



ABRIR PARTE II

6. LOS RESTAURADORES: PIONEROS EN FABRICAR SOPORTES DE BAJO PESO Y ELEVADA ESTABILIDAD DENTRO DEL CAMPO ARTISTICO

"Y si a mí, que soy inventor, (los hombres fatuos) desprecian, cuánto más no habrán de ser vituperados ellos, que no son inventores, sino baladrones y pregoneros de obras que no les pertenecen".

90

Leonardo da Vinci

Los restauradores han sido los primeros en idear y utilizar soportes de bajo peso y elevada estabilidad dentro del campo artístico. Estos soportes se han venido usando como refuerzo en los procesos de forración, y sobre todo, como base en los traslados o semitraslados de pinturas. Por ejemplo, cuando es necesario arrancar una pintura mural, ésta, una vez tratada, no se recoloca sobre un nuevo muro fabricado con un material similar al original (ladrillo, piedra, etc.), sino que lo habitual es reforzar su reverso con un soporte liviano, compacto y resistente.

Inicialmente, los soportes empleados eran toscos y muy pesados, lo que hacía que su manipulación fuera costosa. Poco a poco, los restauradores perfeccionaron el sistema

90

Leonardo da Vinci, op.cit., Proemio, (ed. Angel González), 1982, p.95.

hasta lograr soportes verdaderamente sorprendentes por su ligereza y elevada estabilidad.

Antiguamente, las pinturas trasladadas se adherían a un soporte que fuese simplemente idóneo para sostenerlas. Para ello, era suficiente trasladar la película pictórica a una nueva tela fijada a un telar, generalmente de madera. Si en cambio, su espesor era mayor, se trasladaba a un soporte rígido constituido por una red metálica impregnada por una argamasa de yeso. Cuando estos soportes comenzaron a mostrar sus límites y su incidencia negativa en la propia conservación de la obra, se inició una difusa experimentación técnica con los materiales disponibles (productos sintéticos fundamentalmente), para tratar de encontrar un soporte óptimo.

En este capítulo no pretendemos realizar una recopilación exhaustiva de todos los soportes empleados en el traslado de pinturas, sino únicamente revisar algunos ejemplos significativos a nivel mundial. Para ello, hemos trabajado fundamentalmente con la información internacional recogida en el ICCROM y en "The Paul Getty Conservation Institute" (vid., el apartado: "Bibliotecas consultadas", al final del Tomo II de la memoria).

6.1. SOPORTES TRADICIONALES DE TELA O DE RED METALICA
TENSADAS SOBRE UN BASTIDOR

6.1.1 Soportes de tela

El método de refuerzo más antiguo y comúnmente usado en el traslado de pinturas murales, ha sido el adherir al estrato pictórico original una tela tensada en un bastidor (generalmente de madera) por medio de caseinato cálcico o pasta de reentelar (fig.7).

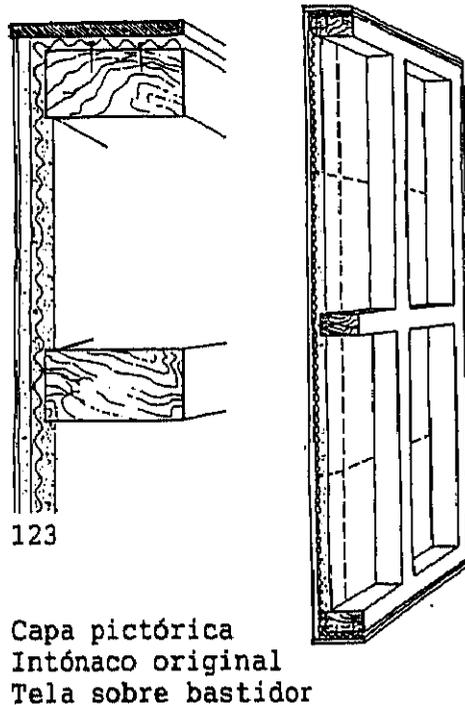


Fig.7. Soporte de tela sobre bastidor.

Una vez que esta tela se pegaba al reverso de la pintura, con el adhesivo correspondiente, todo este "backing" o refuerzo, se tensaba en un bastidor de madera o metal.

Este es el mejor soporte si nos atenemos a las palabras de Cesare Brandi: "No hay duda que la técnica más simple y más segura para el transporte es aquella sobre tela, tanto para las tablas como para los frescos"⁹¹ .

La mayor ventaja de este método era que permitía hacer todo tipo de mejoras posteriores, dado que la pintura provista con su lienzo de protección podía ser aplicada a otro soporte mejor en cualquier momento sin ser dañada.

Sin embargo, este sistema también tenía los inconvenientes propios de los soportes fabricados con materiales orgánicos (tela, madera y sus derivados), que son siempre susceptibles de sufrir ataques biológicos, y tensiones o curvaturas provocadas por los cambios de humedad y temperatura.

En España existen numerosas obras que se han trasladado a este tipo de soporte. Por ejemplo, gran parte de las pinturas murales románicas que hoy se encuentran en importantes museos: Museo Episcopal de Vic, Museo Diocesano de Jaca y Museo Nacional de Arte de Cataluña, han sido transferidas a soportes de tela sobre bastidor.

91

Orig.: "Non vi è dubbio che la tecnica piú sicura del trasporto sia quella su tela, tanto per le tavole che per gli affreschi", C.Brandi, Sui problemi dei supporti, Boll. Istituto Centrale del Restauro, n°1, Rome, 1950, p.13.

En el Museo del Prado también podemos encontrar obras trasladadas a este tipo de soporte. Tal es el caso de las pinturas de Santa Cruz de Maderuelo (fot.81), San Baudelio de Berlanga, y de las conocidas "Pinturas Negras" de Goya (trasladadas en 1874 por el restaurador Salvador Martínez Cubells), que fueron pegadas (con cola fuerte) sobre un lienzo de lino (torsión Z; densidad entre 12 y 15 hilos por urdimbre y 13 - 16 pasadas por cm. de trama) reforzado por un bastidor (fot.82). Actualmente y según los datos aportados por los conservadores, puede apreciarse una mala adhesión de las pinturas al soporte, ya que éste es inadecuado para soportar el peso de las mismas ⁹².

92

Amplia información sobre el tema en el artículo de C. Garrido: "Algunas consideraciones sobre la técnica de las Pinturas Negras de Goya", Boletín del Museo del Prado, Tomo V, nº13, Enero-Abril de 1984, M^o de Cultura y Dirección General de Bellas Artes y Archivos, pp.4-41.



Fot.81. Detalle de las pinturas murales de la ermita de la Santa Cruz de Maderuelo (Segovia) trasladadas a lienzo en 1947 e instaladas en el Museo del Prado.

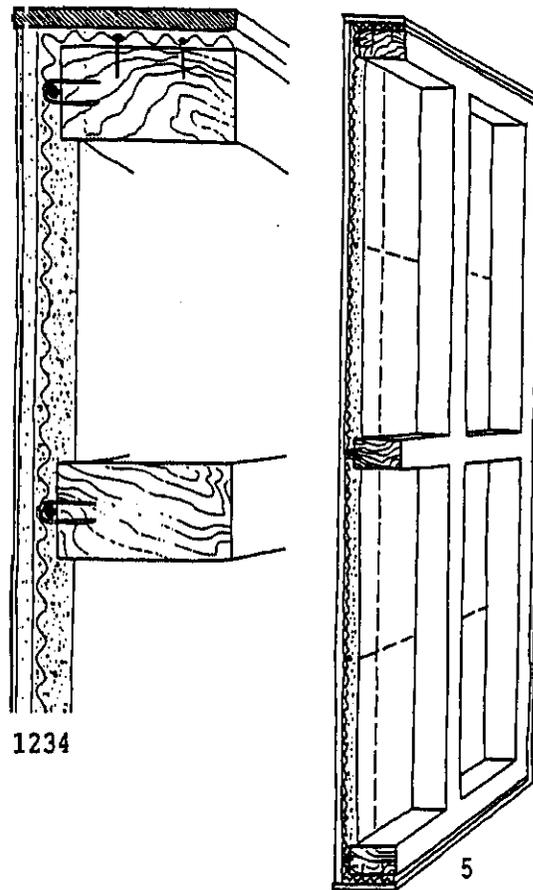


FRANCISCO DE GOYA: "Duelo a Garrotazos" (Museo del Prado).

Fot.82. Las "Pinturas Negras" de Goya fueron trasladadas en 1874 por Don Salvador Martínez Cubells a soportes de lino sobre bastidor.

6.1.2. Soportes de red metálica

Cuando la pintura original era de grandes dimensiones y elevado peso, se colocaba sobre una red metálica clavada sobre un telar (de madera o metal) rellena de una argamasa (habitualmente de yeso; fig.8).



1. Capa pictórica
2. Intónaco original
3. Red metálica tratada contra la corrosión
4. Capa de intónaco con red metálica fijada al marco
5. Alambres de refuerzo

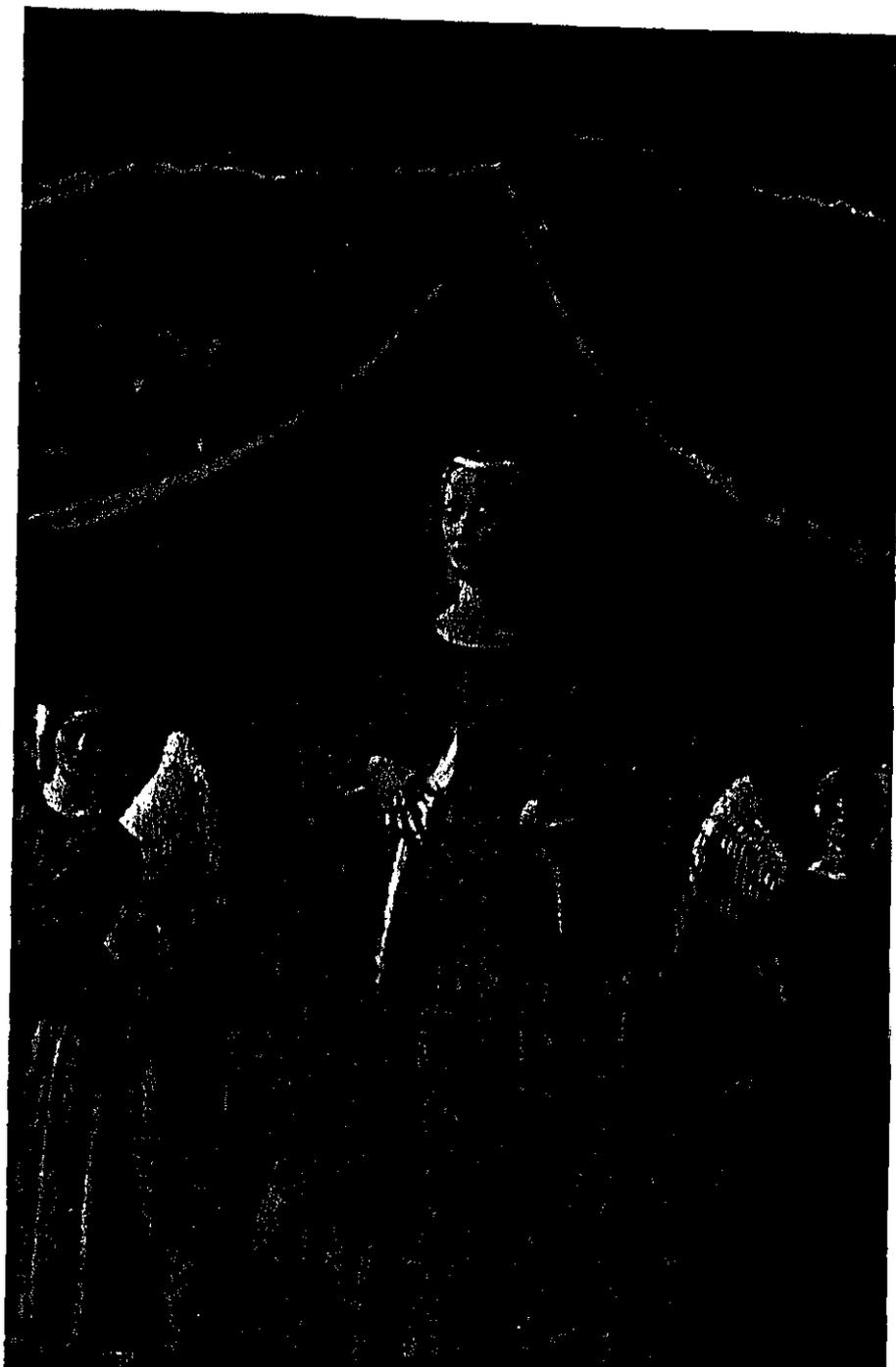
Fig.8. Soporte de red metálica sobre bastidor.

Este tipo de soporte (creado principalmente para el "stacco" o para "stacco a masello" de las pinturas murales con un intónaco relativamente grueso), está inspirado en la técnica de mampostería, y es el más simple y antiguo.

Según nuestros datos, este método fue empleado por primera vez en 1911 por Domenico Fiscali, en la célebre "Madonna de Monterchi" de Piero de la Francesca⁹³ (fot.83). En Florencia son numerosas las obras que han sufrido este tipo de intervención. Casi todas tienen en común que la presencia de esta red metálica ha incidido negativamente en la conservación de las mismas.

93

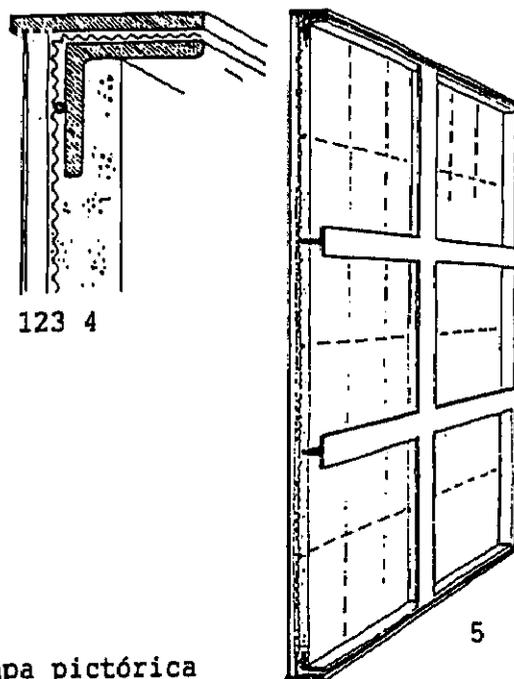
Sobre el tema vid.: P. Mariotti, Supporti impiegati per il distacco e strappo delle pitture murali, in sostituzione dell'originale, dalle origini ad oggi. Ricerca técnica sui materiali e sui metodi d'impiego. Letture di comportamento, Opificio delle Pietre Dure, Firenze, Nov. 1983.



PIERO DELLA FRANCESCA
"Madonna de Monterchi"
Cappella del Cimitero, Monterchi (Arezzo)

Fot.83. Ejemplo de obra trasladada a un soporte de red metálica clavada sobre un bastidor.

En 1950-55 se usó también este tipo de soporte en el arranque de las pinturas murales de la Villa de Livia de Poggiardo, de Santa María Antigua y de San Clemente en Roma⁹⁴. En estos casos, las pinturas se montaron sobre travesaños de hierro en forma de "L" o "T", sobre los que se tensó la red de alambre (previamente tratada contra la oxidación). La malla se cubrió posteriormente con una gruesa capa de argamasa comprimida de aproximadamente 1cm.(fig.9).



1. Capa pictórica
2. Intónaco original
3. Red metálica tratada contra la corrosión
4. Nueva capa de intónaco en la que la red metálica fijada al marco está bañada en argamasa
5. Alambre de refuerzo

Fig.9. Soporte de red metálica fijada a un bastidor de hierro en forma de "L" o "T".

94

Vid., Mora y Philippot, The Conservation of Wall Paintings, London, 1984, pp.267-269.



"Madonna con Bambino" (S.VIII)
Basílica inferior de San Clemente (Roma)

Fot.84. Ejemplo de obra trasladada a un soporte de red metálica fijada a un bastidor de hierro en forma de "L" o "T".

Un ejemplo combinado de estas dos técnicas es el soporte empleado en el traslado de la "Luneta del claustro de los Aranci" en Florencia. La luneta fue transferida a tela y después se adhirió (por medio de argamasa de yeso), a una red metálica fijada a un telar de hierro. La presencia de la red metálica ha incidido negativamente en la conservación de la obra. Esta fue tratada en su día con un barniz antioxidante de color rojo, el cual ha trepado a la superficie dejando unas huellas rojizas en la pintura.

Aparte de los posibles efectos degradantes producidos por la red metálica, los soportes con argamasa de yeso presentan serios inconvenientes ya que absorben humedad y se reblandecen con el tiempo. Esto produce una pérdida de cohesión entre el intónaco y la capa de pintura, y además se puede dar una migración del sulfato cálcico a la superficie.

Posteriormente, se pensó que este método podía mejorarse sustituyendo la argamasa de yeso por cemento, e incluso más recientemente por láminas de amianto.



6.2. SOPORTES RIGIDOS DE CONGLOMERADO DE CEMENTO: "ETERNIT"

En los años 40, se extiende el uso de placas de cemento como base de las obras trasladadas. El ejemplo más controvertido de esta nueva técnica se realizó en Italia en el año 1949, con el traslado de los frescos del "Triunfo de la Muerte" del Camposanto de Pisa (fots.85-90).

En este caso, se emplearon planchas de fibrocemento "Eternit" (mezcla de 70kg. de fibra de amianto con 350/400 kg. de cemento Portland -caliza, arcilla y agua-) unidas con un bastidor de madera por el reverso (fig.10).

