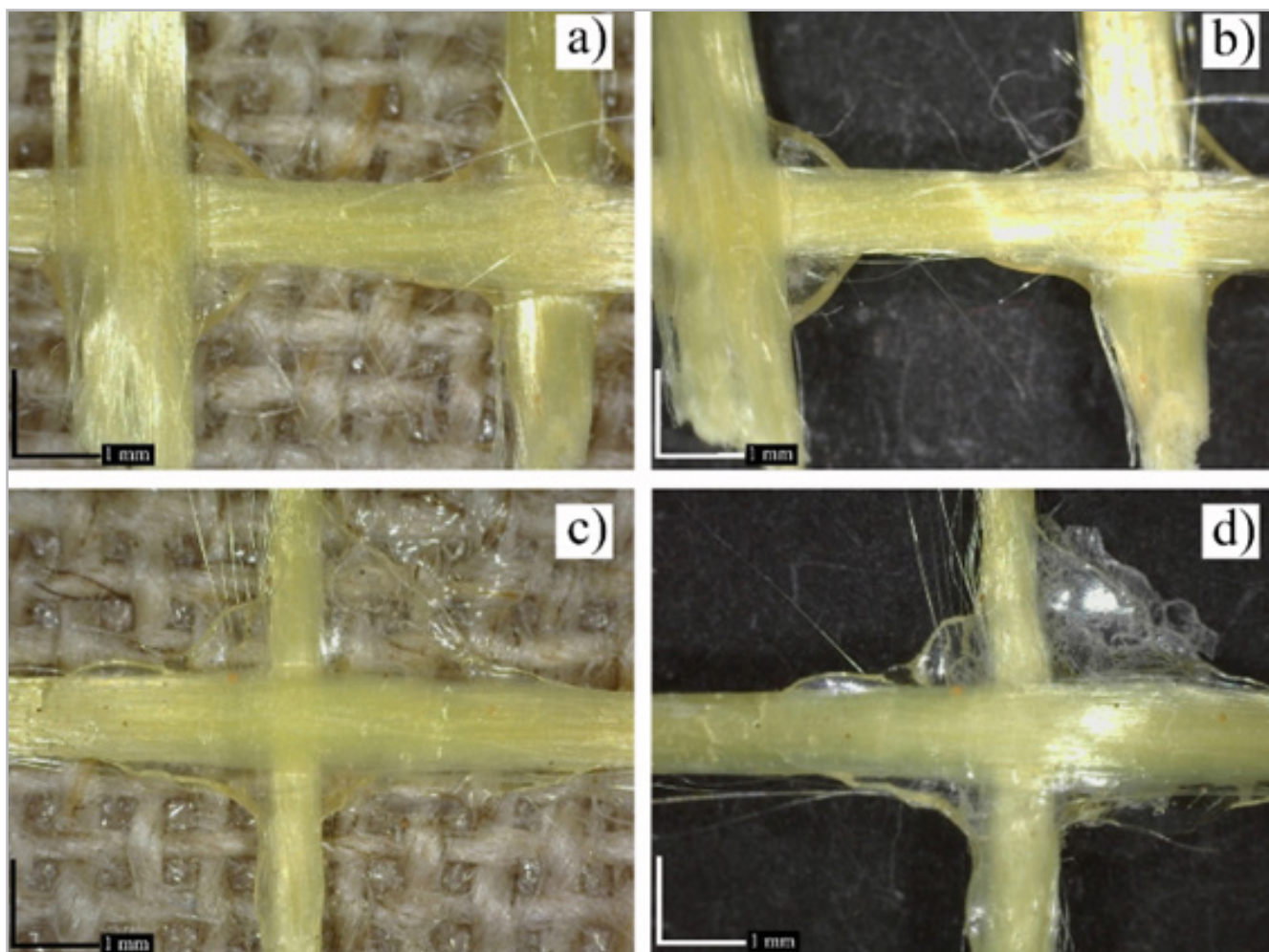


Figura 8- a) Microfotografía de los puntos de unión de la maqueta 2 (adhesión indirecta) antes de la prueba de reversibilidad. b) Microfotografía de los puntos de unión de la imagen anterior sobre un fondo negro tras retirar la retícula de refuerzo. c) Microfotografía de un punto de unión de la maqueta 23 (adhesión directa) antes de la prueba de reversibilidad. d) Microfotografía del punto de unión de la imagen anterior sobre un fondo negro tras retirar la retícula de refuerzo.

que quedan en el reverso de la maqueta. De acuerdo a la norma *Adhesivos. Designación de los principales modelos de rotura*, a la hora de eliminar mecánicamente la retícula se ha generado un fallo de tipo cohesivo, es decir, se ha producido la rotura de la junta adhesiva. Según este estándar este es el tipo de separación deseable, de lo contrario la unión puede resultar ineficiente (fallo adhesivo) o sobredimensionada (fallo de sustrato) (Organización Internacional de Normalización [ISO] 2010). En la figura 8 se presenta una comparativa entre los puntos adheridos directa e indirectamente antes y después del ensayo de reversibilidad. A través de la imagen se puede ver cómo, en ambos métodos de adhesión, la mayor parte del adhesivo queda adherida al refuerzo y no al reverso de la maqueta. Además, en este punto, se puede distinguir la cantidad de adhesivo que aporta cada sistema de unión, siendo esta mayor en la aplicación directa. Aún así, la mayor parte del adhesivo se queda unido a la retícula.

