

Tejidos ignífugos y sistemas de protección *in situ* en la salvaguarda de bienes culturales ante emergencias

Estrella Sanz Domínguez, Marta Hernández Azcutia, Alejandro Cárdenas Galeano

Resumen: En este artículo se expone el estudio realizado en el Museo del Prado para la selección de materiales y sistemas de protección *in situ* ante emergencias de sus colecciones. Se parte de la premisa de una opción factible de protección *in situ* de las obras que por su naturaleza material, formal, significación o uso dentro de la colección lo permitiera o se aconsejara priorizar frente a un traslado por circunstancias ordinarias o frente a una evacuación, en caso de circunstancias extraordinarias. Inicialmente se definen las necesidades de protección de los bienes culturales distinguiendo las opciones con las que contamos para combatir algunos riesgos concretos o la mayoría de los más comunes. En un análisis posterior se comparan cuatro materiales desarrollados en el mercado centrándonos en los denominados “tejidos ignífugos”, apuntando sus características y propiedades. A continuación, se hace una valoración de los aspectos a considerar cuando se usa como fundas en caso de emergencia sobre obras de arte sensibles a temperaturas altas, llamas, agua y depósitos de partículas.

Palabras clave: tejidos ignífugos, protección *in situ*, emergencias, bienes culturales, museos, riesgos

Fireproof fabrics and *in situ* protection systems in the safeguarding of cultural property in emergencies

Abstract: This article describes the study carried out at the Museo del Prado to select materials and systems for the *in situ* protection of its collections in emergencies. It is based on the premise of a feasible option for the *in situ* protection of works that, due to their material or formal nature, significance, or use within the collection, would allow it or would be advisable to prioritize it over a transfer due to ordinary circumstances or an evacuation in the event of extraordinary circumstances. Initially, the protection needs of cultural property are defined by distinguishing the options available to combat some or most of the most common risks. In a subsequent analysis, four materials developed on the market are compared, focusing on the so-called “fireproof fabrics,” pointing out their characteristics and properties. This is followed by an assessment of the aspects to consider when used as emergency covers on works of art that are sensitive to high temperatures, flames, water, and particle deposits.

Keywords: fireproof fabrics, in-situ protection, emergencies, cultural property, museums, risks

Tecidos ignífugos e sistemas de proteção *in situ* na salvaguarda de bens culturais em situações de emergência

Resumo: Este artigo apresenta o estudo realizado no Museu do Prado para a seleção de materiais e sistemas de proteção *in situ* em caso de emergência para as suas coleções. Baseia-se na premissa de ser uma opção viável para proteção *in situ* das obras que, devido à sua natureza material, formal, significado ou uso, no contexto da coleção, permitiria ou seria conveniente priorizar antes de uma transferência por motivos comuns ou antes de uma evacuação, em caso de circunstâncias extraordinárias. Numa primeira fase, definem-se as necessidades de proteção dos bens culturais, distinguindo as opções de que dispomos para combater alguns riscos específicos ou a maioria dos mais comuns. De seguida, são analisados diferentes materiais desenvolvidos no mercado, especificamente os chamados “tecidos ignífugos”, indicando as suas características e propriedades para depois ser feita uma avaliação dos aspectos a considerar e, por fim, definir aquelas características básicas necessárias na proteção do património, mantendo também os parâmetros adequados para sua conservação.

Palavras-chave: tecidos ignífugos, proteção *in situ*, emergências, bens culturais, museus, riscos

Introducción

La exposición de los bienes culturales a diferentes tipos de riesgos es un hecho repleto de matices que debemos conocer y analizar al abordar las propuestas que nos permitan reducir o evitar con efectividad posibles daños. Los avatares que han sufrido los objetos a lo largo de su historia se pueden traducir en efectos de carácter ordinario acumulativo como la alteración del color ante la exposición a una iluminación inadecuada, de carácter extraordinario súbito como una inundación o, también acumulativos asociados a los anteriores, como el crecimiento de hongos tras la intervención de bomberos en un incendio. En el caso del Museo Nacional del Prado, los agentes de riesgo han sido muchos y muy variados a lo largo de sus doscientos años de historia. Al resultar los riesgos extraordinarios dramáticamente destructivos y cada vez más difícilmente predecibles en un mundo lleno de incertidumbres, en la redacción del plan de protección de colecciones ante emergencias se consideró no solo la opción de evacuación de los bienes sino, además, la posibilidad o necesidad de una protección *in situ*, planificando la respuesta en ambos sentidos.

Nos decantaríamos por la protección *in situ* durante una emergencia cuando nos faltasen recursos para una evacuación masiva o cuando haya obras significativas que por sus características formales (peso, tamaño, técnica, estado de conservación) o por su situación dentro de la institución suponga una gran dificultad su movimiento y un riesgo añadido (Sanz y Hernández 2021: 344). Sirva de ejemplo la respuesta ante un conflicto armado como la actual guerra de Ucrania, donde se han protegido *in situ* aquellas obras que no permiten ser evacuadas o que han quedado a la espera de una posible evacuación (Hekman, Harras, Dren, *et al.* 2010: 51).

Para la optimización de uso de los materiales de protección adquiridos para eventos extremos, sus características multirriesgo pueden aplicarse también con carácter preventivo a situaciones ordinarias que impliquen, por ejemplo, labores de mantenimiento en salas o almacenes.

Los avances tecnológicos en la fabricación de materiales destinados a la protección frente al fuego y altas temperaturas para bomberos y agentes forestales son notables, sin embargo, falta en el mercado un desarrollo de producto apoyado en ensayos sistemáticos enfocados globalmente a los distintos riesgos y circunstancias que pueden afectar a los bienes culturales. Ante esta situación, se ha analizado algunos de los materiales disponibles en España y valorado su idoneidad para ser adaptados a la protección *in situ* de bienes culturales.