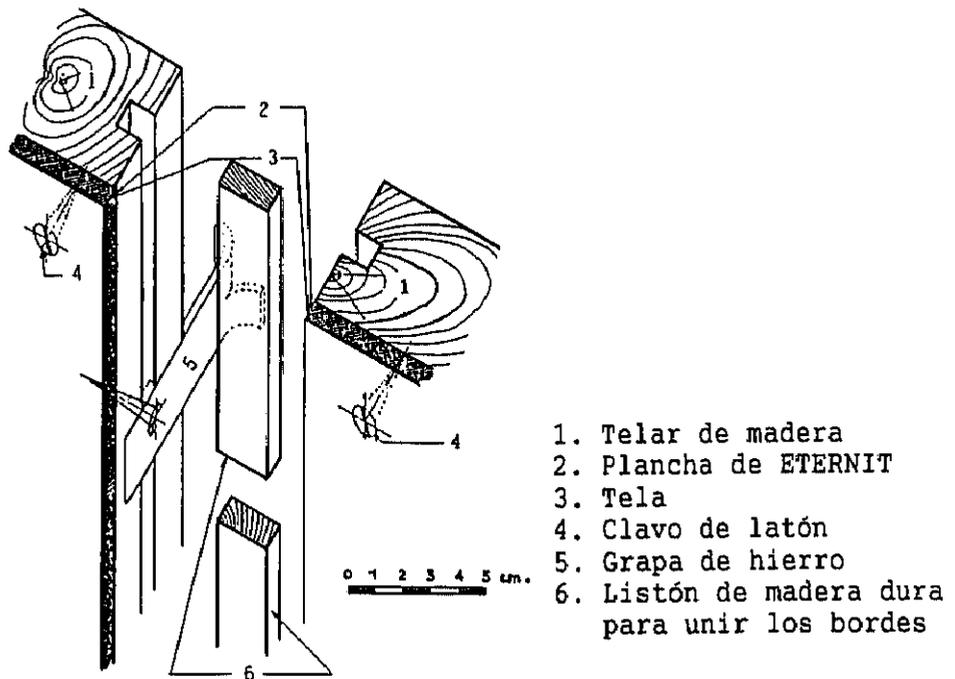


Fig.10. Soporte de conglomerado de cemento "Eternit" empleado en la restauración del "Triunfo de la Muerte" (Pisa).

95

Amplia información en: P. Sanpaolesi, "Il Restauro del Trionfo della Morte nel Camposanto de Pisa", Boll. d'Arte, 1950, pp.341-349.

Pese a lo que afirman sus artífices, esta restauración fue totalmente desafortunada, no únicamente por la elección del Eternit, sino también porque se alteró seriamente la estética original al seccionar los frescos en 14 piezas, para que se adaptasen a las dimensiones comerciales de las planchas de Eternit (2,50 x 1,20m.)

En el año 1950, Cesare Brandi advierte su preocupación por el uso y difusión de masillas de cemento en el traslado de pinturas. Del Eternit afirma: "El empleo de este material es todavía más dañino que el cemento"⁹⁶. Salvatore Liberti corrobora esta opinión, aportando datos sobre la mala calidad de los cementos en los que pueden producirse eflorescencias por efecto de la humedad⁹⁷.

Este método, hoy en desuso, tiene además el inconveniente de que las planchas de cemento son extremadamente pesadas y poco manejables en grandes superficies.

96

Orig.: "L'impiego di questo materiale è ancora più dannoso del cemento. In primo luogo vi sono i danni della eccessiva frammentazione delle superfici sulle lastre eternit, che non possono saldarsi fra loro e che d'altronde se sono rigide non sono affatto indeformabili come si pretenderebbe", C.Brandi, op.cit., 1950, pp.18-19.

97

Amplia información en: S. Liberti, "Nota sull'Eternit", Boll. Istituto Centrale del Restauro, nº5-6, Rome, 1951, pp.17-20.

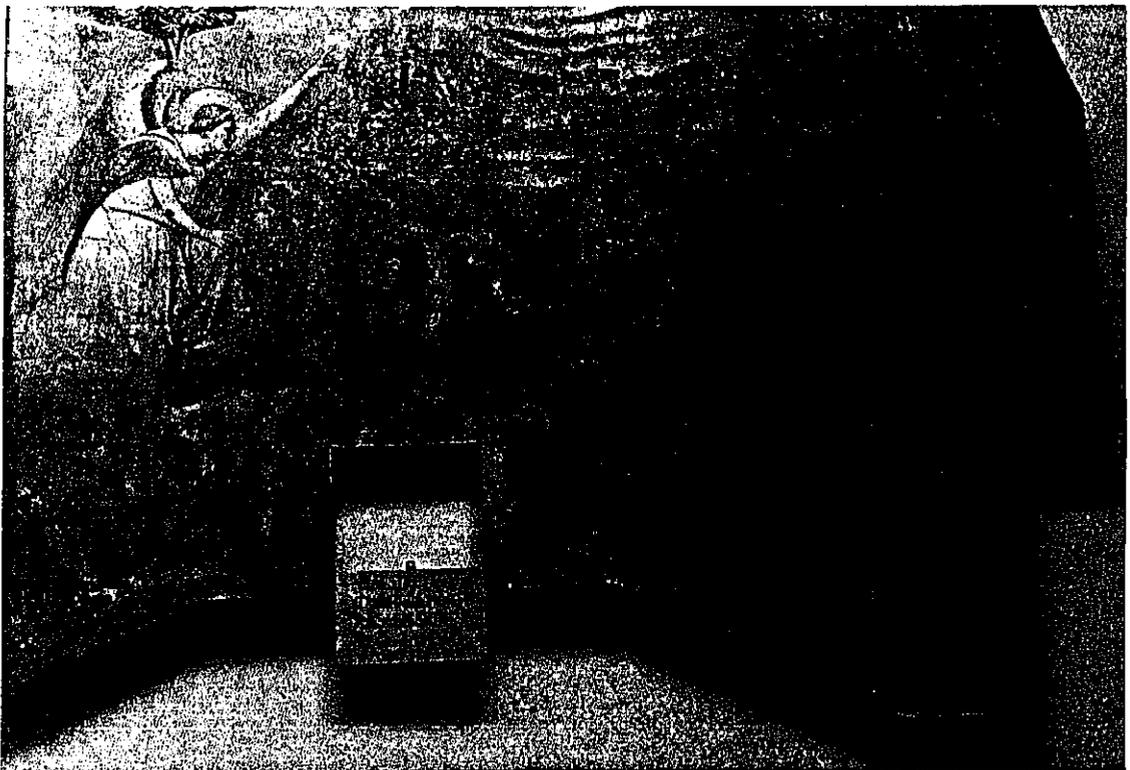


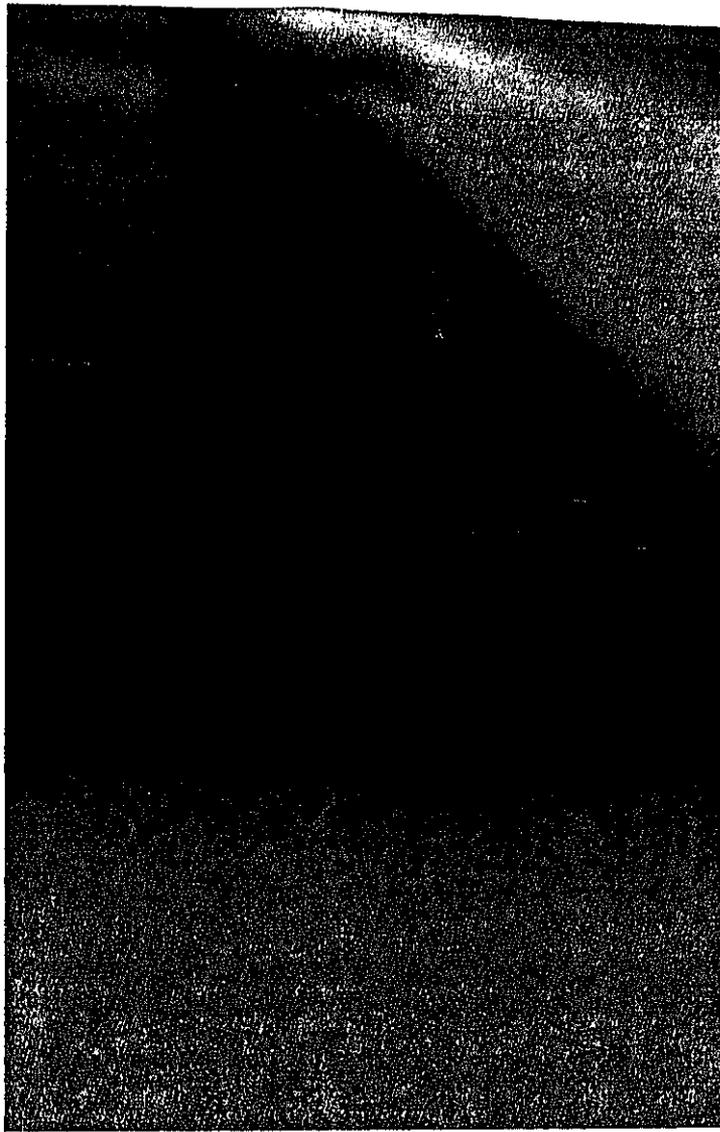
Fots.85 y 86. Detalles del "Triunfo de la Muerte" del Camposanto de Pisa (s.XIV). Ejemplo de obra trasladada sobre soporte de cemento "Eternit".



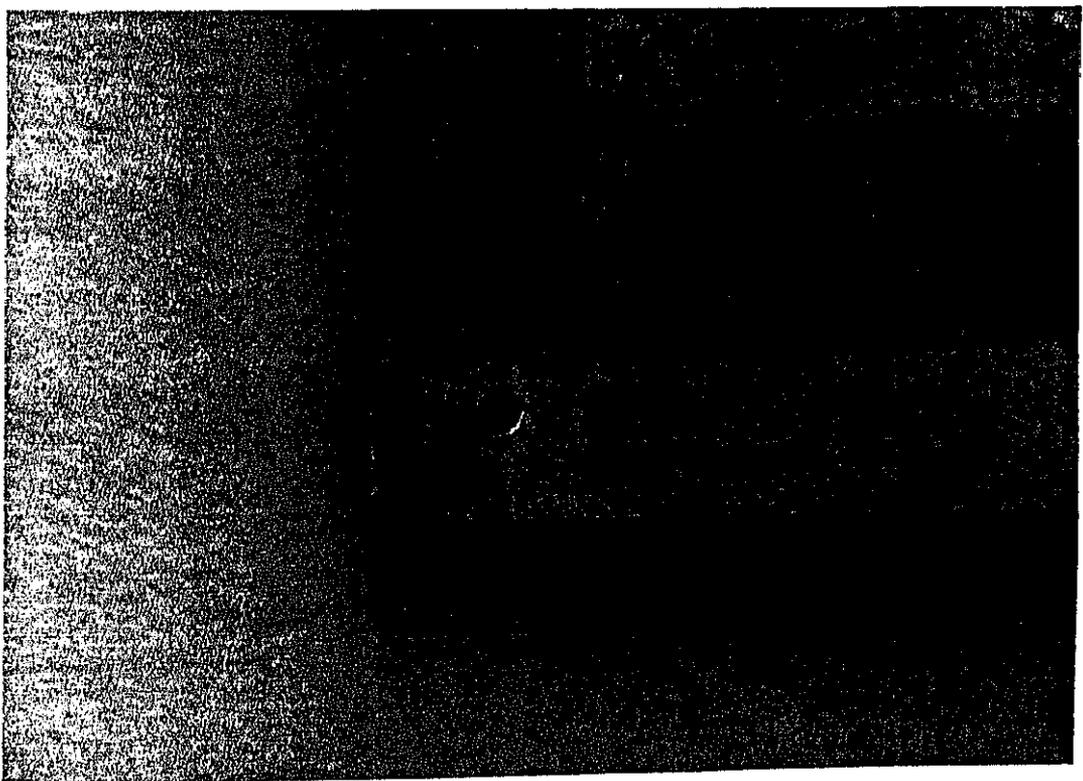


Fots.87 y 88. Detalles del "Triunfo de la Muerte" en los que se aprecia claramente la cuadrícula resultante de la unión de los distintos fragmentos de la pintura.





Fots. 89 y 90. Distintos detalles de los componentes del soporte.



6.3. LOS TELARES ELASTICOS DESARROLLADOS POR EL "ISTITUTO CENTRALE DEL RESTAURO" (ROMA)

Después de la experiencia negativa con los soportes de Eternit o de otros cementos, en el Istituto Centrale del Restauro de Roma se retomaron los soportes de tela. La investigación se encaminó a mejorar el sistema de tensión hasta que éste ha llegado a ser elástico y automático, con resortes que pueden ser regulados por hebillas giratorias.

Este tipo de soporte, formado por uno o más estratos de tela de diverso espesor, montados sobre un telar robusto, fue retomado porque presenta muchas ventajas: si es necesario, ofrece la posibilidad de enrollar la pintura; es el único material que permite no seccionarla porque sus dimensiones son ilimitadas, y resulta fácilmente adaptable a cualquier forma.

Sin embargo, éste método tiene también algunas desventajas intrínsecas: la "spanciatura" o deformación de la superficie pictórica, y la variación de la tensión inicial de la tela debido fundamentalmente a los cambios higrométricos (por ello, los restauradores siempre han tratado que el "límite de elasticidad" de la tela fuera inferior al "límite de desplazamiento del intónaco").

El propósito que movió al Istituto Centrale del Restauro de Roma a estudiar nuevos telares fue no solamente superar las dificultades derivadas del movimiento de la tela, sino también encontrar un soporte adecuado que se adaptara a la forma irregular de los frescos, y que tuviera una estructura segura y duradera.

Realmente quien examinó a fondo estas cuestiones fue el restaurador Roberto Caritá que inició su estudio con los telares rígidos cuadrangulares. En ellos, los movimientos de la tela están muy limitados porque ésta está claveteada lateralmente. Precisamente es en la zona perimetral de la pintura trasladada donde se suelen apreciar los mayores deterioros. Esto se explica fácilmente por los anormales esfuerzos que la tela debe realizar para compaginar los movimientos elásticos de la superficie con el claveteado lateral. Evidentemente el mayor deterioro de esta zona periférica también obedece a que está más expuesta a daños accidentales.

La propuesta de Roberto Caritá fue construir unos telares elásticos cuya acción "tenderá sencillamente a dar a la superficie una tensión justa, (...), sin producir deformaciones permanentes, sino adaptándose a los requerimientos

de la tela cuando tiende a contraerse o a alargarse" . De esta manera, cada uno de los cuatro elementos perimetrales del bastidor tiene la posibilidad de moverse paralelamente a si mismos lo que permite al lienzo expandirse y contraerse. Con este sistema se abandona el claveteado lateral del cuadro para dejar libres los laterales de la tela. Esta, a su vez, se vuelve sobre el reverso de la armadura para unificar la elasticidad a las dimensiones fijas. La fuerza necesaria para dar una tensión no rígida se obtiene con cuerpos elásticos no metálicos. Algunos ejemplos de estos telares elásticos se pueden apreciar en la restauración de los "Tres Angeles" de Cimabue en Basílica de San Francisco en Asís (figs.11, 12 y 13); en la "Crucifixión" de Masolino en la Basílica de San Clemente de Roma (figs.14, 15 y 16; y fots. 91 y 92); y en la "Tumba de las Olimpiadas" en Tarquinia (figs.17 y 18; y fot.93) .

98

Orig: "L'azione del telaio elastico tenderá semplicemente a dare alla superficie una giusta tensione, che rimane sempre nei modesti limiti consigliati dalla pratica, senza produrre deformazioni permanenti ma obbedendo, anzi alle sollecitazioni della tela quando essa tenderá a contrarsi o ad allungarsi", R. Caritá, "Aggiunta sui telai per affreschi trasportati", Boll. Istituto Centrale del Restauro, n°23-24, Rome, 1955, p.168.

99

Amplia información sobre estas tres restauraciones en el artículo de R. Caritá: "Supporti per gli affreschi rimossi", Boll. Istituto Centrale del Restauro, n°36, Rome, 1958, pp.147-190.

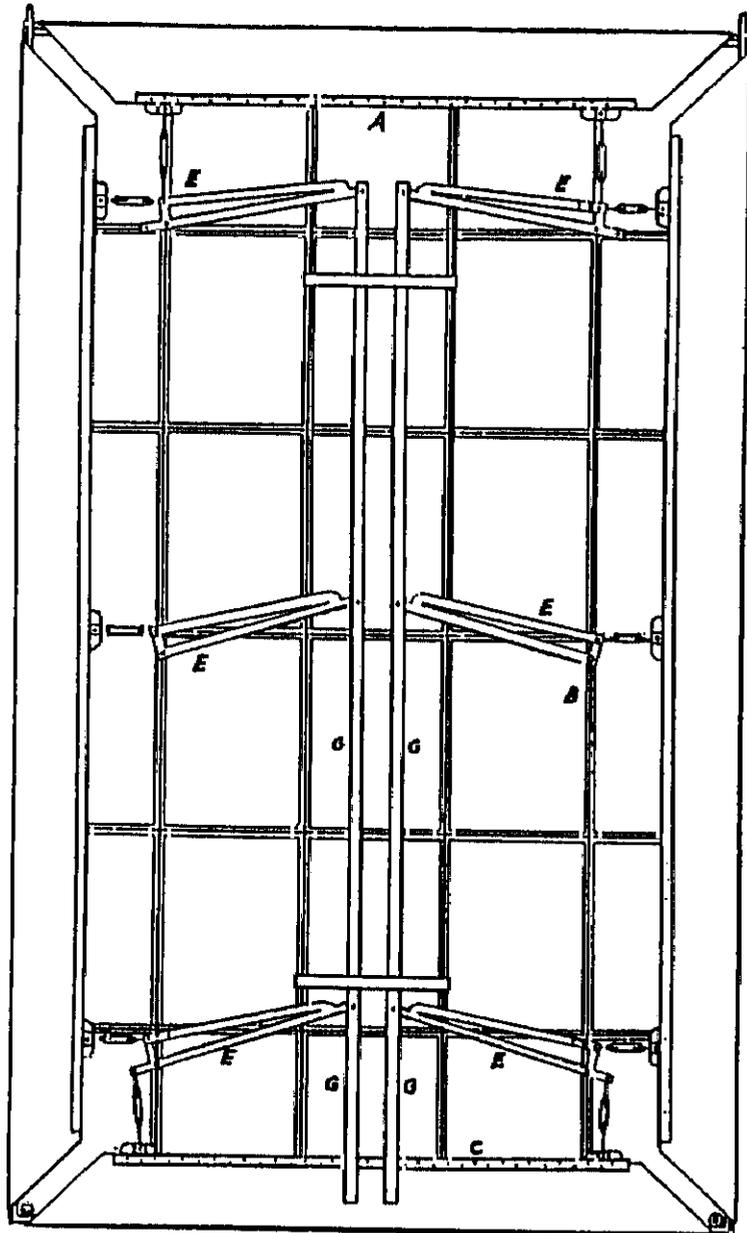


Fig.11. Proyecto del telar de tensión automática para las telas que sirven de soporte a los "Tres Angeles" de Cimabue (Basilica de San Francisco, Asís). (Detalles en las figs.12 y 13).