Conclusiones

Finalizados los ensayos experimentales se ha llegado a las siguientes conclusiones, donde, por un lado, cabe

destacar, de forma aislada, las propiedades del hilo de Kevlar® 49 modelo BHK805TEX.; y, por otro, las cualidades de este material como método de refuerzo de rasgados en soportes textiles mediante la confección de una retícula.

En primer lugar, en relación a los aspectos formales de este hilo se ha de resaltar su versatilidad, ya que ha permitido obtener diferentes versiones de un mismo refuerzo al modificar el ancho del hilo con el que se han confeccionado. Además, se puede modular fácilmente la terminación de los cabos de la retícula para así minimizar las posibles marcas en el anverso de la pintura a lo largo del tiempo. En segundo lugar, y en referencia al estudio de su estabilidad química, se ha de tener en cuenta que la degradación del Kevlar® se produce en un rango de radiación ultravioleta que en el contexto de su aplicación como sistema de refuerzo en pintura sobre tela no se produce. En este punto, tomando como referencia a Stephen Hackney (2020: 124), se ha de reflexionar acerca de los estudios de envejecimiento acelerado de los distintos materiales que se pueden encontrar en el mercado. Muchos de estos análisis, como el caso de la mayoría de los que se han realizado sobre la resina de

aramida, se hacen bajo estándares industriales. De este modo, sus resultados no se pueden extrapolar de forma literal al ámbito de la conservación-restauración, sino que se han de aplicar razonadamente y de acuerdo a los fines que se quieren alcanzar con su aplicación a dicho campo.

En cuanto al hilo de Kevlar® 49 como método de refuerzo en forma de retícula, en base a lo observado en las maquetas 2, 5, 10, 16 y 24, hace necesario la correcta intervención previa en el rasgado. Este paso precedente debe asegurar la adecuada unión de los cabos seccionados, llevando a cabo, si fuera necesario, trabajos de aproximación de los bordes del roto.

De los tres tipos de retícula se descarta la que tiene una densidad de 0,5 cm, ya que genera un refuerzo muy rígido que no se adapta a los movimientos de contracción y expansión del soporte ante fluctuaciones termohigrométricas y se termina despegando puntualmente. Sin embargo, las retículas de 1,0 y 1,5 cm han demostrado cumplir satisfactoriamente su función como sistema de refuerzo local en todas aquellas maquetas donde la unión del rasgado era correcta.

Dentro de las dos retículas mencionadas, los modelos que presentan el hilo con su formato comercial (1,5 mm de ancho) y aquellos en los que éste ha sido modificado manualmente (0,7 mm de ancho) han presentando un comportamiento óptimo. La única diferencia entre ambos es el aspecto estético, siendo más llamativa la retícula confeccionada con el hilo ancho. Lo mismo sucede con los dos tipos de terminaciones, ambas se han mantenido estables sin generar alteraciones en las maquetas.

La aplicación del adhesivo, a base de una dispersión acrílica espesada con un éter de celulosa, de forma directa e indirecta ha resultado apropiada tanto en operatividad como en reversibilidad. Los dos sistemas han generado una unión estable donde la mayor parte de residuos queda adherida a la retícula una vez que se retira.

Finalmente, en base a los resultados obtenidos en el estudio realizado, se determina que el hilo de Kevlar® 49 modelo BHK805TEX, en forma de retícula, con una densidad de 1,0 y 1,5 cm, es un sistema de conservación curativa apropiado para el refuerzo de rasgados previa y correctamente sellados.

Referencias

BESEDNJAK, A. (2009). *Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones*, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.

BUZZEGOLI, E., CIATTI, M., KUNZELMAN, D. (2003). "Tecniche alternative per la conservazione dei dipinti su tela: l'esperienza del seminario di Vishwa Raj Mehra". *OPD Restauro*, 15: 123-135.

CALVO, A. (1997). *Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z*. El Serbal, Barcelona, España.

DOMÉNECH, M. T. (2018). *Análisis químico y examen científico de patrimonio cultural*, Síntesis, Madrid, España.

FRATELLI, M., TIBILETTI, A., RIGGIARDI, D. et. al. (2008). "Open studio sulle semilunette della Galleria Vittorio Emanuele II conservate allá Galleria d'Arte Moderna di Milano". In *atti 2° Congresso Internazionale Cesmar7 Colore e conservazione, l'attenzione alle superficie pittoriche, material e metodi per il consolidamento e método scientifici per valutarne l'efficacia*. Milano: Il prato.

GARCÍA, J. M., GARCÍA, F. C., SERNA, F. et. al. (2010). "High-performance aromatic polyamides". *Progress in Polymer Science*, 35 (5): 623-686. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.09.002>.