Metodología

Definición de necesidades de protección temporal de obras in situ y frente a situaciones de emergencia en museos

Aunque estemos hablando de aspectos vinculados a la gestión del riesgo para poder determinar cuáles van a ser

las necesidades de protección de una colección o de un bien cultural concreto y poder valorar de qué tipo de riesgos las debemos proteger, deberíamos haber trabajado previamente en el estudio de las características y particularidades de cada uno de los bienes implicados, disponer de una lista de obras prioritarias de evacuación y/o protección *in situ*, según lo que se determine, y tener ya un conocimiento claro de los posibles riesgos a los que pueden estar expuestos estos bienes, de su probabilidad y del impacto que supondría si alguno de ellos se materializase en forma de evento negativo. Por lo tanto, el paso para definir la posible necesidad u opción de protección *in situ* será posterior al estudio antes mencionado y seguirá a la fase de análisis y evaluación de riesgos en el proceso de elaboración del plan de protección de colecciones ante emergencias (Culubret, *et al.* 2008: 21-31).

En cuanto a las necesidades o alternativas de protección *in situ*, podríamos establecer diversas categorías o métodos de clasificación que nos ayuden a determinar el material y sistema más idóneo en base a nuestras circunstancias, sin olvidar por supuesto nunca el factor asociado a los recursos económicos ya que podrá influir en nuestra decisión de manera determinante. Algunas de estas categorías o planteamiento para la elección son:

- Opción para protección de emergencia rápida y económica: en esta categoría podríamos enmarcar materiales asociados a riesgos o emergencias por agua, humo o contaminantes sólidos. Algunos de estos pueden aparecer como riesgos secundarios o terciarios tras una emergencia ocasionada por otro evento o durante éste, pero en la que no hay una necesidad de evacuación aunque sí de protección real o preventiva. Por una cuestión de coste, generalmente más bajo, los materiales para protección masiva estarían también vinculados a lo que podríamos llamar protección para riesgos ordinarios.

Dentro de estos materiales incluiríamos, por ejemplo, las láminas de polietileno utilizadas para una eventual protección frente al agua y a los contaminantes sólidos; o los propios contenedores de almacenamiento si son cerrados y de un material resistente frente a determinados riesgos (por ejemplo, de metal frente a un fuego); incluso los embalajes primarios de almacenamiento podrían funcionar como sistemas protección *in situ* frente a muchos de los riesgos. En el caso de obras en exposición, las vitrinas o el enmarcado con cristal, si están correctamente diseñados, pueden suponer también un modo de protección eficaz. (Sanz y Hernández 2021: 344; Hekman, Harras, Dren, *et al.* 2010: 11, 15, 30, 37). Tenemos un buen ejemplo de esto si recordamos el último ataque vandálico cometido contra la Gioconda, de Leonardo da Vinci, en el Museo del Louvre y como su cristal de protección funcionó en este caso eficazmente de escudo protector.

Sin embargo, volviendo al plástico como material de protección útil y barato para una protección masiva o puntual frente a los riesgos mencionados, debemos también tener en cuenta su comportamiento si está en el radio de alcance de otro agente de riesgo como el fuego. Así, en el caso del polietileno (PE), su punto de fusión estaría entre 85-140°C, pudiendo adherirse a la superficie de los objetos, su punto de inflamación sería a los 341°C, con la emisión de gases tóxicos, y su temperatura de autoignición estaría entre los 330-410°C. (ICSC 2004)

- Opción multirriesgo: en este caso estaríamos hablando de materiales de protección multirriesgo que cumplen con una función ignífuga, hidrófuga, etc., por la combinación de varios estratos. Puede ser un sistema de protección *in situ* individualizada, o estandarizada. Por su elevado coste se reserva para obras singulares de la colección y se concibe como material de protección frente a riesgos extraordinarios. En el caso de su uso como protección individualizada, requerirá de la elaboración de un patrón cuyo diseño deberá prestar especial atención a varias cuestiones: los elementos de cierre (costuras, imanes, velcro®, etc.) para que no pierda ninguna de sus propiedades, de ellos hablaremos más adelante; su diseño y el peso final de la funda, ya que puede condicionar su manipulación y el número de operarios necesarios para su colocación, cuando lo ideal sería un sistema rápido y sencillo para que el número de intervinientes necesarios fuera mínimo; además de otras características relativas a su mayor o menor flexibilidad que, dependiendo de la obra, podrán ser más o menos convenientes. La elaboración de un prototipo de ensayo para la protección de ciertas piezas, aunque supone una inversión extra, puede resolver muchos problemas posteriores al optimizar los resultados en el momento de su uso (Hernández 2021: 159,160). Estas membranas multirriesgo serán las que se estudiarán más adelante en detalle.

Así mismo, deberemos tener también en cuenta la protección que los distintos materiales pueden ofrecer frente a daños secundarios o terciarios asociados, por ejemplo, en una situación de conflicto bélico como el mencionado anteriormente. Hablaríamos en este caso de propiedades de protección, mitigación o amortiguación de impactos leves por fuerzas físicas, pero también posible protección frente al fuego, humo o contaminantes sólidos derivados de esta o proyecciones de otro tipo.

Descripción de materiales de carácter multirriesgo presentes en el mercado

Antes de proceder a la descripción de estos materiales es importante señalar algunas cuestiones que se deberían plantear para enfocar sus posibilidades y su adecuación a las necesidades de protección y conservación de las

obras. Estas son:

- Composición del material: es fundamental para los responsables de la conservación descartar que se puedan producir interacciones físicas o químicas entre los materiales que conforman estas membranas y los bienes culturales. Para ello se deberá preguntar si se han realizado ensayos en este sentido, las especificaciones y resultados de los mismos y la disposición en que se ordenan estas capas, ya que suelen ser materiales multicapa.