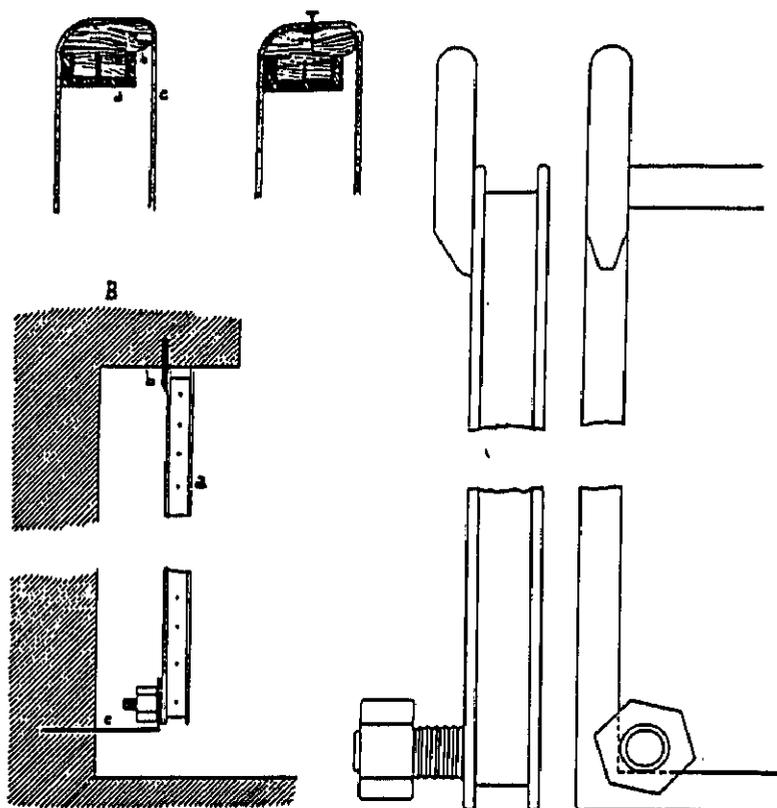


Fig.12. En lo alto a la izquierda: sección del borde (a: anclaje metálico del telar, con tornillo de fijación del borde de madera:b, y c: indica la parte anterior de la tela). Al lado se representa la misma sección con clavos de fijación provisionales. El resto de la figura ilustra los detalles del sistema de fijación a la pared B (b: es un perno vertical que penetra en el techo; c: indica una horquilla destinada a recibir un tornillo soldado al telar:a)

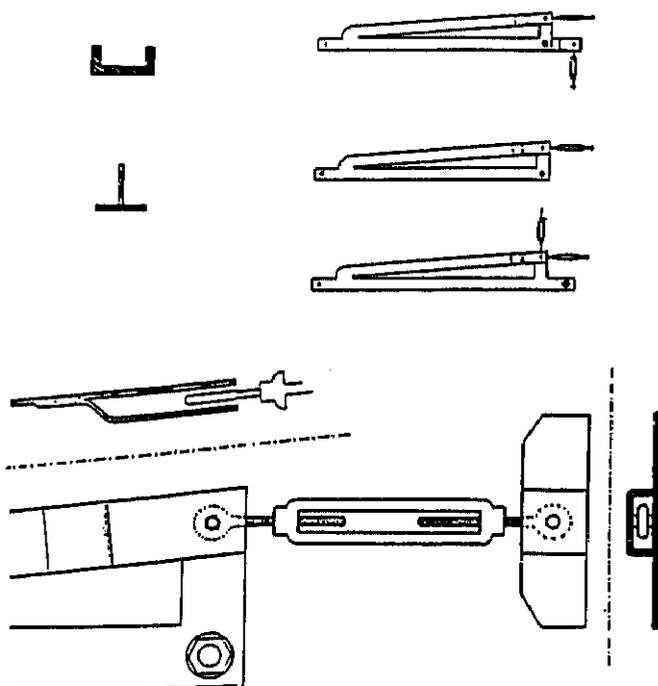
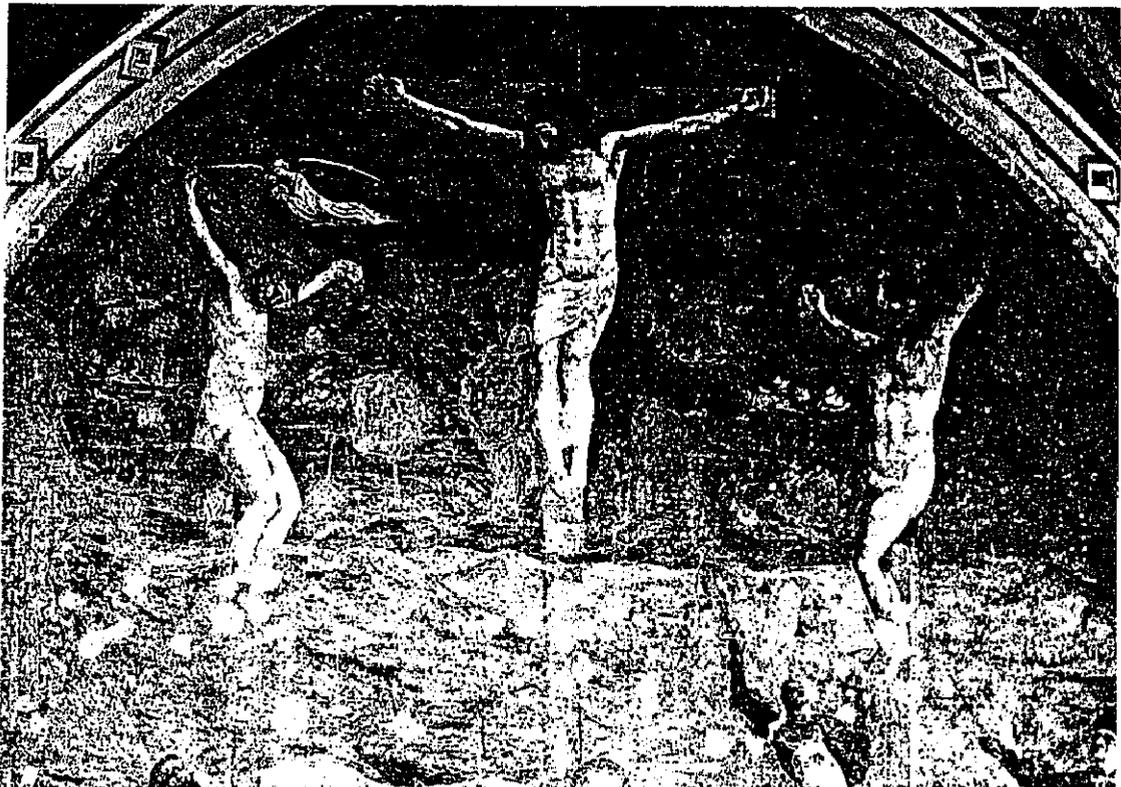


Fig.13. Detalles correspondientes a las palancas de tensión.



MASOLINO DA PANICALE (1428) "La Crucifixión"
Capilla de Santa Catalina; Basílica de San Clemente (Roma)

Fot.91. Ejemplo de obra trasladada a un telar mixto de madera y acero
(su diseño puede apreciarse en las figs.14, 15 y 16). Fot.92. Detalle.



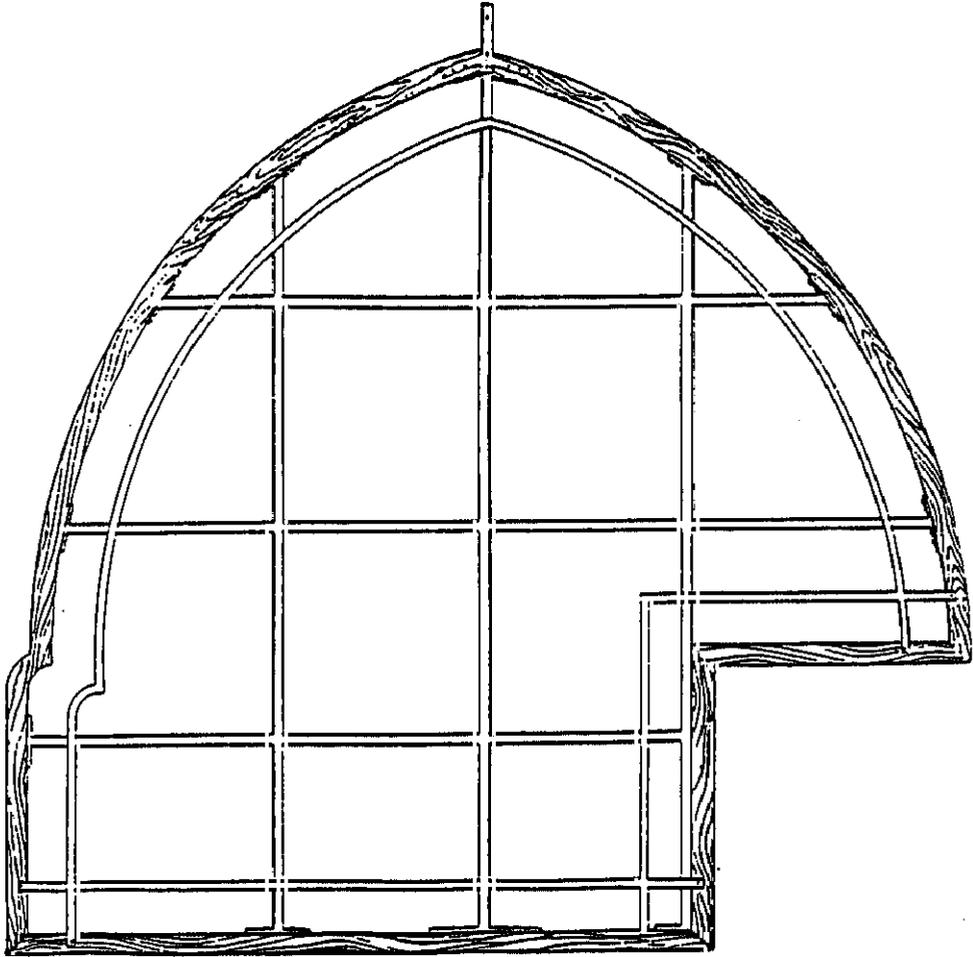


Fig.14. Proyecto del telar para la "Crucifixión" de Masolino (Basílica de San Clemente, Roma). El telar presenta una construcción mixta de madera y de tubos de acero. (Detalles en las figs. 15 y 16).

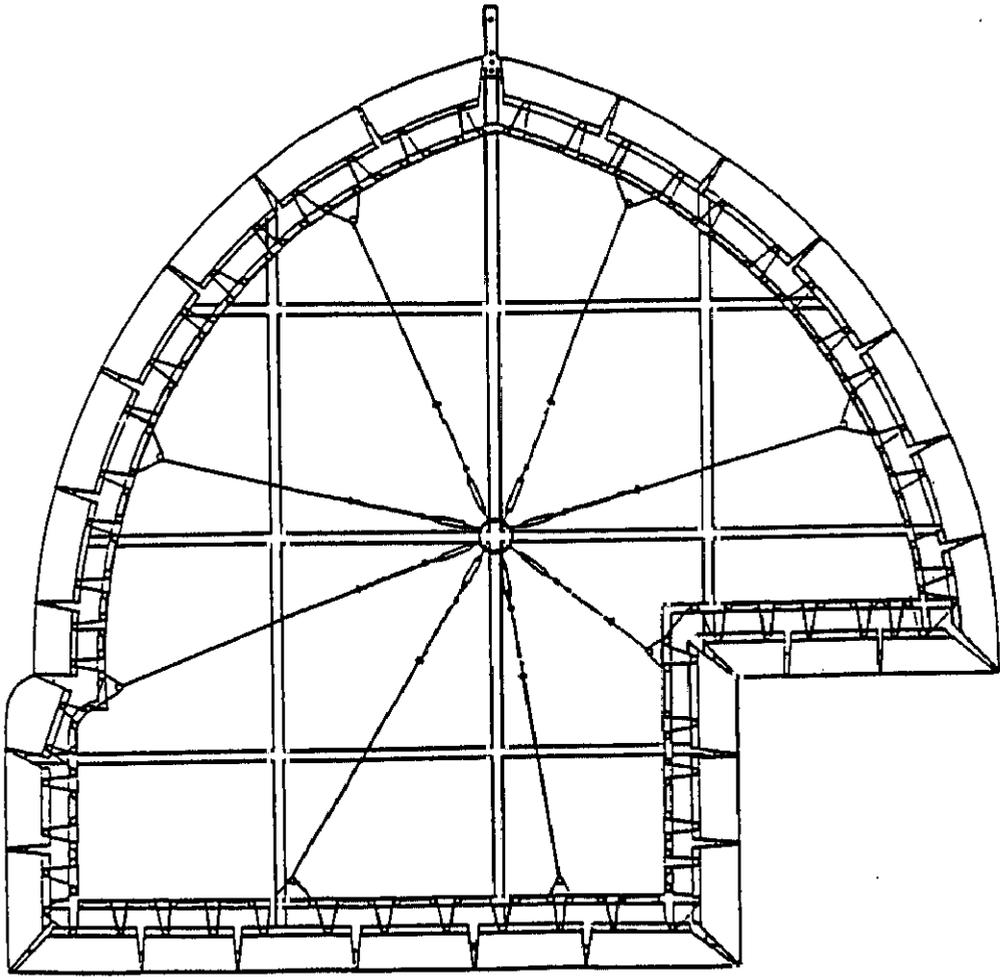


Fig.15. Proyecto completo del telar y del sistema de tensión de la tela correspondiente a la "Crucifixión" de Masolino.

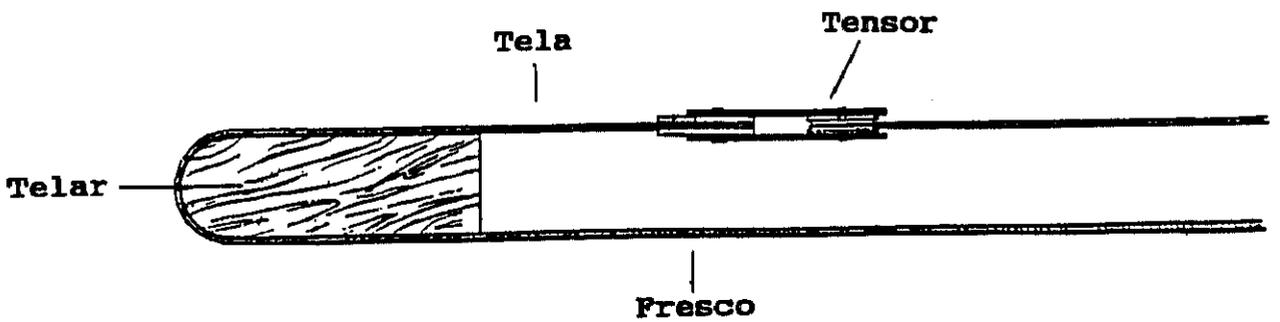


Fig.16. Detalle en sección del sistema de tensión ilustrado en la figura anterior.



TUMBA DE LAS OLIMPIADAS (TARQUINIA)

Fot.93. Ejemplo de obra trasladada a un telar (cuyo diseño puede apreciarse en las figs. 17 y 18).

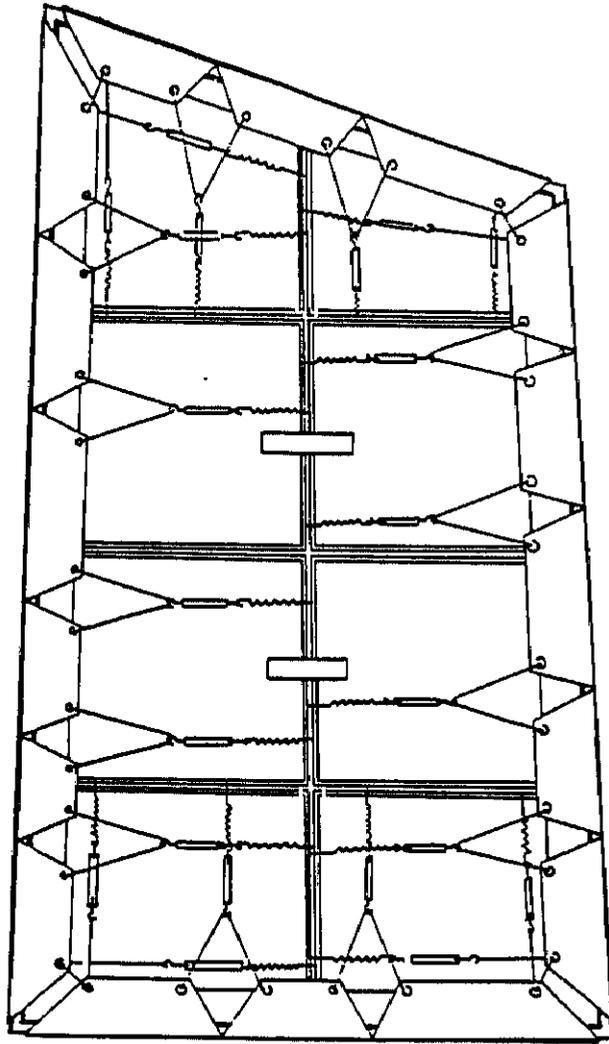
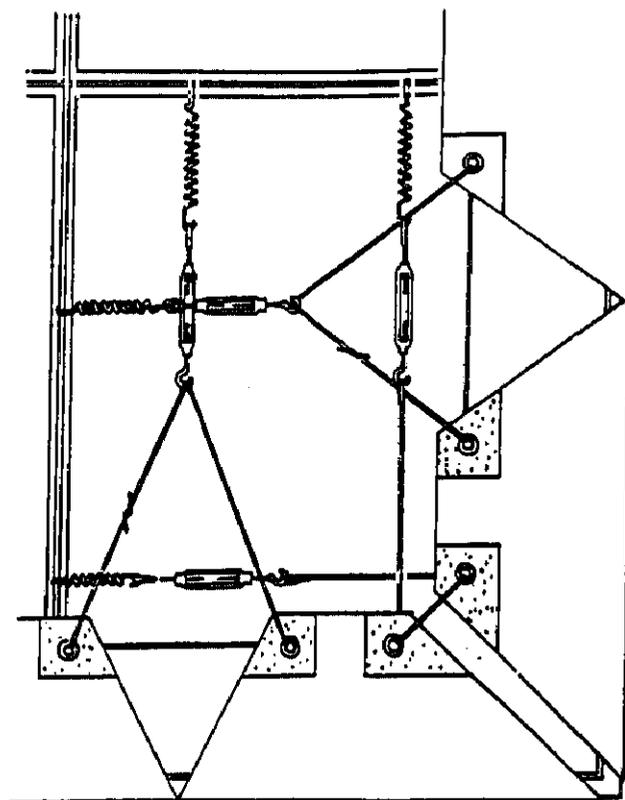


Fig.17. Proyecto esquemático del montaje de la parte frontal de la "Tumba de las Olimpiadas" de Tarquinia.