GIANOTTI, L. (2005). "Sistema di supporto provvisorio reticolare per un dipinto su tela temporaneamente privato del suo telaio ligneo". In *atti 2° Congresso Internazionale Cesmar7 Colore e conservazione, minimo intervento conservativo nel restauro del dei dipinti, a cura del cesmar7*. Padova: Il prato.

GÓRCEKA, K., SKŁODOWSKI, M., PAWŁOWSKI, P. et. al. (2015). "New Materials and Methods Used in the Conservation of the XVIIIth Century Curvilinear Canvas Painting "Adoration of the Magi" from the SaintAubain Cathedral Church in Namur (Belgium)". *European Journal of Science and Theology*, 11 (2): 45-53.

HACKNEY, S. (2020). *On canvas. Preserving the structure of paintings*, The Getty publications, The Angels, USA.

HEDLEY, G. A., & PERCIVAL-PRESCOTT, W. (1974). *Conference on comparative lining techniques: National Maritime Museum* [Greenwich], April 1974. [Greenwich], [National Maritime Museum].

HEIBER, W., DEMUTH, P. (2007). *Microcirugía textil para el tratamiento de rasgados en pintura sobre lienzo*, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

MEAD, J., MEAD, K., AUERBACH, I. et. al. (1982). "Accelerated aging of Nylon 66 and Kevlar 29 in elevated temperature, elevated humidity, smog and ozone". *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development*, 21: 163-170. <https://doi.org/10.1021/i300006a006>

ORATA, L. (2010). *Tagli e strappi nei dipinti su tela. Metodologie di intervento*, Nardini, Firenze, Italia.

Organización Internacional de Normalización. (2022). *Adhesivos. Designación de los principales modelos de rotura*. (ISO: 10365).

PACHECO, F. (1982). *Arte de la Pintura. Concepto, técnicas, colores y medios en el siglo de Oro, 1649*. Leda, Barcelona, España.

PARRINI, P. (1978). "A new lining canvas". In *5th Triennial meeting ICOM Committee for Conservation*, Zagreb,

ROCHE, A. (2003). *Comportament mécanique des peintures sur toile*, CNRS, Paris, Francia.

ROUDET, L. (2009). "L'intervention minimale en conservation-restauration des biens culturels: exploration d'une notion". *Conservation-Restauration des Biens Culturels*, 27: 21-24.

SALAS, C., PORRAS-ISLA, M. (2018). *Proyecto Coremans. Criterios de intervención en pintura de caballete*, Ministerio de Cultura y Deporte, Madrid, España.

SÁNCHEZ, A. (2012). *Restauración de obras de arte. Pintura de caballete*, Akal, Madrid, España.

TOMASONI, B. (2005). *La crocifissione di Dro. Un'esperienza di minimo intervento su un dipinto di grandi dimensioni*. Il Prato, Padova, Italia.

VV. AA. ClipCarbono (2018). "Aramid roving 805 tex" <https://www.clipcarbono.com/es/comprar-telas-y-refuerzos-para-resinas-composite/779-bobina-de-hilo-de-fibra-de-kevlar-805tex.html>

ZHANG, H., ZHANG, J., CHEN, J. et. al. (2006). "Effects of solar UV irradiation on the tensile properties and structure of PPTA fiber". *Polymer Degradation and Stability*, 91: 2761-2767. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2006.03.025>

Cano y otros artistas de los siglos XVI y XVII. Materializándose en las atribuciones de "La Pequeña Madonna de Foligno" a Rafael Sanzio y la pintura sobre alabastro "Maja y Celestina" a Francisco de Goya.

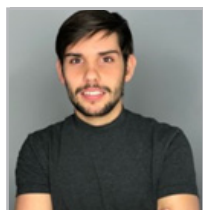
Artículo enviado 23/09/2021

Artículo aceptado el 18/07/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1056>

Autor/es



Daniel Morales-Martín

damora03@ucm.es

Dpto. Pintura y Conservación-Restauración en la Facultad de Bellas Artes, UCM

<https://orcid.org/0000-0003-1966-0511>

Conservador-Restaurador de Bienes Culturales por la Universidad de Granada (2013-2018). Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico por la Universidad Pablo de Olavide (2018-2019). Investigador predoctoral (Beca de Formación del Profesorado Universitario del Ministerio de Universidades de España) en el Departamento de Pintura y Conservación-Restauración en la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid. Miembro del grupo de investigación Conservación de Arte Contemporáneo y Nuevos Medios del Grupo Español del IIC. Participante en eventos nacionales e internacionales de difusión científica y autor de diversos artículos de investigación.



Luis Rodrigo Rodríguez Simón

lrsimon@ugr.es

Universidad de Granada

<https://orcid.org/0000-0003-2840-8027>

Doctor en Bellas Artes. Licenciado en Historia del Arte y en Ciencias Biológicas. Diplomado en Conservación y Restauración de Pintura. IP del Grupo de Investigación HUM-839. Desempeña su actividad profesional como Profesor Titular de Restauración de Pintura de Caballete en la Universidad de Granada. Su actividad investigadora está dirigida a la aplicación de metodologías científicas para la investigación de pinturas, con especial interés en la obra de Alonso