- Resistencia a la rotura de sus capas: puede darse la circunstancia de tener que guardar el material plegado, por lo que deberemos saber si alguno de los materiales puede llegar a romperse o erosionarse en la zona de pliegue perdiendo de este modo sus propiedades.

- Propiedades del material: aunque este tipo de membranas suelen presentarse con una función básica de protección frente al fuego, es interesante saber su comportamiento frente a otros factores como el humo, proyección de partículas sólidas, agua o gases nocivos.

- Resistencia específica frente al fuego: es decir, cuál será el tiempo de resistencia en función de la temperatura a la que se exponga.

- Comportamiento del material tras una exposición prolongada al fuego: es importante saber si el material del estrato interior, que va a estar directamente en contacto con la obra o va a ser el más cercano a ella, puede llegar a fundirse e incluso pegarse a esta.

- Capacidad del material para adaptarse a un bien concreto: en este caso debemos averiguar si el material es apto para cortarse con un patrón a la medida de un objeto y si sus zonas de unión pueden generar puntos débiles en la protección.

- Posibles sistemas de cierre en caso de fundas: en el caso de decidir elaborar fundas adaptadas a las obras, se concebirán con carácter envolvente y las protegerán por todos sus lados. Con este fin, debemos analizar cuáles son las opciones posibles y más eficaces de cierre y unión.

- Posibilidad del material para escamotearse detrás de las obras y desplegarse sin esfuerzo: los formatos de las obras y el sistema de exposición pueden dificultar enormemente el uso de estos materiales o incluso imposibilitarlo, pensemos en obras de pintura instaladas con cables o con escarpas y la viabilidad de estos sistemas de protección *in situ*.

- Fecha de caducidad si la tuviera: el coste de estos materiales puede ser elevado y más si sumamos el

diseño y elaboración de una funda de protección individualizada, por esta razón debemos conocer la durabilidad del material sin que pierda ninguna de sus prestaciones. En ocasiones, uno de los estratos puede sufrir alteraciones con el tiempo, mientras otros permanecen estables.

• Descripción de materiales: Para el desarrollo de este punto nos basaremos en el estudio realizado sobre las características y propiedades de cuatro tipos de “membranas ignífugas” -a las que denominaremos A, B, C, D-, propuestas como posible opción de protección multirriesgo para distintos bienes culturales.

Peso: 450-495 gr/m ² Espesor: 2 mm Ancho: 150 cm	Membrana TIPO A	
	Material	Propiedades
Capa exterior	12% Película de aluminio	Bloqueador de llama. Reflectante del calor radiante.
Capa intermedia 1	40% E-Glass (fibra de vidrio)	Aporta resistencia mecánica.
Capa intermedia 2	40% Preox 200®: para-aramida/polyacrylonitrile. (TEXfire. Technical Fabrics. Preox 200)	Bloqueador de calor, aislante térmico, acústico y eléctrico. Resistencia a temperatura constante: 300°C. Resistencia a temperatura puntual: 500°C. No arde, no se funde, no gotea. Libre de amianto y gases tóxicos.
Capa interior	8% Membrana Teflón™	Barrera de agua y humo. Antiadherente
OBSERVACIONES	Función individual de sus capas por sistema de adhesión de micropuntos aplicado con proceso de calandra (poliuretano reactivo). Entre sus características, por la suma de sus capas, destaca la protección frente a una temperatura ambiente de hasta 700°C, con picos de hasta 1.300°C. Aguanta mejor temperatura pasajera, no estática. No especifica el tipo de film de Teflón™	

Tabla 1.- Características y propiedades de membrana TIPO A.

Peso: 435-450 gr/m ² Espesor: 2,5 mm Ancho: 150 cm	Membrana TIPO B	
	Material	Propiedades
Capa exterior	E-GLA200 AL: 5% Aluminio,	Bloqueador de llama. Reflectante del calor radiante.
Capa intermedia 1	95% E-Glass: fibra de vidrio. (TEXfire. Technical Fabrics. EGLA200 AL)	Aporta resistencia mecánica.
Capa intermedia 2	45% Tecstar® 180: Poliacrilato reticulado. (TEXfire. Technical Fabrics. Tecstar 180)	Bloqueador de calor, aislante térmico, acústico y eléctrico. Resistencia a temperatura constante: 350°C. Resistencia a temperatura puntual: 600°C. No arde ni funde, se carboniza expuesto a la llama directa. Libre de amianto y gases tóxicos. Anti-bacterias y antimicrobiano.
Capa interior	- Membrana de Politetrafluoroetileno PTFE, conocido como Teflón™	Barrera de agua y humo. Antiadherente
OBSERVACIONES	Función individual de sus capas por sistema de adhesión de micropuntos aplicado con proceso de calandra (poliuretano reactivo). No menciona porcentaje de capa interior ni especifica el tipo de film de Teflón™	

Tabla 2.- Características y propiedades de membrana TIPO B.

Peso: 550 gr/m ² Espesor: 3 mm Ancho: 150 cm	Membrana TIPO C	
	Material	Propiedades
Capa exterior	10% Película de aluminio (99% aluminio + 1% PET)	Bloqueador de llama. Reflectante del calor radiante.
Capa intermedia 1	50% Fibra de vidrio	Aporta resistencia mecánica.
Capa intermedia 2	40% Preox 200®: para-aramida/ poliacrilonitrilo. (TEXfire. Technical Fabrics. Preox 200)	Bloqueador de calor, aislante térmico, acústico y eléctrico. Resistencia a temperatura constante: 300°C. Resistencia a temperatura puntual: 500°C. Baja resistencia a la tracción. No arde, no se funde, no gotea. Libre de amianto y gases tóxicos.
Capa interior	Lámina plástica aluminizada (no identifica composición de lámina plástica)	Barrera de agua y humo
OBSERVACIONES	Entre sus características, por la suma de sus capas, destaca la protección frente a una temperatura ambiente de hasta 700°C, con picos de hasta 1.300°C, manteniendo una temperatura interior de 80°C durante, al menos, treinta minutos.	