Fig.18. Detalle del método de tensión correspondiente a la figura anterior.



Posteriormente, los restauradores Guido de Nicola y Giuseppe Bicego idearon un telar totalmente metálico, dotado de un dispositivo que permite tensar la tela de un modo totalmente uniforme, de manera que la trama y la urdimbre del tejido se encuentren siempre ortogonales entre sí en cualquier punto de la superficie y sea cual sea su dimensión (fig.19) ¹⁰⁰ .

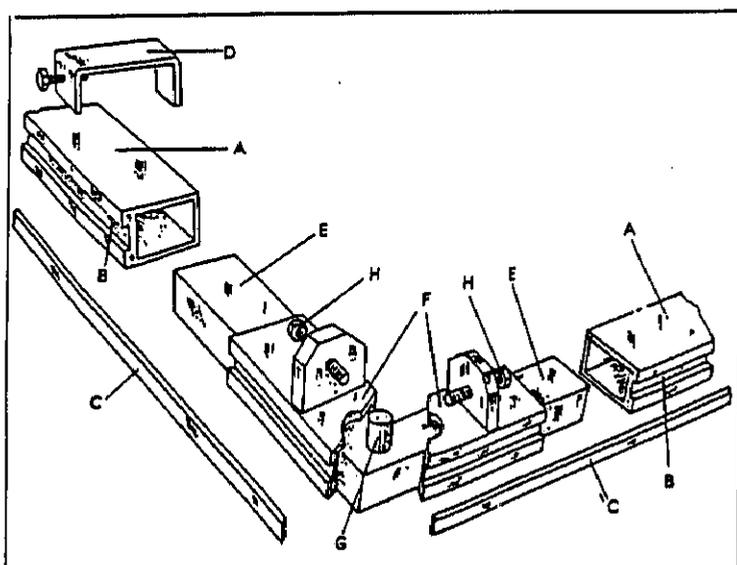


Fig.19. Telar realizado por Guido Nicola y Giuseppe Bicego. Se trata de un telar rectangular formado por cuatro listones tubulares (A), que tienen en su parte exterior una incisión longitudinal (B) en la que se incrustan unas tiras (C) que fijan la tela a los listones mediante unas piezas atornilladas (D). La unión del ángulo entre los listones adyacentes se obtiene mediante escuadras insertas axialmente (E) en la cavidad de los mismos listones adyacentes y sobre las que se dibujan dos medias lunas (F). De la escuadra surge un perno (G) de modo que cada listón del telar puede ser desplazado paralelamente a sí mismo y respecto al listón opuesto mediante la manipulación de dos tirantes (H) que se encuentran dispuestos ortogonalmente a los dos extremos de los listones.

100

Detallada información en: G. Nicola y R. Arosio, "Tellaio metallico interinale a espansione meccanica uniforme", Restauri in Piemonte 1968-1971, Torino, 1971, pp.23-25.

Desde entonces se han ideado otros muchos sistemas de tensión que, aunque han dado buenos resultados, son verdaderamente complejos tanto en su fabricación como en su posterior manipulación (ver, por ejemplo, el diseño de Gustav A. Berger¹⁰¹ (figs. 20 y 21). Por ello, se buscó una base más simple para transferir las obras y se llegó a la conclusión de que el tipo de soporte más adecuado y satisfactorio para reforzar una pintura es el soporte rígido.

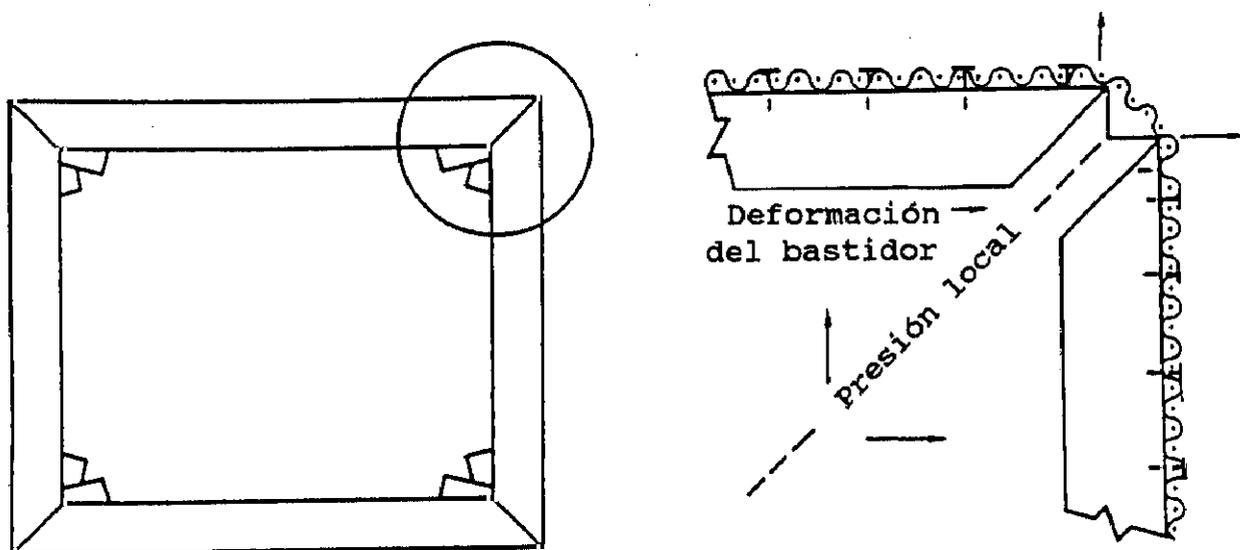
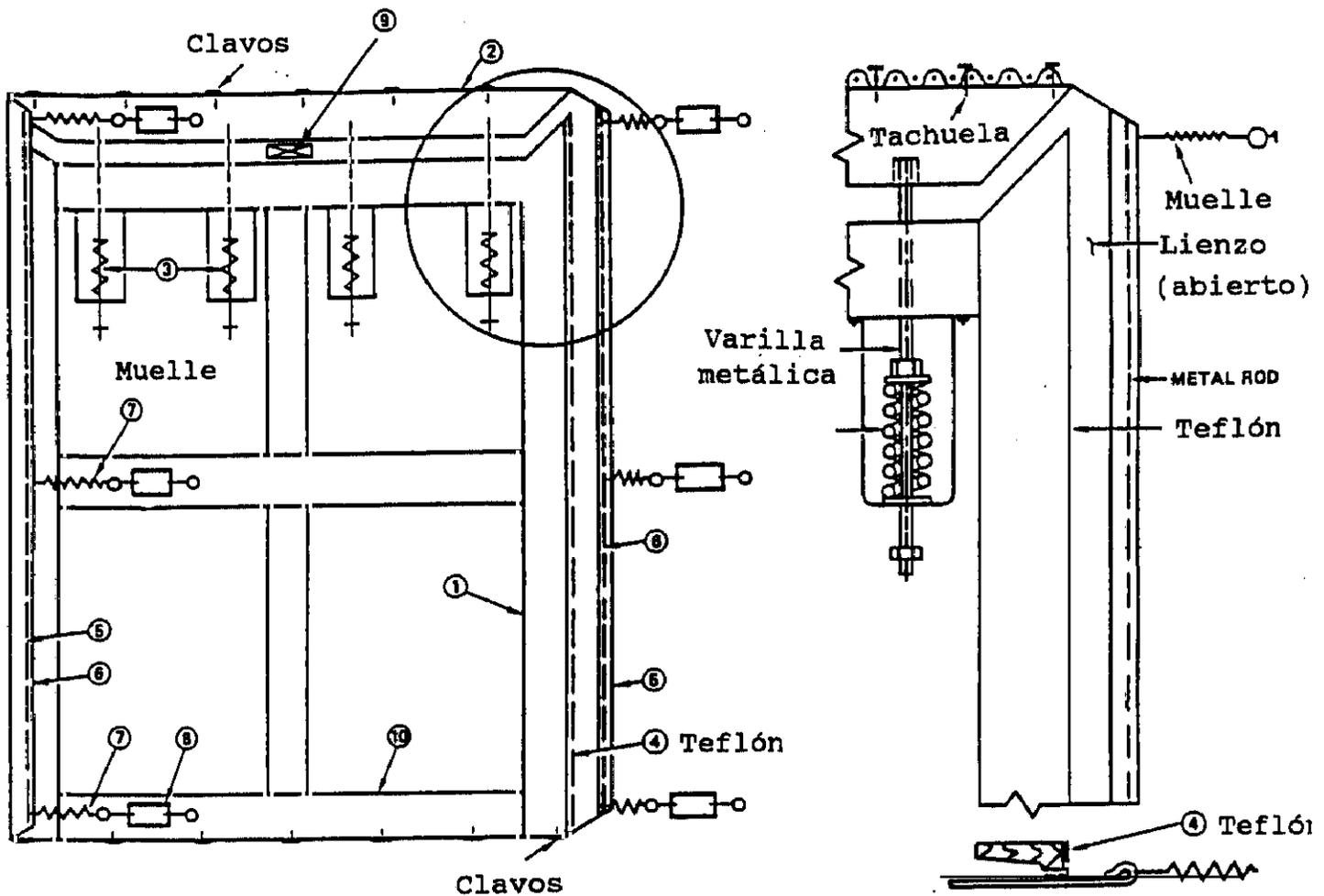


Fig.20. Marco convencional con "llaves"; el área señalada con un círculo se amplía en detalle a la derecha.

101

Al respecto vid.: G.V. Berger, "A structural solution for the preservation of canvas paintings", Studies in Conservation, nº29, 1984, pp.139-142.



- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1. Marco rígido | 6. Barra de aluminio |
| 2. Miembro superior movable | 7. Muelle horizontal |
| 3. Muelles verticales | 8. Mecanismo de estiramiento |
| 4. Tapa de teflón | 9. Espacios temporales |
| 5. Pestaña | 10. Barra inferior del marco |

Fig.21. Bastidor "CT" auto-ajustante. El área señalada con un círculo se muestra con detalle a la derecha.

6.4. SOPORTES RIGIDOS DE RESINAS SINTETICAS

Hemos visto que los soportes rígidos de tipo tradicional son todos inadecuados, por su elevado peso y difícil manipulación, por lo que cualquier intervención posterior es especialmente difícil y peligrosa. Los lienzos, por otra parte, tienen la ventaja de poder adaptarse a diversas formas y tamaños, pero para ser completamente satisfactorios deben ser aplicados a un soporte rígido en lugar de tensarse en un marco.

En 1951 Cesare Brandi afirmó: "...debemos reconocer que hasta el momento ninguno de los soportes rígidos que han sido empleados o escogidos aquí, responde positivamente a aquellos requisitos generales que hemos indicado de modo sucinto, y por lo tanto, dónde se deba elegir por necesidad un soporte rígido, es necesario elegir el tipo menos deficiente, respecto a la exigencia estética de la obra de arte, a su conservación, y a las intervenciones de restauración futuras" .

102

Orig: "...dobbiamo riconoscere appunto che nessuno dei sistemi rigidi fin qui impiegati o escogati risponde positivamente a quei generici requisiti che abbiamo elencati in modo pur sucinto, e che dunque, ove si debba addivenire per necessità di cose alla scelta di un supporto rigido, bisogna scelerie il tipo meno deficiente, rispetto all'esigenza estetica dell'opera d'arte, alla sua conservazione, agli interventi di restauro futuri", C. Brandi, "Sui supporti rigidi per il trasporto degli affrechi", Boll. Istituto Centrale del Restauro, n°5-6, 1951, p.15.

Un paso decisivo para una mejor solución del problema se tomó cuando las resinas sintéticas empezaron a ser explotadas para la construcción de soportes rígidos para el traslado de pinturas. La posibilidad de aprovechar la gran oferta de materiales plásticos que ofrecía el mercado, así como la creciente clarificación de los criterios de construcción de los mismos, ha facilitado el desarrollo de una serie de modelos en los diferentes países, semejantes, por lo general, a los utilizados en el Istituto Centrale del Restauro de Roma, pionero en este campo.

En un principio las resinas sintéticas se usaron como capa de reversibilidad. Esta capa, que aísla la pintura del nuevo soporte, permite separar el sistema en cualquier restauración futura, sin que el original sufra daño alguno. Habitualmente, se han preferido para esta capa intermedia, los plásticos expandidos o extruidos, por sus características de ligereza, y por ser altamente reversibles (tanto por medios mecánicos como por químicos). Los más usados han sido el poliestireno, el PVC y el poliuretano.

Sucesivamente la capa de reversibilidad se ha realizado con otros materiales (sutiles estratos de amianto, corcho, papeles de "ruptura predeterminada", intónacos diversos, etc), con lo que los distintos espumados pasaron a formar parte de la estructura misma del soporte.

Estos sistemas son los que han dado mejores resultados:

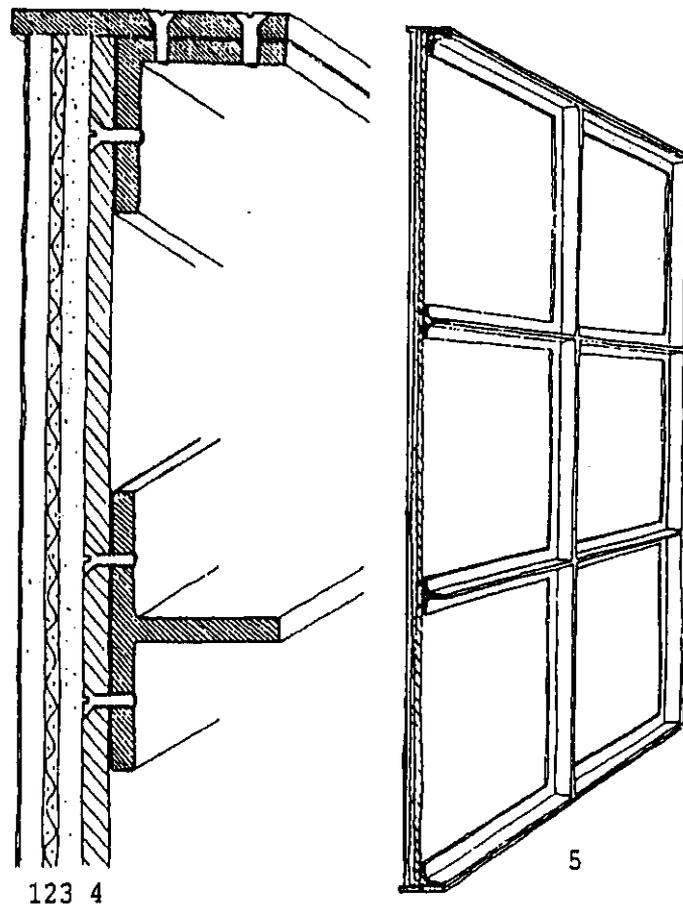
6.4.1. Soporte de masonita y espuma rígida sobre bastidor metálico

Este método es relativamente simple de construir y es resistente. El marco se forma soldando los elementos de aluminio anodizados, o pegando éstos con resinas epoxi y reforzando las juntas con clavos. Sobre éste se adhiere la plancha de masonita (de unos 4mm de espesor). Sobre esta superficie se pega con un adhesivo de contacto (habitualmente Bostik SB/3), la resina expandida que actuará como capa de intervención. La pintura original se adhiere generalmente con una emulsión de acetato polivinílico.

Precisamente, el primer ejemplo de un soporte rígido reversible, se realizó con este sistema en 1957 en la restauración de la "Tumba de las Olimpiadas" de Tarquinia¹⁰³. La estructura del soporte empleado es la siguiente (fig.22):

103

Información detallada sobre esta restauración en P. Mora y G. Torraca, "Nuovi supporti per affreschi staccati", Boll. Istituto Centrale del Restauro, Rome, 1965, pp.34-35. Ver también Boll. Istituto Centrale del Restauro, nº34-35, Rome, 1958, p.71.



1. Capa pictórica
2. Tejido de refuerzo
3. Plancha de poliuretano expandido.
4. Armadura rígida de masonita unida a un bastidor de hierro.
5. Telar metálico

Fig.22. Soporte de masonita sobre bastidor de hierro para la "Tumba de las Olimpiadas" de Tarquinia.

En este tipo de soporte encontramos una serie de inconvenientes, como son: la excesiva flexibilidad del "Moltopren"; el gran incremento de peso proporcionado por la masonita y el telar metálico; y la imposibilidad del sistema a adaptarse a las irregularidades del soporte original.

La masonita no es un material adecuado como soporte porque es un producto que cuenta con pocos años de vida; tiene unas cualidades excepcionales de dureza y resistencia, pero su durabilidad es una incógnita. Tiene además otras desventajas como : su peso, su fragilidad, su posible exfoliación, su flexibilidad, que obliga, en dimensiones superiores a uno o dos metros cuadrados, a reforzar el sistema con un telar, y, sobre todo, su irreversibilidad (ésta, como hemos visto, puede solucionarse colocando una capa de intervención).

Dentro del campo pictórico, las pinturas realizadas en masonita a menudo tienen graves problemas de conservación. Tal es el caso de la obra de Miller Gore Brittain, "Leaning Nude" pintada sobre este material, que fue trasladada en 1981, por el CII de Ottawa, a un nuevo soporte rígido de nido de abeja de aluminio .

104

Vid., R. Arnold, "Treatment of "Leaning Nude": transfer of a painting from masonite support", I.I.C., June 1-3, Ottawa, 1984, p.15.