Tabla 3.- Características y propiedades de membrana TIPO C.

Peso: 608 gr/m ² Espesor: 1 mm Ancho: no indica	Membrana TIPO D	
	Material	Propiedades
Capa exterior	-% Película de aluminio	Bloqueador de llama. Reflectante del calor radiante.
Capa intermedia 1	-% Fibra de vidrio	Aporta resistencia mecánica.
Capa intermedia 2	-% Tecnofire®: base de grafito con fibras minerales y de vidrio, 0,5 mm. (TFP, 2012)	Material intumescente: barrera térmica resistencia a la llama y supresor de propagación superficial de la llama.
Capa interior	-% Material cerámico: tejido de sílice.	Aislante térmico Resistencia temperaturas por encima de 1.400°C
OBSERVACIONES	No se indica inicialmente capa aislante de agua y aceite, pero proponen añadir una microlámina de poliuretano. No mencionan porcentajes de capas. No detecta autoignición a temperaturas inferiores de 1.000°C. Estimación de estabilidad durante media hora, aproximadamente, a 800°C. Reducción de temperatura en interior de funda de 63%.	

Tabla 4.- Características y propiedades de membrana TIPO D.

Materiales de unión y cierre para elaboración de fundas multirriesgo

Ya hemos mencionado anteriormente la necesidad de conservación de las funciones y propiedades del material multirriesgo en el caso de optar por la realización de fundas

de protección individualizada. Cuando requieran el uso de uniones entre piezas del mismo tejido, sistemas de ceñido a la forma del bien cultural o soluciones de cierre, todos ellos deberán cumplir con eficacia su función y, además, permanecer inalterables ante la exposición al riesgo o a sus consecuencias. A continuación, se exponen algunas de

estas posibles soluciones, que pueden además utilizarse de forma combinada según las necesidades.

- Costura: si nos enfrentamos a la protección de una pieza tridimensional en la que es necesario realizar una funda, según el diseño y aunque esta tenga que tener alguna abertura para su colocación, el resto de uniones del patrón las tendremos que realizar por costura. Necesitaremos para ello un tipo de hilo que, además de tener resistencia mecánica, soporte ciertas temperaturas. La opción más óptima que ofrece el mercado es una fibra de poliamida sintética (para-aramida) denominada Kevlar® más resistente que el nailon y con unas propiedades entre las que están su resistencia a temperaturas de hasta 450°C sin derretirse, gotear o favorecer la combustión, diez veces más resistente a la tracción que el acero de igual peso y con un hilado prácticamente hermético. Sus usos son múltiples, pero uno que refleja esta resistencia es su empleo en chalecos antibala (DuPont™ . Kevlar®).

Las costuras deben considerarse desde dos aspectos, por un lado, cuando unen dos piezas de tejido son líneas donde existe el riesgo de que el humo o la llama atraviese el tejido multicapa, por ello deben realizarse costuras tipo estancas, como un tipo de costura francesa que mediante un doble plegado genera una junta por donde el aire no puede pasar. [Figura1]

Por otro lado, tanto si unen diferentes piezas de tejido como si son costuras en extremos, son líneas que dan rigidez a la funda confeccionada, y por lo tanto pueden funcionar como pequeños nervios estructurales que permiten un mejor control del volumen de la funda. A la vez, por su rigidez, pueden ser un impedimento para el correcto plegado o enrollado de la funda. A la hora de diseñar el patrón hay que priorizar la opción de enrollado frente al plegado, ya que el enrollado

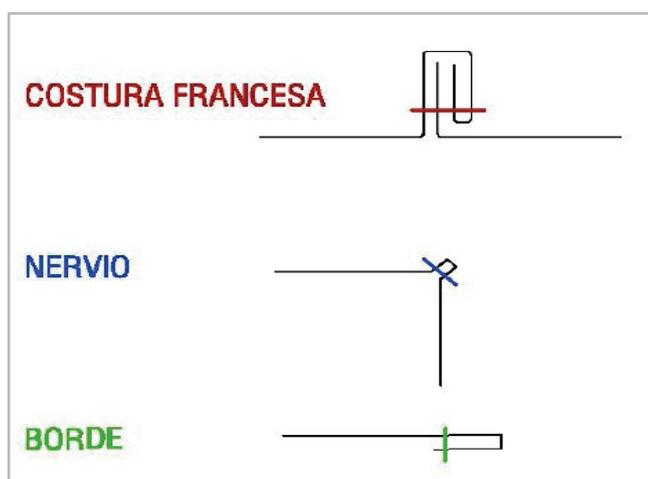


Figura 1. - Tipos de costuras empleadas en fundas para protección de piezas tridimensionales. Fuente: Alejandro Cárdenas

disminuye el riesgo de dañar la fina capa de aluminio. A la hora de enrollar la funda, es conveniente haber diseñado el patrón de forma que las líneas de costura sean paralelas al sentido de enrollado, y a ser posible evitar las costuras perpendiculares. Las costuras en los extremos o en los vértices ayudan a dar consistencia y una geometría controlada a la funda.

- Velcro® ignífugo: en ocasiones el diseño del patrón puede requerir de una abertura para facilitar su colocación, abertura que ha de cerrarse de una manera rápida y sencilla una vez esté colocada la funda en su sitio. Una opción que cumple con este sistema de cierre es el denominado de "gancho y bucle" o más conocido como velcro®. Además, al igual que en el caso anterior, entre sus propiedades debe estar el carácter ignífugo.

Este velcro® ignífugo es utilizado habitualmente en vestuario de bomberos o en ciertos elementos de aeronáutica. Tanto la parte de "gancho" como la de "bucle" pueden ser de poliamida o poliéster, pero pueden variar sus características según el material y es interesante tenerlo en cuenta. Por ejemplo, el ciclo de vida, fuerza de pelaje o cizalladura, es mayor en el caso de la poliamida; el uso de uno u otro deberá valorarse según las necesidades específicas. Ambos materiales admiten la aplicación del tratamiento de resistencia al fuego (F.R.T) (Velcro® Brand). Además, el material base de poliamida se puede combinar con fibras de NOMEX® (DuPont™ NOMEX®), que ya ofrecen una protección frente a las llamas y el calor. Este tipo de fibra de meta-aramida es utilizada, entre otros, para prendas EPI. En cuanto al sistema de cierre de pelaje y cizallamiento el más adecuado será en HOOK (Velcro® Brand). Es muy conveniente sobredimensionar el tamaño del Velcro® para facilitar la maniobra de sellado durante la ejecución del procedimiento operativo de protección *in situ*.

- Imanes: el imán va a ser también una buena solución de cierre siempre y cuando dispongamos de una superficie metálica de contacto constitutiva de soportes, vitrinas, marcos o paramentos contiguos al bien cultural. La oferta de imanes que ofrece el mercado es amplia tanto en formas, como en tipos de materiales magnéticos y propiedades: imanes de ferrita, alnico, samario cobalto, neodimio (Jimenez-Villacorta, Lewis 2014: 167; Cullity, Graham 2009). Algo interesante a tener en cuenta para seleccionar el tipo de imán que más podría convenir, además de su fuerza magnética, es conocer su resistencia a la temperatura antes de empezar a desmagnetizarse -temperatura o punto de Curie-, pudiendo en este caso perder esa necesidad de cierre entre la funda y el material metálico de contacto. Los imanes de alnico, por ejemplo, serán los más resistentes a las altas temperaturas, en torno a los 860°C (Jimenez-Villacorta, Lewis 2014: 178), mientras que los imanes de neodimio tendrán una temperatura de Curie en torno a 300°C, siendo la más baja (Cullity,

Graham 2009: 491). Los de ferrita estarán en el rango de 300°C a 600°C (Cullity, Graham 2009: 471) y los de samario cobalto se encuentran en el rango medio de temperatura de Curie de los mencionados, pero quizás por su fragilidad y alto precio puedan ser menos recomendables.

- Otros: en el caso de protección de objetos escultóricos exentos, se puede dar el caso de que la funda multirriesgo llegue hasta el suelo y queramos incorporar algún tipo de material embutido en el perímetro inferior que, por su peso, al posarse por gravedad, permita un mejor cierre de la funda contra el pavimento o contra la parte superior de una peana, aumentando así la protección. Podríamos pensar en algún tipo de arido, tiras o rodamientos de metal, pero también debemos tener en cuenta el aumento de peso que esto va a suponer en la funda y su repercusión en la manipulación durante el momento de la colocación.

Cualquier material embutido debería permitir el plegado, ocupar el mínimo volumen posible y evitar dañar las capas del tejido. [Figura 2]



Figura 2.- Funda del Tríptico de la Adoración de los Magos de El Bosco (Museo Nacional del Prado), mostrando su estrato interior de PTFE, su remate superior circular adaptado al objeto, su tejido trasero enrollado, las bandas laterales de velcro® negro concebidas más anchas de lo necesario con la intención de facilitar el sellado y los imanes embutidos en el borde inferior preparados para fijarse al soporte metálico del tríptico. Foto: Marta Hernández.

Resultados y discusión

Los resultados que se exponen, a falta de otras pruebas de comportamiento del material que no pudieron ser realizadas, están basados en el estudio y análisis de las propiedades indicadas en las fichas técnicas de las distintas membranas, y en las necesidades y particularidades de protección establecidas para algunos de las obras del museo. Dicho esto, se concluye que las cuatro membranas ignifugas estudiadas, con la suma de sus estratos, presentan propiedades de protección multirriesgo: resistencia a la llama, escudo térmico, barrera radiante, resistencia al agua y al aceite y resistencia al humo; siendo la membrana TIPO D [tabla 4] en la que se indica una mayor resistencia a la temperatura al estar constituida por dos capas que funcionan como barrera térmica -Tecnofire® (TFP)+ Tejido de sílice-. Sin embargo, esto hace que sea en su conjunto la membrana de mayor peso, aspecto importante que puede repercutir en la manipulación y número de operarios necesarios en el caso de fundas individualizadas. Otro aspecto a considerar en esta membrana es la propiedad intumesciente de su capa intermedia 2, material Tecnofire®, ya que al ser un tejido con esta característica puede aumentar de tamaño hasta 35 veces al exponerse a temperaturas superiores a 190-200°C (TFP, 2012). Si se elige para una protección individualizada con funda, en el diseño se deberá prever este posible engrosamiento para evitar presiones o el contacto con la obra. (TFP. Fire Protection. Tecnofire®)

Se debe entender este tipo de funda como un refugio que protege la obra durante el periodo de tiempo que una llama o fuente de calor emite su radiación por la combustión de algún elemento inflamable en presencia de oxígeno. En un museo encontramos pocos elementos combustibles cercanos a las obras, por lo que en la elección del material habría que priorizar no tanto la resistencia a altas temperaturas sino la capacidad de aislamiento y la estabilidad de las capas para permanecer los minutos necesarios frente a una combustión. En el caso del Tecstar® ofrece esa estabilidad ya que frente a altas temperaturas no quema, no se funde, no gotea, sino que carboniza. La fibra Tecstar® soporta los agentes oxidantes, los ácidos y las bases en elevadas concentraciones sin deteriorar la fibra, manteniendo intacta su tenacidad y resistencia mecánica.