6.4.2. Soportes de espumas sintéticas

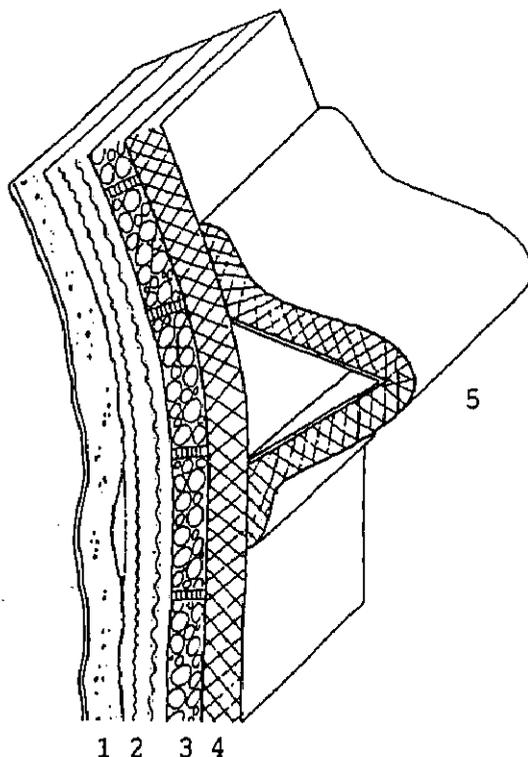
Las espumas sintéticas mas usadas en la fabricación de nuevos soportes han sido el poliestireno, el cloruro de polivinilo, y el poliuretano. Como posteriormente veremos, sus características comunes más importantes son: su ligereza, estabilidad y su facilidad para ser combinados con otros productos sintéticos.

Dependiendo de su aplicación, los restauradores han elegido el tipo de espuma adecuada a cada caso; por ejemplo, para realizar soportes lisos se han preferido el poliuretano y el poliestireno, sin embargo, el cloruro de polivinilo (PVC) se ha usado frecuentemente para restaurar pinturas sobre bóvedas, arcos columnas, etc., debido a la facilidad que tiene para formar una curva.

6.4.2.1. Espumas reforzadas por un enrejado metálico

Este tipo de soporte tiene las siguientes ventajas respecto los vistos anteriormente: es considerablemente más ligero y flexible; se puede adaptar a superficies curvas (sobre todo el PVC) y los materiales empleados ofrecen una mayor estabilidad ante condiciones ambientales adversas. Está compuesto por una capa de un espumado (reforzado por una resina con fibra de vidrio), pegada a una red metálica que le aporta una mayor consistencia. El esquema general de

los soportes realizados con este método es el siguiente
(fig.23):



1. Pintura e intónaco original
2. Refuerzo de gasa y telas
3. Capa de reversibilidad de PVC, con agujeros perpendiculares a la misma distancia, para una mejor evaporación del disolvente y para que el adhesivo pueda reforzar la pintura y el soporte
4. Soporte de fibra de vidrio impregnado con resina
5. Nervadura de refuerzo de material ligero

Fig.23. Esquema general de los soportes realizados con espumas reforzadas por una red metálica.

En Italia, el Instituto Centrale del Restauro ha empleado este tipo de soporte (con espuma de PVC) en muchas intervenciones: Presbiterio de San Bernardino alle Monache (Milano, 1963) y de San Teodoro (Pavía, 1963), algunas

capillas (Sta. Caterina, y la Pietá) de San Maurizio en el Monasterio Mayor (Milano, 1963-64), y en la sacristía della Passione (Milano, 1964)¹⁰⁶. También se ha usado en el recolocamiento curvo de algunas pinturas como en Sta María delle Grazie (Milán, 1961), Crea en Alejandría, en la Capilla de Sta. Margarita y en la Iglesia de San Juan de los Campos de Piombesi (Torino. 1970)¹⁰⁷.

Los soportes usados en estas restauraciones estaban constituidos por PVC aplicado a un telar metálico, que tenía la función de reforzarlo y mantenerlo liso. Este bastidor metálico (tratado previamente con un barniz polivinílico para evitar la oxidación) se unía generalmente a la plancha de PVC por medio de tornillos (fig.24).

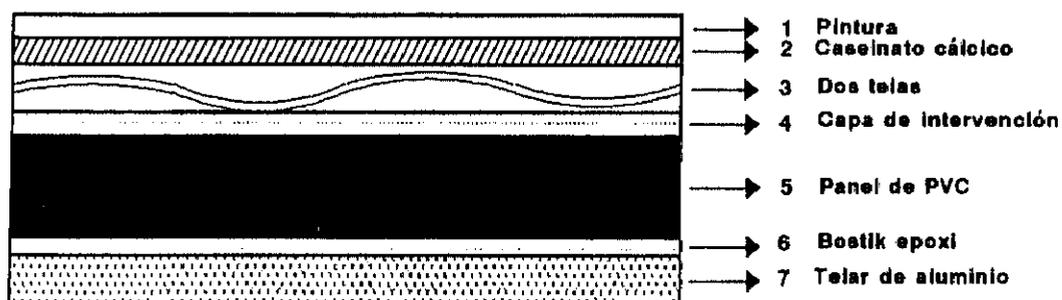


Fig.24. Soporte de PVC sobre telar metálico.

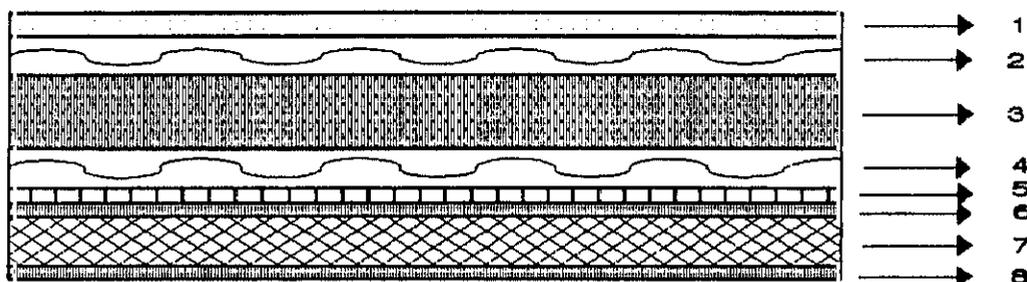
106

Amplia información en el Apéndice II del Bollettino dell'Istituto Centrale del Restauro, 1965, pp.62-80.

107

Información detallada en: "Restauri in Piemonte 1968/1971", cap.1: "Supporti rigidi per il ricollocamento di affreschi nella sede originaria", 1971, pp.7-17.

En 1960 se restauró la tumba etrusca de "Scrofa Nera" con el mismo esquema seguido en la "Tumba de las Olimpiadas" (fig.25 y fot.94 a 97), pero sustituyendo la plancha de poliuretano "Moltopren", por poliestireno expandido (con el fin de eliminar la excesiva flexibilidad del primero), y la pesada lámina de masonita por resina de vidrio y resina poliéster ¹⁰⁸. Con este mismo método se han restaurado (1963), entre otros, los frescos medievales de "San Ansano" en Espoleto ¹⁰⁹. Esquemáticamente su estructura es la siguiente (fig.25):



1. Capa pictórica
2. Dos estratos de gasa de algodón con caseinato cálcico
3. Poliestireno expandido de 5mm de espesor encolado con "Vinavil"
4. Dos estratos de gasa encolados con caseinato cálcico
5. Recubrimiento de una capa protectora de goma laca y "Perlite"
6. Estrato de tejido de vidrio y resina poliéster "Selectron"
7. Red de aluminio anonizado
8. Estrato de tejido de vidrio y resina poliéster.

Fig.25. Ejemplo de soporte de espuma reforzada por una estructura metálica utilizado en la restauración de la tumba etrusca "Scrofa Nera" y en "San Ansano" de Espoleto.

108

Información detallada de esta restauración en Boll. Istituto Centrale del Restauro, 1965, p.35-45.

109

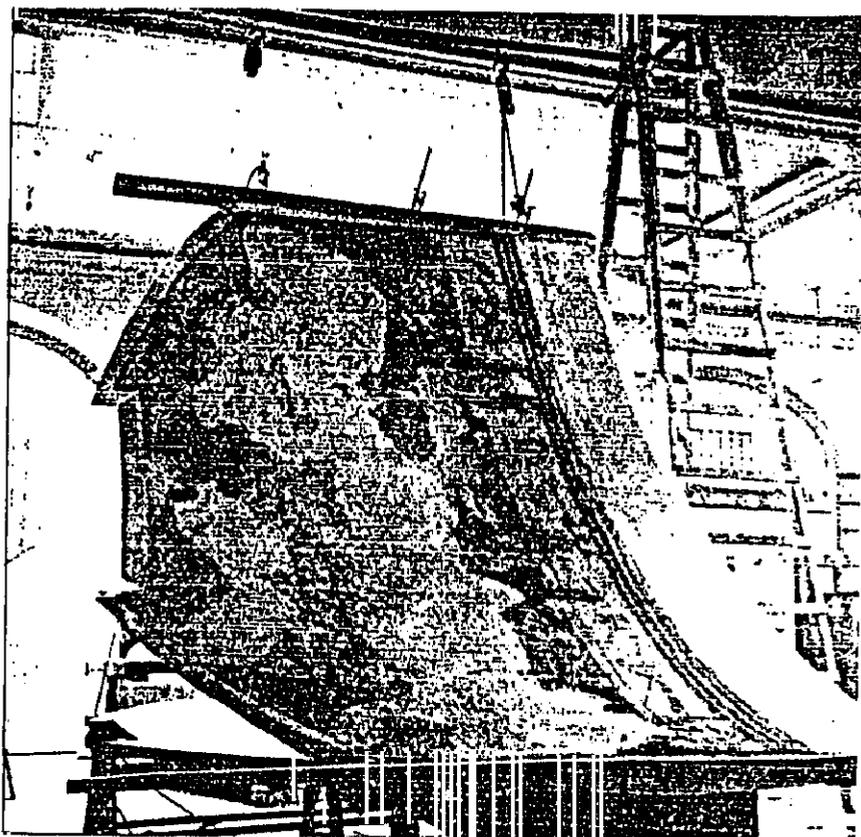
Vid., Boll. Istituto Centrale del Restauro, 1965, op.cit., pp.28-29.



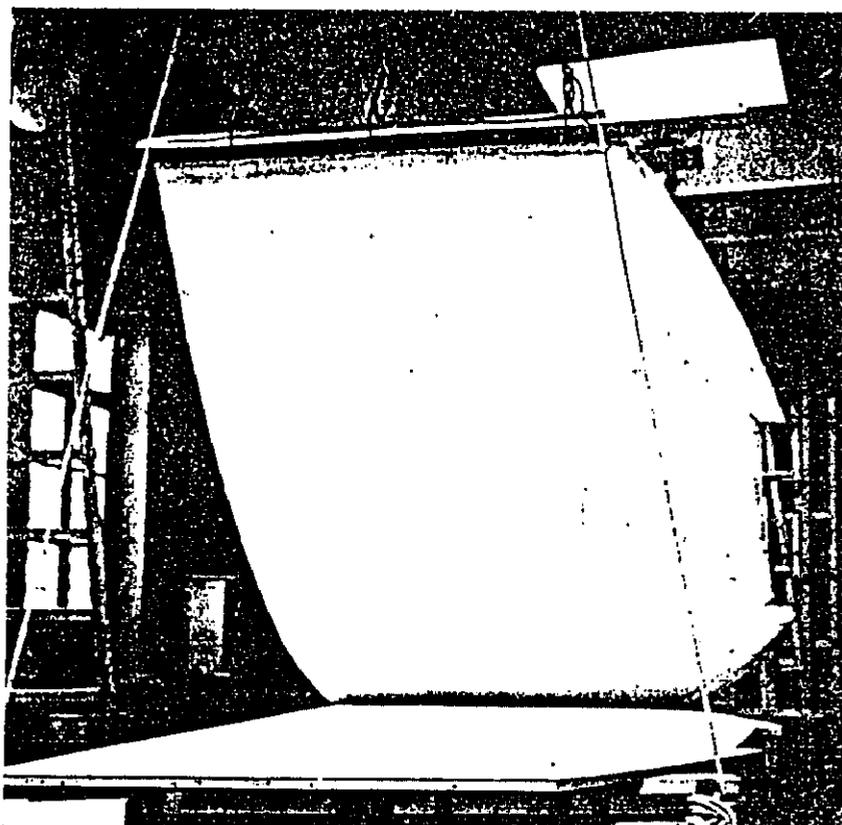
Fot.94. Tumba etrusca "Scrofa Nera". Aspecto de la pintura una vez restaurada y trasladada a un soporte de poliestireno expandido reforzado por una estructura de aluminio.

Fot.95. Estado de la pintura mural antes de ser restaurada.





Fot.96. Aplicación de la pintura arrancada sobre el nuevo soporte.
Fot.97. La misma operación que ilustra la figura anterior, vista por el lado opuesto.



Otro ejemplo a mencionar es el empleado en 1987 por Michel Savko (Jefe del Dpto. de Pintura Mural del IRPA) para el trasladado de unas pinturas murales de la iglesia de ¹¹⁰ Hern- Saint- Hubert en Bélgica (fig.26):

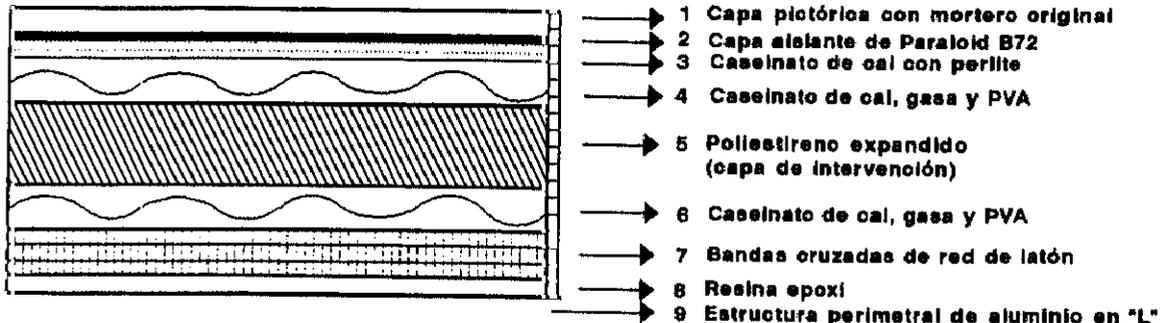


Fig.26. Soporte empleado en el traslado de las pinturas de San Hubert.

En 1989-90, un soporte semejante fue utilizado en España en la restauración las pinturas de la Iglesia de ¹¹¹ Villahermosa de Ciudad Real (fig.27 y fots. 98-101).

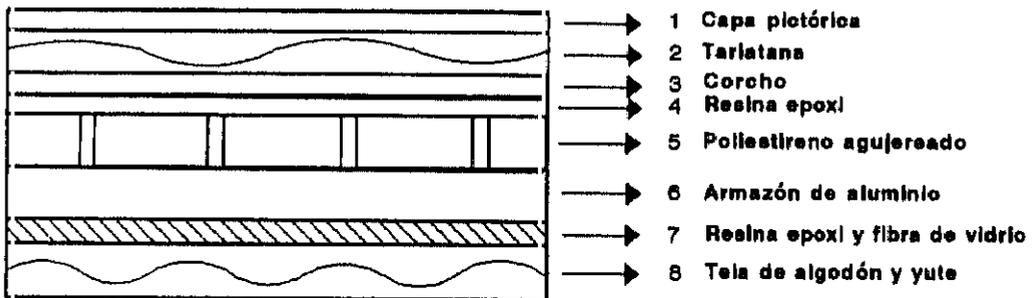


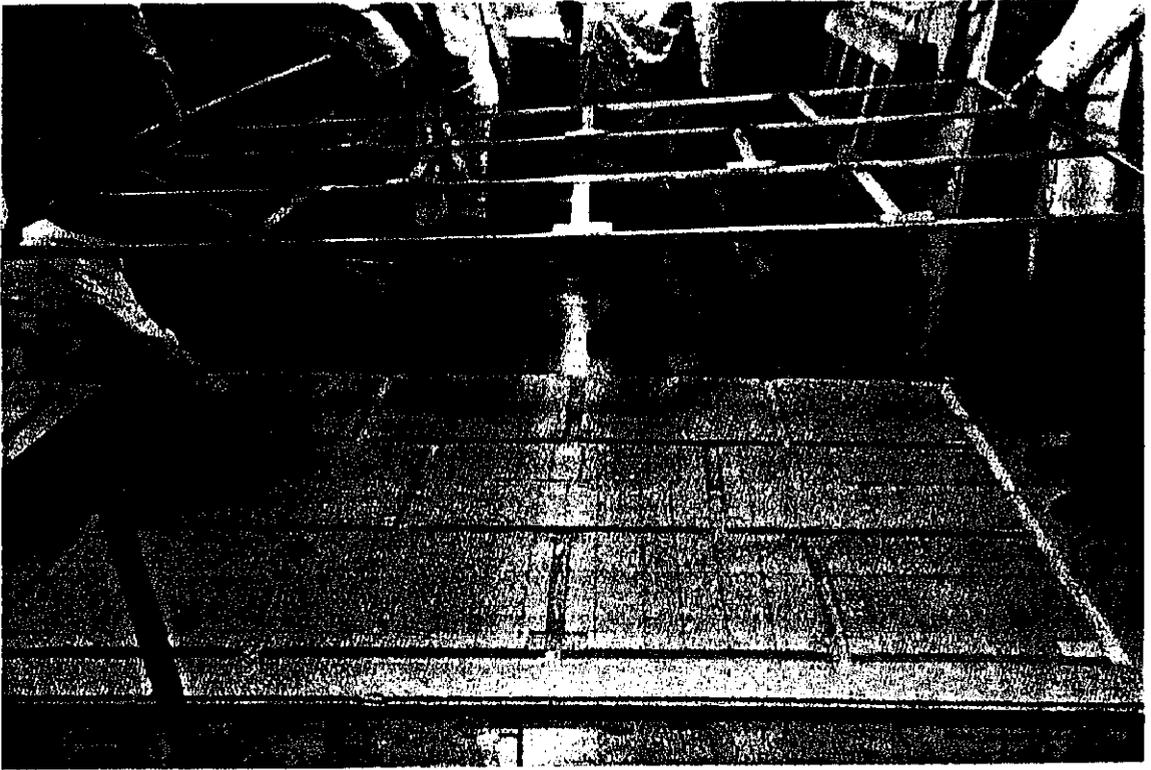
Fig.27. Soporte de espuma laminada con resina epoxi y fibra de vidrio y reforzada con armazón de aluminio, realizado para el traslado de las pinturas murales de la Iglesia de Villahermosa (Ciudad Real).