Más aspectos que hay que considerar es la posibilidad de que alguno de los materiales que conforman las membranas pudieran desprender partículas sólidas que, además de ensuciar las obras, tuvieran un efecto abrasivo. En referencia a esto debemos señalar materiales precarbonizados como el estrato de Preox® en la membrana TIPO A y C [Tablas 1 y 3], y también la capa intermedia 2, Tecnofire®, de la membrana TIPO D [Tabla 4], cuyas partículas de grafito pueden tener el mismo efecto.

La diferencia de emisión de humo en combustión entre Tecstar® (TEXfire. Technical Fabrics. Tecstar 180) presente

en la membrana TIPO B [Tabla 2], y Preox® (TEXfire. Technical Fabrics. Preox 200), de la membrana TIPO A y C [Tablas 1 y 3], siendo menor en este último, podría ser otro aspecto a tener en cuenta, aunque si llegamos al extremo de que se produzca esta combustión quizás este sería el menor de los problemas.

Otra cuestión que hay que apuntar hace referencia al material utilizado como barrera para líquidos. En la membrana TIPO C [Tabla 3], aunque se menciona su característica de hidrófuga, no se identifica este material y en la membrana TIPO D [Tabla 4], se propone una lámina de poliuretano (material que sí sufre una degradación y envejecimiento con el tiempo haciéndole perder parte de sus propiedades, lo que impondría fecha de caducidad, no sabemos si estimada, a membranas que incorporaran este polímero. Además, puede liberar isocianatos, monóxido de carbono y otras sustancias tóxicas en caso de incendio). Debemos recordar que esta última capa será la capa interior y, por lo tanto, la que esté en contacto directo con la obra. Atendiendo a esta consideración hay que cerciorarse de la composición de este material y valorar si es apto para la conservación de la obra o si, por el contrario, puede suponer un riesgo. La película del fluoropolímero propuesto como capa interior en la membrana TIPO A [Tabla 1] y en la membrana TIPO B [Tabla 2], parece que podría ser una solución óptima al ser un material químicamente inerte, resistente además a la temperatura, con propiedades antiadherentes y de baja fricción. Esta película puede presentar diferentes rangos de fusión, que también se podrían valorar para su elección, según si es un film de Teflón™ FEP (etileno propileno fluorado) o Teflón™ PFA (perfluoroalcoxi alcano, con propiedades similares al politetrafluoroetileno) (Teflón™ Brand 2017, 2021).

Respecto a esta última capa interior, señalar que la membrana TIPO C es la única que incluye otro estrato de aluminio que parece puede crear un bloque de protección, a modo de escudo radiante, más potente, aunque la necesidad o no de duplicar la capa de aluminio en este último estrato es algo que no se ha justificado convenientemente. En principio, la capa interior de aluminio no tendría sentido ya que su función es la de hacer de reflector del calor, además por su débil estabilidad mecánica y debido a la manipulación podría desprenderse hacia el interior alguna partícula del film afectando a la obra.

De igual modo también tenemos que prestar atención al grosor/espesor de las membranas. Aunque inicialmente podemos pensar que cuanto más fina mejor, y así puede ser para ocupar o necesitar un menor espacio de almacenamiento, en ocasiones la "rigidez" que puede aportar este mayor grosor puede tener también su utilidad si queremos evitar, por ejemplo, cualquier contacto de la funda con la pieza. Sería el caso de la membrana TIPO C [Tabla 3]. El grosor a la vez va a condicionar el diseño del patrón y la confección, siendo más compleja cuanto más gruesa sea la membrana.

El equilibrio entre aislamiento térmico, resistencia mecánica, resistencia al calor radiante y frente a la llama directa, baja emisión de humos, manipulación sencilla de la funda, estabilidad dimensional y química de las capas que evite desprendimientos, impermeabilidad y suavidad de la capa interior, son los principales determinantes para la elección de la membrana.

Conclusión

Tras este estudio centrado en los materiales de protección multirriesgo o "membranas ignífugas", como alternativa de protección *in situ* en la salvaguarda de colecciones ante emergencias, la primera conclusión que podríamos obtener es que son materiales diseñados, en principio, sin tener en cuenta los requisitos de conservación de los bienes culturales, por lo que será fundamental conocer muy bien sus características y propiedades para saber cuáles se van a adaptar mejor a nuestras necesidades de protección y de conservación. Las particularidades materiales y formales de cada obra pueden requerir de soluciones diferentes y materiales diferentes de protección, también las características del inmueble y los resultados de nuestro análisis de riesgos pueden condicionar esta elección. No obstante, si podemos señalar algunas premisas que deberían tenerse en cuenta, estas son: que el material sea lo más ligero posible (sobre todo si pensamos en la necesidad de varios metros cuadrados para la protección de una sola pieza), resistente al fuego (ignífugo), aislante térmico, barrera ante humo, gases y agua (hidrófugo), además, de presentar resistencia mecánica frente a roturas o desgarros en el momento de la manipulación; igualmente, no deberá ocasionar interacción física, por reblandecimiento y adhesión del estrato interior a la pieza, ni interacción química por la emisión de gases con el bien que tiene que proteger. El coste de estas membranas puede ser alto, más aún si sumamos el diseño y elaboración de una funda individualizada, por esta razón los materiales de los diferentes estratos no deberían tener fecha de caducidad. Será también fundamental disponer de la ficha técnica de cada material en la que se especifique la composición química de sus distintos estratos.

Otra de las cuestiones que no deberemos olvidar es cómo vamos a conservar estos materiales y dónde. El volumen que pueden llegar a ocupar es importante y puede requerir de un sitio amplio donde guardarlos. Lo ideal es que el espacio de almacenamiento necesario sea mínimo, almacenarlos enrollados si puede ser mejor que doblados y, si no, con un sistema de almacenaje compacto y con posibilidad de apilar. El lugar para su ubicación deberá ser lo más próximo a los bienes que tienen que proteger. Por supuesto, sí además se trata de fundas individualizadas deberán ir perfectamente identificadas y asociadas a la pieza correspondiente, incluyendo en caso necesario una ficha con indicaciones de colocación, personal necesario y tiempo estimado para completar todo el procedimiento de protección *in situ*.

Referencias

CARMENA, L., ESCUDERO, C., DELGADO, A. *et al.* (2017). *Guía de prevención de incendios para edificios de interés patrimonial en Castilla y León*. Junta de Castilla y León, UGRECYL y Fundación Fuego. Disponible en: <https://patrimoniocultural.jcyl.es/web/jcyl/PatrimonioCultural/es/Plantilla100Detalle/1284421346260/Publicacion/1284882390560/Redaccion>. [consulta: 02/05/2022].

CULLITY, B.D. & GRAHAM C.D. (2009). *Introduction to magnetic materials*. (2ª Ed.) New Jersey: Wiley-IEEE Press.

CULUBRET, E. *et al.* (2008). *Guía para un Plan de Protección de Colecciones ante Emergencias*. Madrid: Ministerio de Cultura.

DuPont™. Kevlar®. Disponible en: <https://www.dupont.es/kevlar/what-is-kevlar.html>. [consulta: 01/05/2022].

DuPont™. NOMEX®. Disponible en: <https://www.dupont.es/brands/nomex.html>. [consulta: 02/06/2022].

HEKMAN, W., HARRAS, H.J., DREN, D. *et al.* (2010). *Manual de procedimientos de emergencia*. Países Bajos: ICOM, ICMS.

HERNÁNDEZ AZCUTIA, M. (2021). "Sistemas de protección *in situ* en proyectos museográficos integrales: un paraguas para el Bosco". En *La gestión del Museo del Prado desde su experiencia más reciente*, Chinchilla, M. (coord.), Madrid: Museo Nacional del Prado, Fundación Profesor Uría, 152-160.

HERNÁNDEZ AZCUTIA, M. (2019). "¿Arde el Prado? Doscientos años de conservación preventiva en el museo" En *Boletín de la ANABAD*, Tomo 69, (4): 156-181

ICSC (International Chemical Safety Cards). Polietileno (2004). Disponible en: https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=1488&p_edit=&p_version=2&p_lang=es [consulta: 01/05/2022].

JIMENEZ-VILLACORTA, F. & LEWIS, L.H. (2014). "Advanced Permanent Magnetic Materials". En *Nanomagnetism*. OCP Publishing Group. USGS Mineral resources program, 160-189.

SANZ DOMÍNGUEZ, E. y HERNÁNDEZ AZCUTIA, M. (2021) "Consejos básicos para sobrevivir a la elaboración de un Plan de Protección de Colecciones ante Emergencias: la experiencia práctica del Museo Nacional del Prado", *Ge-conservación*, 19(1): 339-349. <https://doi.org/10.37558/gec.v19i1.1004>.

Tecstar® fibra ignífuga. Disponible en: <https://www.adigrupo.com/productos-quimicos/textil/tecstar-fibra-ignifuga/> [consulta: 05/07/2022].

Teflón™brand. (2017) Teflón™ FEP. Fluoropolymer Film. Disponible en: <https://www.teflon.com/es/-/media/files/teflon/teflon-fep-film-properties-bulletin.pdf?rev=bdc9d9fadd754f8ebbd60d08d5afc8a9> [consulta: 01/05/2022].

Teflón™brand. (2021). Teflón™ PFA. Fluoropolymer Film. Disponible en: <https://www.teflon.com/es/-/media/files/teflon/teflon-pfa>

[properties-bulletin.pdf?rev=264edd548b0a4af38dc04313da27efb0](#) [consulta: 01/05/2022].

TEXfire. Technical Fabrics. ECLA200 AL. Disponible en: <https://texfire.net/es/tejidos-ignifugos/tejido-aluminizado-ignifugo/tejido-aluminizado-de-fibra-de-vidrio-egla-200-al.html>. [consulta: 01/05/2022].

TEXfire. Technical Fabrics. Tecstar 180. Disponible en: <https://texfire.net/es/tejidos-ignifugos/tejido-ignifugo-no-tejido/no-tejido-ignifugo-con-baja-emision-de-humos-tecstar-180.html>. [consulta: 01/05/2022].

TEXfire. Technical Fabrics. Preox 200. Disponible en: <https://texfire.net/es/tejidos-ignifugos/tejido-ignifugo-no-tejido/no-tejido-ignifugo-barrera-contr-a-el-fuego-nt-preox-200.html>. [consulta: 01/05/2022].

TFP. Fire Protection. Tecnofire. Disponible en: <https://www.tfpglobal.com/products/composite-materials/composite-fire-protection>. [consulta: 01/05/2022].

TFP. (2012). *Material Safety Data Sheet. TFP Tecnofire® 2000*. Disponible en: <http://www.lorientna.com/usercontent/doc/941/msds%20technofire.pdf> [consulta: 01/05/2022].

Velcro® Brand. Disponible en: https://www.velcro.es/wp-content/sc_media/Files/TargetPDFs/spain/hook-loop-es.pdf. [consulta: 01/05/2022].