110

Vid., E. Ruíz de Arcaute y R. García, "Transposición de pinturas murales y nuevos soportes", Rev. Koine, año II, nº6, p.78; y M. SvaKo, "Les peintures murales de l'église de Herm-Saint- Hubert", Bulletin IRPA, XII, Bruselas, 1971-72, pp.91-130.

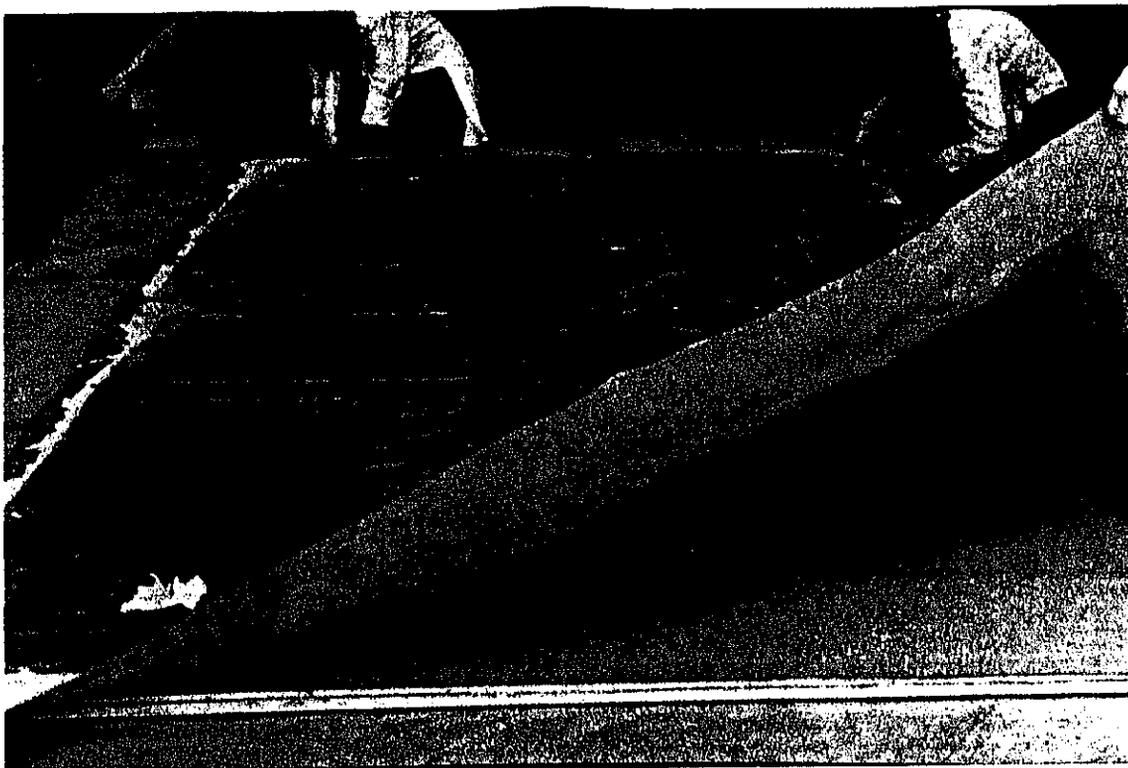
111

Amplia información en G. Fernández, J. Peinado y J. Santos: "La aplicación de soportes rígidos a pintura sobre lienzo", VIII Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Valencia 20-23 Sept., 1990, pp.172-179.

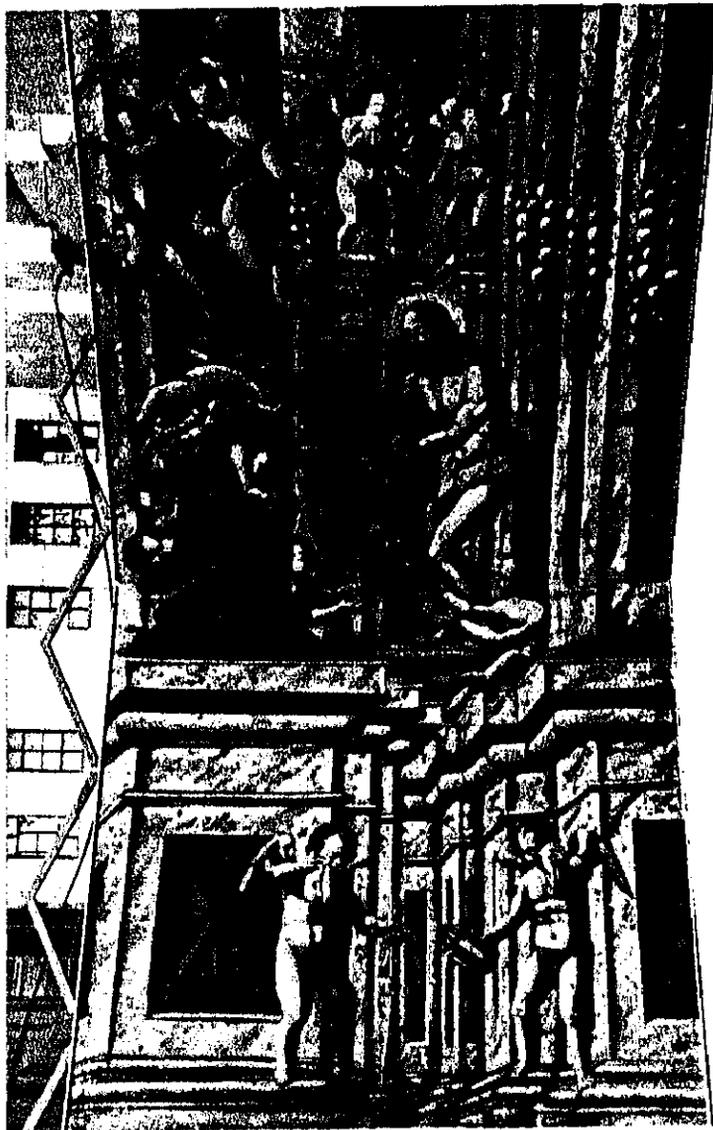


Fots.98 y 99. Realización del soporte de poliestireno expandido e incorporación del bastidor de aluminio de refuerzo realizado para trasladar las pinturas murales de Villahermosa (Ciudad Real).





Fot.100. Colocación de la pintura mural sobre el nuevo soporte
Fot.101. Aspecto final de un fragmento de las pinturas murales de la Iglesia de Villahermosa (Ciudad Real) una vez trasladadas al nuevo soporte. (Fots. cortesía de D. Guillermo Fernández García).



6.4.2.2. Espumas reforzadas por fibras artificiales o sintéticas y resinas termoestables

6.4.2.2.1. Soportes de espuma reforzada con resina poliéster

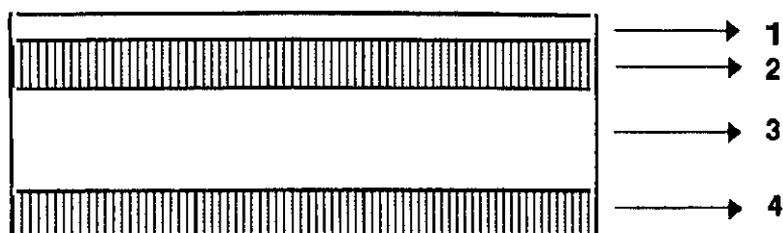
Simultáneamente a la experimentación con los espumados indicados anteriormente, se ha usado también en la construcción de soportes la resina poliéster¹¹². Esta sirve de refuerzo a los materiales plásticos celulares y, acompañada con fibras sintéticas, ofrece una consistencia tal que, a menudo, evita el uso del armazón de aluminio.

A través de una serie de investigaciones que comenzaron en 1957, prolongándose hasta 1963, se vio que los soportes contruidos de resina poliéster reforzada, acoplada a espumas de poliuretano expandido dan unos resultados excelentes. Estos dos materiales están exentos de los inconvenientes que se encuentran en la madera y en la masonita, porque son insensibles a la humedad, son dimensionalmente estables, no necesitan un bastidor metálico de refuerzo, tienen una excelente relación entre peso-rigidez, son inhibidores térmicos y prácticamente incombustibles.

112

Datos sobre la resina poliéster pueden encontrarse en el Apéndice A al final del Tomo II de la memoria.

Un ejemplo de este tipo de soporte (cloruro de polivinilo expandido metido dentro de dos estratos de resina poliéster armado con fibra de vidrio), se empleó en un fresco arrancado de una columna del Duomo de Lodi.¹¹³ Se realizó de manera que se adaptara perfectamente a la superficie curvilínea del muro (fig.28).



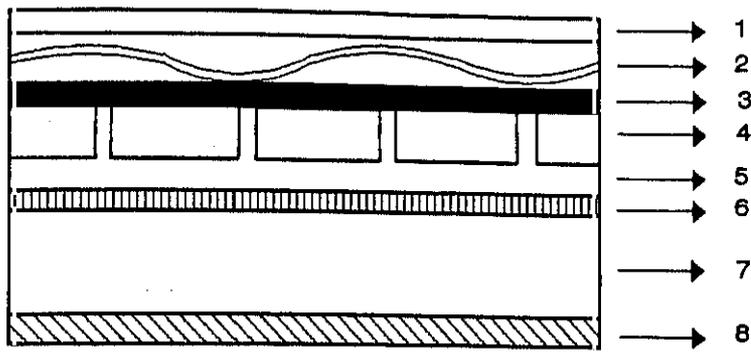
1. Capa pictórica
2. Fibra de vidrio y resina poliéster
3. Cloruro de polivinilo (celdilla cerrada 100% de 5mm de espesor)
4. Fibra de vidrio y resina poliéster.

Fig.28. Soporte de PVC y resina poliéster empleado en un fresco curvo del "Duomo de Lodi".

Posteriormente, este soporte se usó como base de las pinturas murales y sinopias de Ugolino, y en el fresco: "Miracoli del Sacramento" del Duomo de Orvieto.¹¹⁴ Todos ellos tienen una estructura general que es la siguiente (fig.29):

¹¹³ Vid., Boll. Istituto Centrale del Restauro, 1965, pp.76-80.

¹¹⁴ Vid., P. Mariotti, "Supporti impiegati per il distacco e strappo delle pitture murali, in sostituzione dell'originale, dalle origini ad oggi", cap.IX, Opificio della Pietre Dure, Firenze, 1983, pp.56-72.



1. Capa pictórica
2. Telas
3. Resina fenólica
4. Corcho agujereado con resina epoxi
5. Resina epoxi (Araldite)
6. Fibra de vidrio y resina poliéster
7. Poliestireno expandido
8. Fibra de vidrio y resina poliéster

Fig.29. Soporte de poliestireno expandido laminado con resina poliéster y fibra de vidrio.

6.4.2.2.2. Soportes de espuma reforzada con resina epoxi

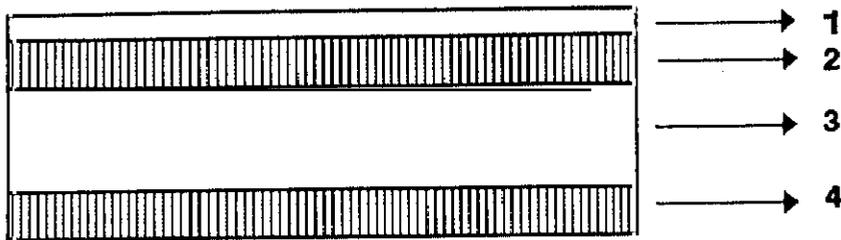
Las resinas epoxi aparecen en el año 1947, y desde entonces su impulso comercial ha ido en aumento, debido, como veremos, a sus propiedades de adhesividad, impermeabilidad, resistencia química y retracción mínima. Además admiten cualquier tipo de carga lo que permite que sus aplicaciones sean muy amplias .

115

Más información sobre la resina epoxi en el Apéndice A al final del Tomo II de la memoria.

En la construcción de soportes para transferir pinturas, las resinas epoxi se han empleado frecuentemente como adhesivo o como recubrimiento de espumados.

Por ejemplo, este sistema fue empleado en el traslado en 1982-83, de dos murales¹¹⁶ medievales de la iglesia de "St. Mary's Church to Danzig" que se encuentran en la capilla de San Jorge (Stuttgart), (fig.30).



1. Pintura
2. R. epoxi y fibra de vidrio
3. Espuma de Poliuretano
4. R. epoxi y fibra de vidrio

Fig.30. Ejemplo de soporte de espuma laminada con resina epoxi y fibra de vidrio empleado en St. Mary's Church.

116

Amplia información en: M. Kozarzawski y R. Zankowski, "Zwei Wandgemälde in der Marienkirche zu Danzing", Maltechnik Restauero, N^o2, April 1988, pp.79-94.

Una variante mucho más cara de este método se usó en 1981 para el traslado de una "Cruz Pintada" de Lippo di Bienivieni (Museo di Santa Croce, Firenze) realizada sobre madera ¹¹⁷. En este caso, el soporte se realizó con PVC expandido reforzado con resina epoxi y fibra de carbono (fig.31, y fot.102).

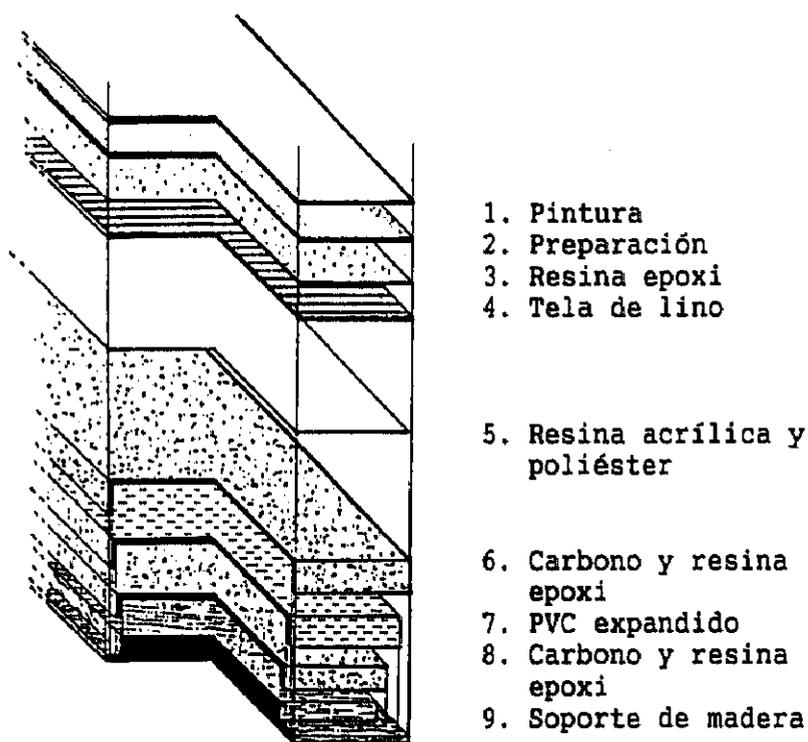
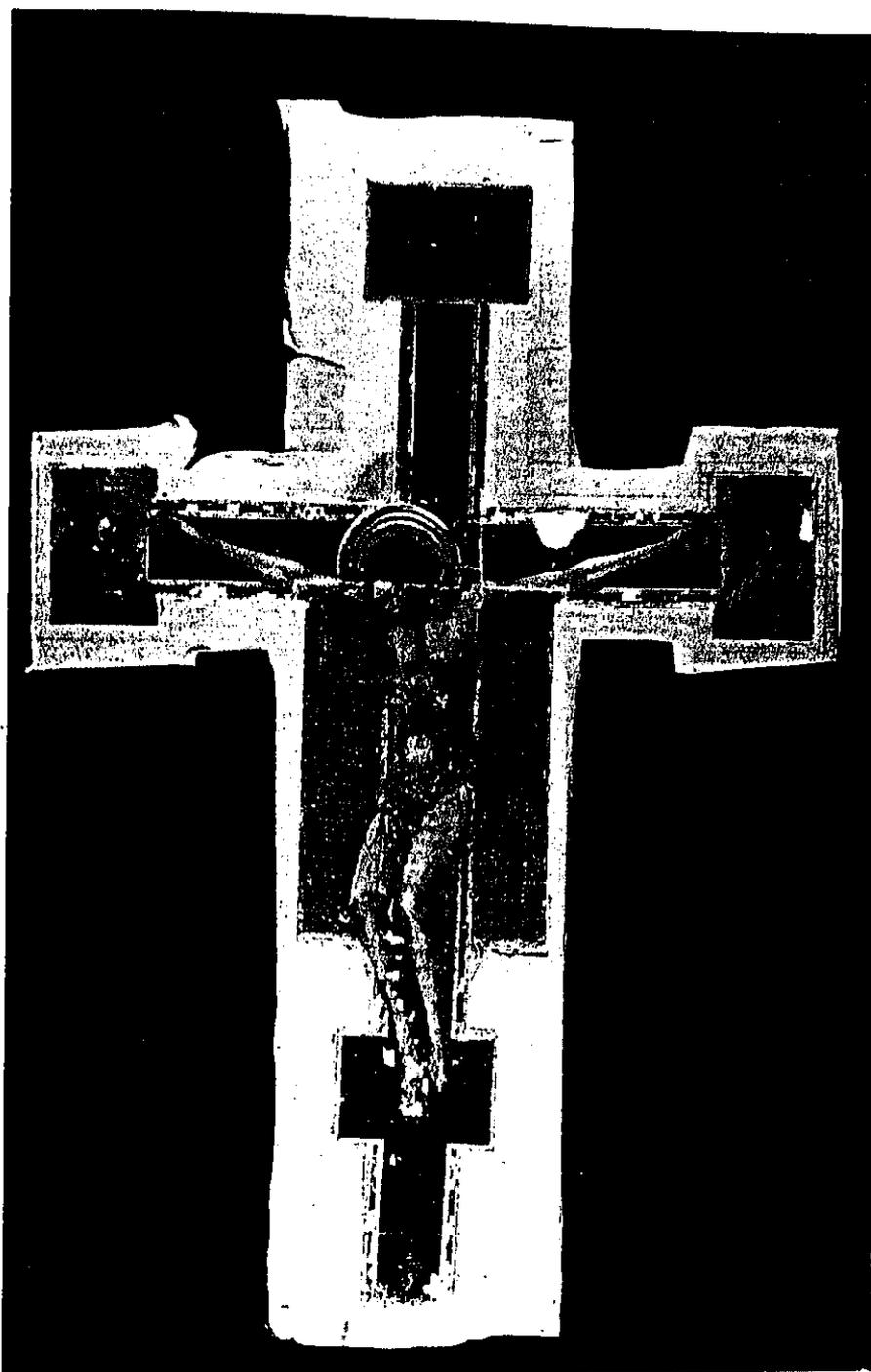


Fig.31. Soporte de PVC laminado con resina epoxi y fibra de carbono empleado en el traslado de la "Croce Dipinta" de Lippo di Bienivieni.

117

Sobre esta restauración vid.: U. Baldini, A. Paolucci, A. Forlani y M. Ciatti: "Croce dipinta", Capolavori e Restauri, Firenze, Palazzo Vecchio, 14 Dic. 1986 - 26 Apr. 1987, pp.455-468.



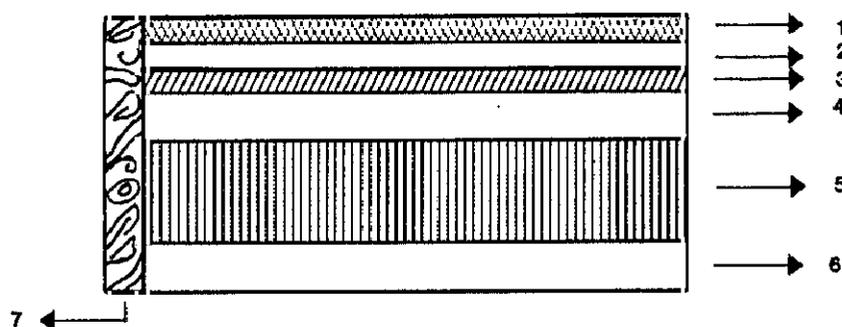
LIPO DI BIENVIVENI: "Crucifijo" (s.XIV).
Pintura al temple sobre tabla ,(425 x 312 cm)
Cappella Canigiani-Cerchi, Museo de la Santa Croce, Firenze.

Fot.102. Aspecto de la obra durante la restauración. (El esquema del soporte al que fue trasladada esta obra es el representado en la fig.31)

6.4.3. Soportes estratificados

6.4.3.1. Soporte realizado con resinas estratificadas

Un ejemplo de que las resinas termoestables por sí solas pueden funcionar como soporte, sin necesidad de un espumado, lo tenemos en el soporte creado en 1963, para el traslado de un mural Checoslovaco que representa la muerte de la Virgen, de la Iglesia de Hustopec¹¹⁸. Su estructura es la siguiente (fig.32):



1. Capa pictórica
2. Enlucido (caseinato cálcico)
3. Capa impermeable de resina epoxi S1300
4. Resina epoxi S2100 con polvo de mármol
5. Resina epoxi S2100 con fibra de vidrio
6. Resina epoxi S2100 con polvo de mármol
7. Listones de madera como refuerzo

Fig.32. Soporte de resina epoxi con diversas cargas estratificadas, empleado en el traslado de las pinturas murales de la Iglesia de Hustopec en Checoslovaquia.

118

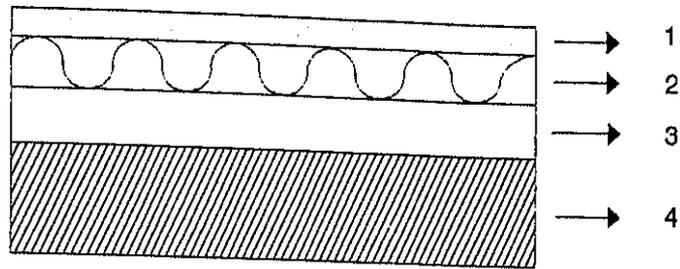
Amplia información en: J. Josefík y F. Sysel, "Transfer of a Czechoslovak Mural Painting", Studies in Conservation, Journal of I.I.C., vol.9, nº3, August 1964, pp.107-115.

El grave inconveniente que encontramos en este tipo de soporte es su mala relación peso- rigidez.

Otro ejemplo de soporte estratificado se realizó en el traslado del "Crucifijo" sobre madera de Cimabue en 1983¹¹⁹. En este caso, el sustrato empleado para sostener la imagen es simplemente una combinación entre una resina poliéster y un tejido de fibra de vidrio de espesor medio (7mm.), anisótropo (deformación no direccional). El coeficiente de dilatación entre la fibra de vidrio y la resina es mínimo: 1mm, lo cual es una garantía de la estabilidad del nuevo soporte. A este estrato se le superpuso otro de resina poliéster flexible (Gabraster 1201) mezclada a partes iguales con un copolímero acrílico con plastificación interna (Crilato L148). Esta mezcla mantiene a largo plazo su consistencia viscosa. Esta capa permanentemente viscosa permite efectuar, en cualquier momento, reparaciones eventuales (según los restauradores encargados del proyecto, la característica del adhesivo es su rápida y perfecta reversibilidad),(fig.33 y fot.103).

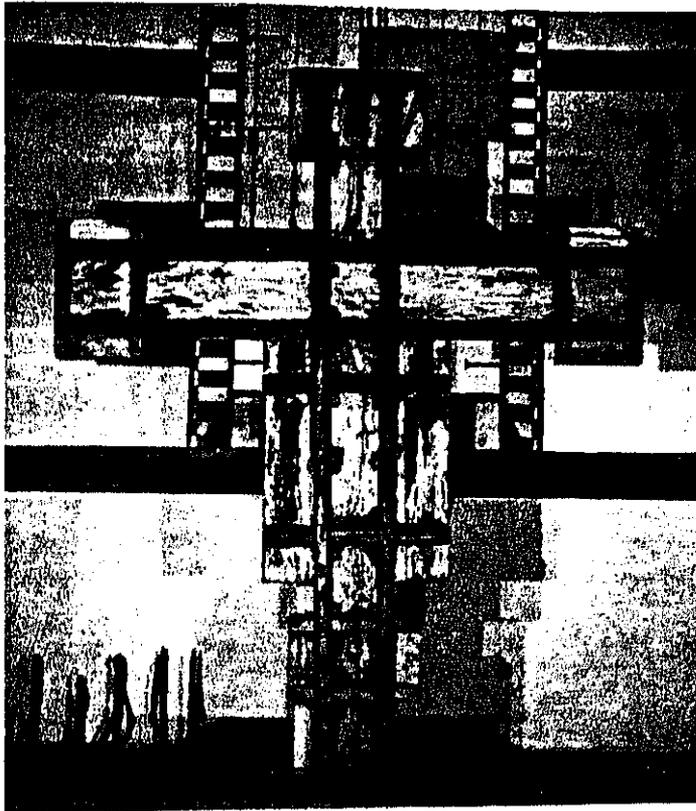
119

Vid.: U Baldini y O. Casazza, op.cit., 1983, pp.39-40.



1. Pintura
2. Tela
3. Adhesivo de resina acrílica (Grilato L148) y Resina poliéster (Gabraster 1201)
4. Resina poliéster (Gabraster) y tejido de fibra de vidrio (Mat) . Espesor medio de 7mm.

Fig.33. Soporte de resina poliéster y fibra de vidrio realizado para trasladar el "Crucifijo" de Cimabue.

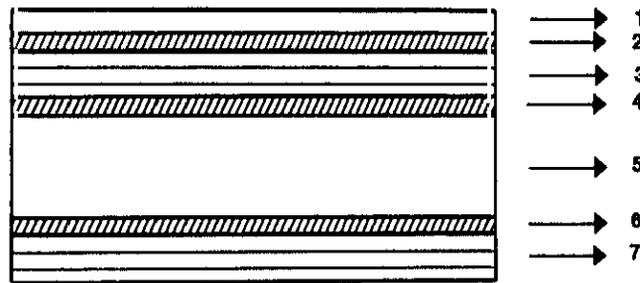


Fot.103. CIMABUE, "Crucifijo". Aspecto de la obra después de su traslado al nuevo soporte.

6.4.3.2. Soportes estratificados de madera

120

En 1976, Louis Pomerantz, realizó un soporte a base de distintos estratos de madera para transferir cuadros. Su sistema consistía en pegar a ambos lados de un panel de madera de balsa, tres capas de abedul finlandés de 0'83mm. cada una. La novedad del sistema fue el empleo de Beva 371 como adhesivo, por sus buenas propiedades adherentes y elevada reversibilidad con calor. Todo el proceso lo realizó en la "mesa caliente" (fig.34).



1. Pintura
2. Beva 371
3. Tres capas de abedul finlandés
4. Cola de contacto
5. Fibras de madera de balsa
6. Cola de Contacto
7. Tres Capas de Abedul finlandés

Fig.34. Ejemplo de soporte estratificado con distintas maderas.

120

Vid., L. Pomerantz, "Paintings: A Method of Mounting on a Rigid Support", A.I.C., Michigan, 29 May-1 June, 1976, pp.98-101.

6.5. CONSTRUCCIONES EN NIDO DE ABEJA

El uso de construcciones en nido de abeja como soporte auxiliar comienza, como veremos, en 1957 y se desarrolla con la comercialización de los paneles "sandwich" industriales (vid., cap.7 de la memoria).

El restaurador puede emplear estos paneles estables y livianos ya fabricados, o puede diseñar su propio "soporte alveolar" con todo tipo de elementos adaptándolo a sus necesidades. Por ejemplo, son muy interesantes las estructuras experimentales creadas por el grupo polaco dirigido por Bozana Bialek - Wozniakiewicz, preparadas con pelotas de ping-pong o cartones de envases de huevos reforzados con resinas .

6.5.1. Soportes de nido de abeja de papel

Stefan Slabczynski, entonces Jefe de Restauración de la Tate Gallery de Londres, construyó en 1957, uno de los primeros paneles con núcleo alveolar. Concretamente se trataba de un panel con núcleo de nido de abeja de papel Kraft,

121

Vid.: B. Bialek - Wozniakiewicz, "Zastowaine nowych typow konstrukcji przeladkowych jako podlozy do przeniesionych malowidel sciennych", Rev. Ochrona Zabytkow, 27, n°3, 1974, pp.225-228.

y con láminas externas de masonita, que empleó como soporte
122
para un cuadro de William Blake .

En 1971, Alexander Dunluce, sucesor de Slabczynski, montó un gran cuadro de Robert Delaunay, en un panel con centro de nido de abeja de papel y láminas externas de fibra de vidrio, con PVC como adhesivo. También trasladó un cuadro de Picasso a un panel construido por un núcleo de nido de abeja de papel y dos láminas de fibra de vidrio, con una capa de intervención formada por un tisú de morera y cera resina .
123

Los soportes en nido de abeja de papel, pueden combinarse con materiales tradicionales tales como la madera. Un ejemplo de ello lo tenemos en la restauración en 1976, de la obra sobre madera titulada: "El Juicio de Paris"
124
(The Art Institute of Chicago) . Este panel fue transferido a un nuevo soporte con núcleo alveolar de papel laminado con contrachapado de madera (fig.35).

122

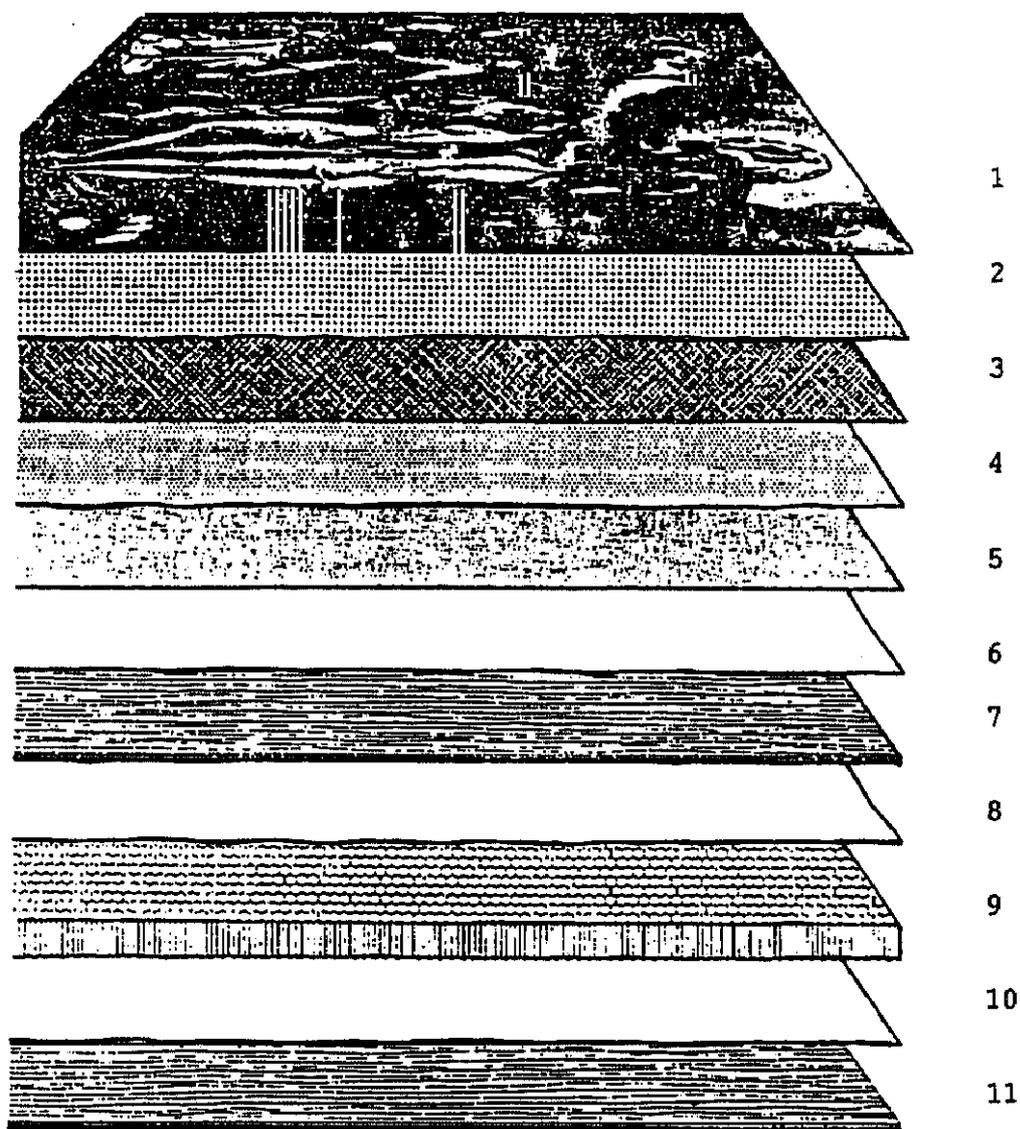
Vid., M. Mecklenburg y J. Webster, "Aluminium honeycomb supports: their fabrication and use in painting conservation", Studies in Conservation, nº22, 1977, pp.177-189.

123

M. Mecklenburg y J. Webster, op.cit., 1977, p.177.

124

Amplia información en: T. Lennon, "The transfer of a sixteenth century panel painting: use of a lightweight paper honeycomb material as a support", Conservation of Wood in paintings and the Decorative Arts, Oxford, Sept. 1978, pp.185-189.



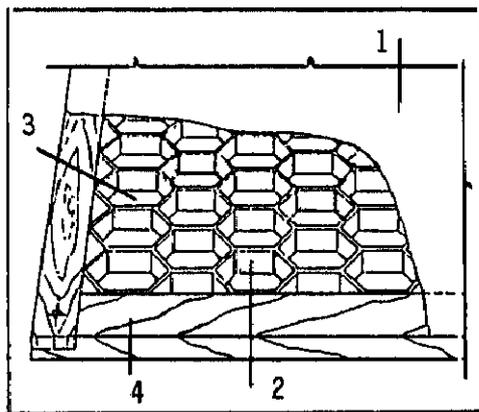
1. Pintura
2. Preparación
3. Gasas
4. Cera-resina
5. Lino
6. Adhesivo epoxi
7. Contrachapado
8. Adhesivo epoxi
9. Nido de abeja de papel
10. Adhesivo epoxi
11. Contrachapado

Fig.35. Ejemplo de soporte con núcleo de nido de abeja de papel laminado con contrachapado, empleado en el traslado del "Juicio de Paris".

Actualmente, los laboratorios de Torino y Aramengo, son quizá los centros dónde más se ha investigado sobre soportes de nido de abeja de cartón con resina poliéster, fundamentalmente para el traslado de pinturas sobre tabla. Esquemáticamente, podríamos indicar que sus creaciones parten de dos diseños fundamentales que pueden modificarse según convenga :

125

a) Soporte tipo estándar en resina poliéster con núcleo de nido de abeja de cartón (fig.36).



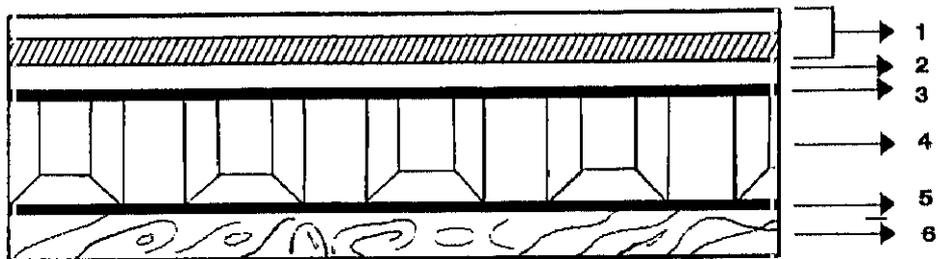
1. Tejido de fibra de vidrio y resina poliéster (Gabraister)
2. Cartón de nido de abeja prensado impregnado de resina ignífuga (Suber Plast 2)
3. Tejido de fibra de vidrio y resina poliéster (Gabraister)
4. Listón perimetral de madera deshidratada

Fig.36. Ejemplo de soporte con núcleo de nido de abeja de cartón y láminas externas de resina poliéster.

125

Información detallada en: G. Nicola y R. Arosio, "Supporti rigidi in resina poliesteri con anima a nido d'ape", Restauri in Piemonte 1968/1971, Torino, 1971. pp.19-21.

Un ejemplo de este tipo de soporte como refuerzo del original, lo realizó María Fernanda Viana para trasladar una pintura sobre tabla de Carlo Crivelli datada en 1487. Como ella misma afirma ¹²⁶, la elección del nuevo soporte estuvo supeditada al gran tamaño y espesor del original, de forma que el nuevo soporte respetase el formato primitivo pero tuviera menor peso. Su esquema es el siguiente (fig.37):



1. Pintura con soporte de madera original.
2. Corcho de 2mm. como capa de intervención
3. Lámina de fibra de vidrio y resina poliéster
4. Nido de abeja de papel
5. Lámina de fibra de vidrio y resina poliéster
(las tres láminas se pegan bajo vacío con Araldite)
6. Capa de madera de pino.