Autor/es



Estrella Sanz Domínguez

essanz@ucm.es

Docente. Facultad de Bellas Artes (UCM)

<https://orcid.org/0000-0002-7678-5321>

Licenciada en Bellas Artes en la especialidad de Conservación-Restauración de Patrimonio Cultural por la Universidad Complutense de Madrid (1996); Magíster en Conservación Preventiva de Obras de Arte y Bienes Culturales, UCM (2006); y Doctora en Bellas Artes por la UCM (2015), en el programa de Conservación y Restauración de Patrimonio Cultural. En el ámbito de la formación investigadora ha obtenido diversas becas de conservación y restauración en el Instituto de Patrimonio Cultural de España (IPCE, 2004-2006), y de Museología en el Museo Nacional del Prado (2012). Profesionalmente, ha trabajado en materia de conservación-restauración para diferentes instituciones públicas: Museo del Ejército, IPCE, Museo Naval, Museo Nacional de Artes Decorativas, Museo del Traje o Ministerio de Cultura y Deporte, para este último con una asistencia técnica en el proyecto para la definición de la conservación y sistemas expositivos del nuevo Museo del Ejército en el Alcázar de Toledo. Asimismo, ha realizado varios proyectos como técnico especialista en Conservación Preventiva y Protección de Colecciones ante Emergencias para el Museo Nacional del Prado y para el Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación dentro de su Área de Bienes Culturales. Además, ha colaborado con empresas privadas

en diferentes proyectos de conservación y restauración por todo el territorio nacional. Actualmente es docente en el Grado de Conservación y Restauración de Patrimonio Cultural y en el Máster de Conservación del Patrimonio Cultural de la Facultad de Bellas Artes (UCM). Es miembro del Grupo de Investigación en Gestión de Riesgos y Emergencias en Patrimonio Cultural (GREPAC), de la Universidad Complutense de Madrid.



Marta Hernández Azcutia

secretaria.sgjpc@cultura.gob.es

Subdirectora General del Instituto del Patrimonio Cultural de España

Marta Hernández Azcutia, miembro del Cuerpo Facultativo Superior de Conservadores de Museos desde 1998, se licenció en Antropología Americana por la Universidad Complutense de Madrid y trabajó inicialmente como arqueóloga en distintos yacimientos españoles y franceses. Posteriormente, obtuvo la titulación oficial en conservación y restauración de bienes arqueológicos por la ESCRBC de Madrid. La instalación del Laboratorio de Restauración y la implantación de la política de conservación preventiva en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología fueron hitos en su primer trabajo museístico de envergadura. Disfrutó de una breve estancia en el Ministerio de Cultura centrada en la planificación y ejecución de proyectos museísticos y, como funcionaria de carrera, ocupó la Jefatura del Departamento de Conservación Preventiva del Museo del Ejército de Madrid, planificando, coordinando y dirigiendo entre los años 1999 y 2003 las primeras fases del traslado de las colecciones al Alcázar de Toledo. Ha desempeñado durante dos décadas el puesto de Jefa del Servicio de Colección Permanente del Museo Nacional del Prado llevando el control de la conservación preventiva y la presentación museográfica de los bienes culturales expuestos. En su último trabajo de trascendencia, ha definido los aspectos técnicos que han regido la contratación del nuevo montaje del Tesoro del Delfín y ha formado parte del equipo de seguimiento del proyecto. Entre otras tareas, ha coordinado la redacción e implantación del Plan de Protección de Colecciones ante Emergencias en el Prado. En su cargo actual como Subdirectora General del IPCE, es la máxima responsable de los Planes Nacionales de Patrimonio Cultural, entre ellos, del de Emergencias y Gestión de Riesgos.

de diseño en la fundación CIM de la UPC, y seguidamente cursó un Máster en Project Management Industrial y de Servicios en el Tech Talent Center de la UPC. En 2010 dividió su actividad profesional continuando con la dirección de obras, mientras inicia su colaboración con Vallfirest Tecnologías Forestales, empresa enfocada al desarrollo de productos para los incendios forestales. En 2014 pasa a una dedicación completa en Vallfirest Tecnologías Forestales. Durante estos años ha estado implicado en todas las áreas del negocio, llevando a cabo la implantación de la ISO9001, implantación de un ERP, definición de la imagen de la empresa, y en especial en el desarrollo de productos, su industrialización y el aseguramiento de la calidad. En 2018 cursó el programa MBA de Thepowermba y pasó a formar parte del comité de dirección de la empresa. Como responsable de la oficina técnica ha desarrollado varias tipologías de productos, equipos de protección individual como cascos, gafas, máscaras de respiración, ropa, botas, refugios ignífugos individuales y colectivos para casos de atrapamiento. Mochilas y herramientas manuales, motobombas, una máquina forestal y varios tipos de equipos de extinción para vehículos. Actualmente, entre otros proyectos, está a cargo del desarrollo de una gama de módulos tácticos para camiones forestales en colaboración con MB motors.

Artículo enviado 23/10/2022

Artículo aceptado el 24/05/2023



<https://doi.org/10.37558/gec.v23i1.1163>



Alejandro Cárdenas Galeano

a.cardenas@vallfirest.com – a.cardenas@gmail.com

Director de Oficina Técnica y Desarrollo en Vallfirest Tecnologías Forestales SL

Socio ejecutivo en Vallfirest Tecnologías forestales desde 2010, se graduó en Arquitectura Superior en 2007 en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. De 2001 a 2010 trabajó como arquitecto, se inició como maquetista hasta llegar a la coordinación y redacción de proyectos de edificación pública, escuelas, teatros y hospitales. En 2008 inició su formación en el área de ingeniería y desarrollo de producto, formándose primero en herramientas