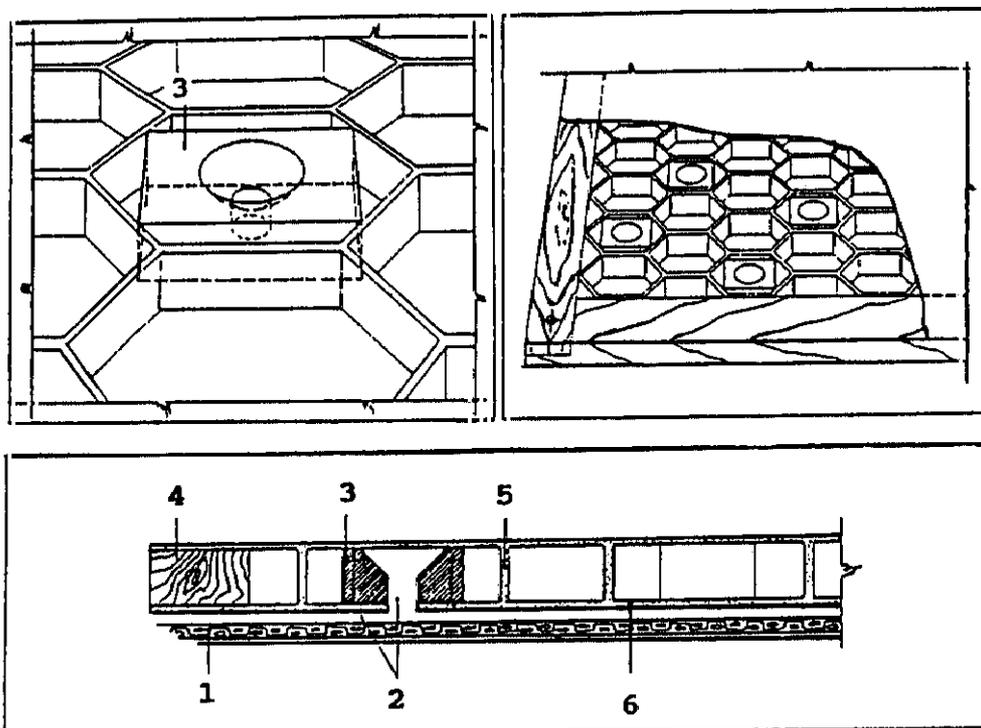
Fig.37. Ejemplo de soporte con núcleo alveolar de papel realizado para el traslado de un panel de Carlo Crivelli.

126

Amplia información en: M.F. Viana, "A panel transfer problem", Conservation of Wood in painting and the Decorative Arts, Oxford, 1976, pp.181-184.

b) Soporte rígido en resina poliéster y núcleo de nido de abeja de cartón, con anclajes cónico-cilíndricos.

Este tipo de soporte fue creado especialmente para reforzar pinturas ya arrancadas y transportadas sobre tela. Su esquema general es el siguiente (fig.38):



1. Pintura
2. Estrato sutil de caolín con plastificante de secado rápido. Se rellenan también los agujeros.
3. Capa de intervención: Dados de poliuretano (tienen forma de cáliz y se coloca la parte más amplia hacia abajo y la más estrecha hacia arriba)
4. Tejido de fibra de vidrio y resina poliéster
5. Cartón en nido de abeja
6. Tejido de fibra de vidrio y resina poliéster

Fig.38. Soporte rígido con núcleo de nido de abeja de cartón y anclajes cónico-cilíndricos de poliuretano diseñado por los Laboratorios de Torino y Aramego.

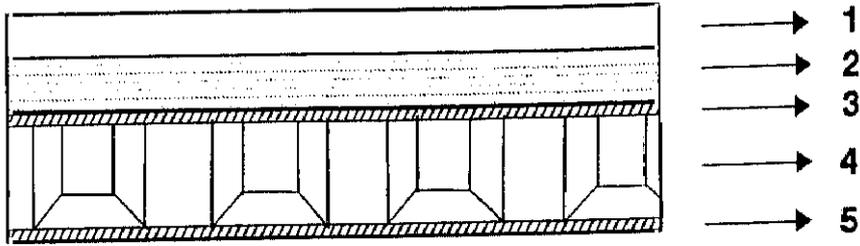
Como se aprecia, su diseño es muy parecido al primero, con la diferencia de que entre las celdillas se incrustan unos dados de poliuretano, que pueden ser cónico-cilíndricos o con forma de cáliz. Estos dados se colocan como capa de intervención. Tal como aparece en detalle en la figura 38, su parte más estrecha va pegada al fresco arrancado y la más gruesa forma el reverso del soporte.

Este soporte conjuga las buenas cualidades de los sistemas tradicionales y aquellas de los materiales sintéticos. Se conservan las ventajas de pegado (superficie plana y tersa) sin que la unión al antiguo soporte se dé en toda la superficie, limitándose únicamente a los botones de anclaje. La reversibilidad, sin traumas, está asegurada mediante la eliminación mecánica de los botones de poliuretano.

Los soportes realizados con nido de abeja de papel pueden ver aumentada su resistencia, si se les protege con un baño en una resina fenólica. Un ejemplo de ello se da en las pinturas murales mejicanas de Teotihuacán ¹²⁷ (fig.39).

127

Amplia información en: CIBA-GEIGY, "New Walls for Mexico's historic murals", Technical Notes, nº5, 1978, pp.5-7.



1. Pintura
2. Capa de intervención: Espuma de poliestireno
3. Fibra de vidrio con resina epoxi (Araldite)
4. Papel Kraft impregnado por resinas fenólicas
5. Fibra de vidrio con resina epoxi

Fig.39. Esquema del soporte realizado para el traslado de las pinturas murales de Teotihuacán, en el que el núcleo alveolar de papel Kraft se reforzó impregnándolo de resina fenólica.

Un último ejemplo de estructuras en nido de abeja como soporte para obras trasladadas, lo encontramos en las pinturas sobre papel (pegadas a un tablero de contrachapado) de la pintora Emily Carr que se pegaron a un nuevo soporte tipo "sandwich" de Hexcel¹²⁸. El nuevo soporte sólido estaba formado por láminas externas de cuatro capas de cartón de trapos desacidificado, de 0'5cm. El núcleo se realizó con nido de abeja de papel Kraft, impregnado de resina fenólica de un grosor de 1'5cm. de Hexcel¹²⁹. Todo el trabajo se realizó con mesa caliente a 70°C. La superficie abierta del

128

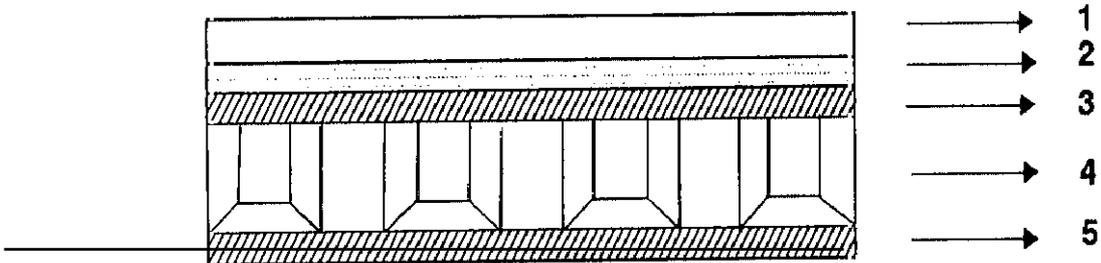
Información detallada en: B.K. Keyser, "A method of treating oil paintings on paper mountes on plywood: two examples by Emily Carr", I.I.C., vol.5, nº1-2, Spring 1980, pp.17-21.

129

Información sobre Hexcel Corporation puede obtenerse en el "Directorio de Casas Comerciales" que se encuentra en el Apéndice B de la memoria.

sandwich se cubrió con resina epoxi, menos los bordes que se pegaron a un listón de madera con PVC.

A este soporte se le incorporó una capa de intervención de papel japonés que se interpone entre el papel original y el sandwich. Además el adhesivo empleado fue Primal AC-33, que puede ser removido por calor o por medio de vapores de tolueno. Si sobra algo de adhesivo por los bordes, puede ser removido con solventes orgánicos, sin que se vea afectada la adhesión entre el papel japonés y el papel original (fig.40).

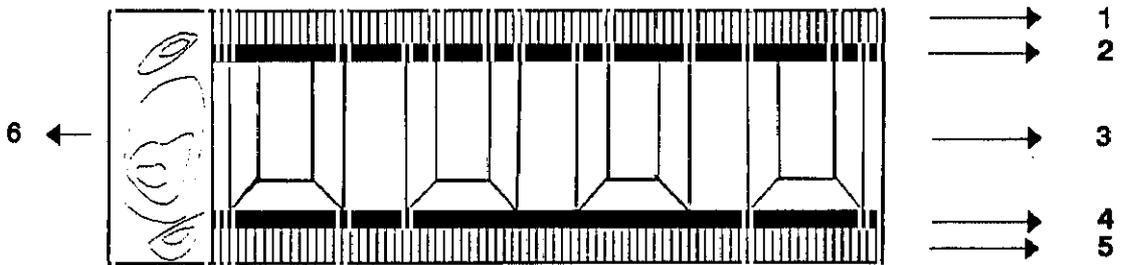


1. Pintura sobre papel
2. Forro de papel japonés
3. Láminas de cartón de trapos deacidificado
4. Nido de abeja de papel Kraft impregnado con resina fenólica
5. Láminas de cartón de trapos deacidificado

Fig.40. Ejemplo de pintura sobre papel trasladada a un soporte alveolar con láminas de cartón de trapos deacidificado.

6.5.2. Soportes en nido de abeja de aluminio

En la primavera de 1974, el Washington Conservation Studio asumió la restauración del cuadro de grandes dimensiones de Thomas Moran: "El Gran Cañón de Yellowstone"¹³⁰. La obra se trasladó a un soporte de nido de abeja de aluminio (Hexcel ACG, 1/4 en celdilla y 9/16 en grosor), con caras externas de este mismo material. El adhesivo empleado fue la resina epoxi Hexcelite HP 326, y todo el proceso de pegado se realizó en la mesa caliente, (Fig.41).



1. Lámina de aluminio
2. Adhesivo
3. Nido de abeja de aluminio
4. Adhesivo
5. Lámina de aluminio
6. Borde de madera

Fig.41. Soporte con núcleo en nido de abeja de aluminio realizado para el traslado del "Gran Cañón de Yellowstone".

130

M. Meclenburg y J. Webster, op.cit., 1977, pp.178-189.

Este mismo sistema se ha empleado con frecuencia para reforzar obras de grandes dimensiones. Otro conocido ejemplo en el que se ha utilizado el mismo sistema anterior (fig.41), lo tenemos en la tabla de grandes dimensiones "La Asunción de la Virgen María" de Antoine Plamondon ¹³¹.

Es frecuente encontrar soportes de nido de abeja de aluminio embutidos en dos planchas de un tejido sintético y resina. Este sistema es más económico y ligero que el anterior y también resiste todo tipo de cargas y estratos añadidos. Dos ejemplos de ello son el soporte alveolar empleado en la restauración (1988) de las pinturas murales de la Capilla de la Universidad de Valencia ¹³² (fig.42 y fot.104), y en el las pinturas murales del "Triunfo de la Muerte" (Galería Nacional de Sicilia) ¹³³ restauradas en 1976, (fig.43 y fot.105).

131

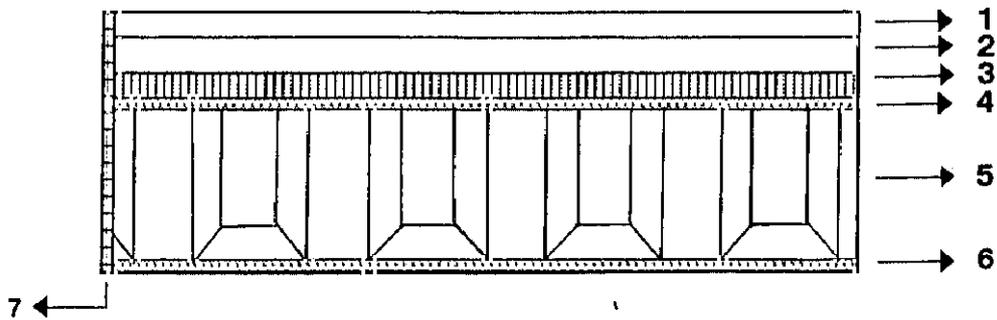
Vid.: P. Vogel, "L'assomption de la Vierge Marie d'Antoine Plamondon", Bull. I.I.C., Février 1989, pp.12-13.

132

M. Monraval y L. Krougly, "Las pinturas murales de la Capilla de la Universitat de València. Estudi general. Trabajo práctico de transferencia a un nuevo soporte", VIII Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, 1990, pp.204-209.

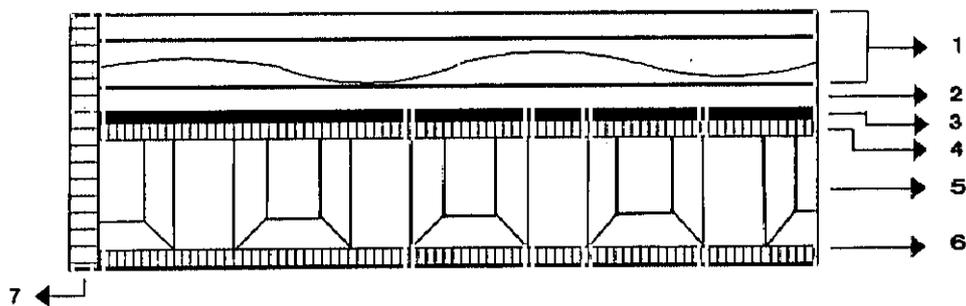
133

Amplia información en: M. Cordaro, "Resconto degli interventi dell'Istituto Centrale del Restauro sul Trionfo della Morte", cat. Il "Trionfo della Morte" di Palermo, ed. Sellerio, Palermo, luglio-ottobre 1989, pp.60-85.



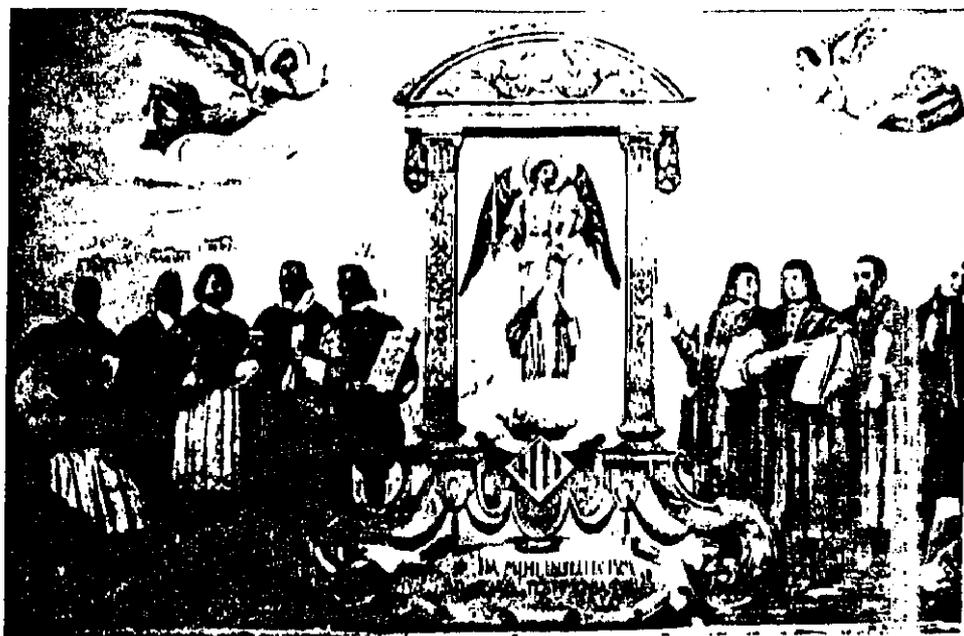
1. Pintura
2. Capa de PVA (acetato de polivinilo) con carga de origen volcánico (piedra pómez) de granulometría harinosa y agua.
3. Capa de PVA y piedra pómez (grano grueso) y agua.
4. Fibra de vidrio y resina epoxi
5. Celdillas de aluminio
6. Fibra de vidrio y resina epoxi
7. Sellado de bordes con resina epoxi y sílice.

Fig.42. Ejemplo de soporte alveolar de aluminio laminado con fibra de vidrio y resina epoxi, empleado en el traslado de las pinturas murales de la Capilla de la Universidad de Valencia.



1. Pintura y telas de refuerzo
2. Corcho de 5mm. como capa de intervención
3. Araldite LY554.
4. Resina y fibra de vidrio
5. Nido de abeja de aluminio "Aerolam F" de CIBA-GEIGY
6. Resina y fibra de vidrio
7. Bastidor de aluminio

Fig.43. Soporte con nido de abeja industrial "Aerolam F" de CIBA-GEIGY, para el traslado del "Triunfo de la Muerte".



Fot.104. Detalle de las pinturas murales de la capilla de la Universidad de Valencia (Presbiterio. Muro de la Epístola). Ejemplo de pintura trasladada a un soporte alveolar con celdillas de aluminio. (Fot. M Monraval y L. Krougly).

Fot.105. "El Triunfo de la Muerte" (Detalle). Ejemplo de obra trasladada a un soporte en nido de abeja de aluminio (Galería Nacional de Sicilia).



Como en el caso del nido de abeja de papel, los soportes alveolares de metal pueden combinarse con materiales plásticos celulares de forma que éstos se inserten en sus celdillas. Algunos ejemplos de estas combinaciones las tenemos en los soportes para dos pinturas del Maestro de Cappenberg realizados en el 84¹³⁴. En este caso se construyó un armazón formado por un "sandwich" de nido de abeja de aluminio recubierto por fibra de vidrio, cubierto por un estrato de pequeños botones de espuma de poliestireno, que actúan como capa de intervención (amortiguan los movimientos del soporte original de madera), que a su vez se recubren con una plancha de madera de balsa (para aligerar el peso), (fig.44).

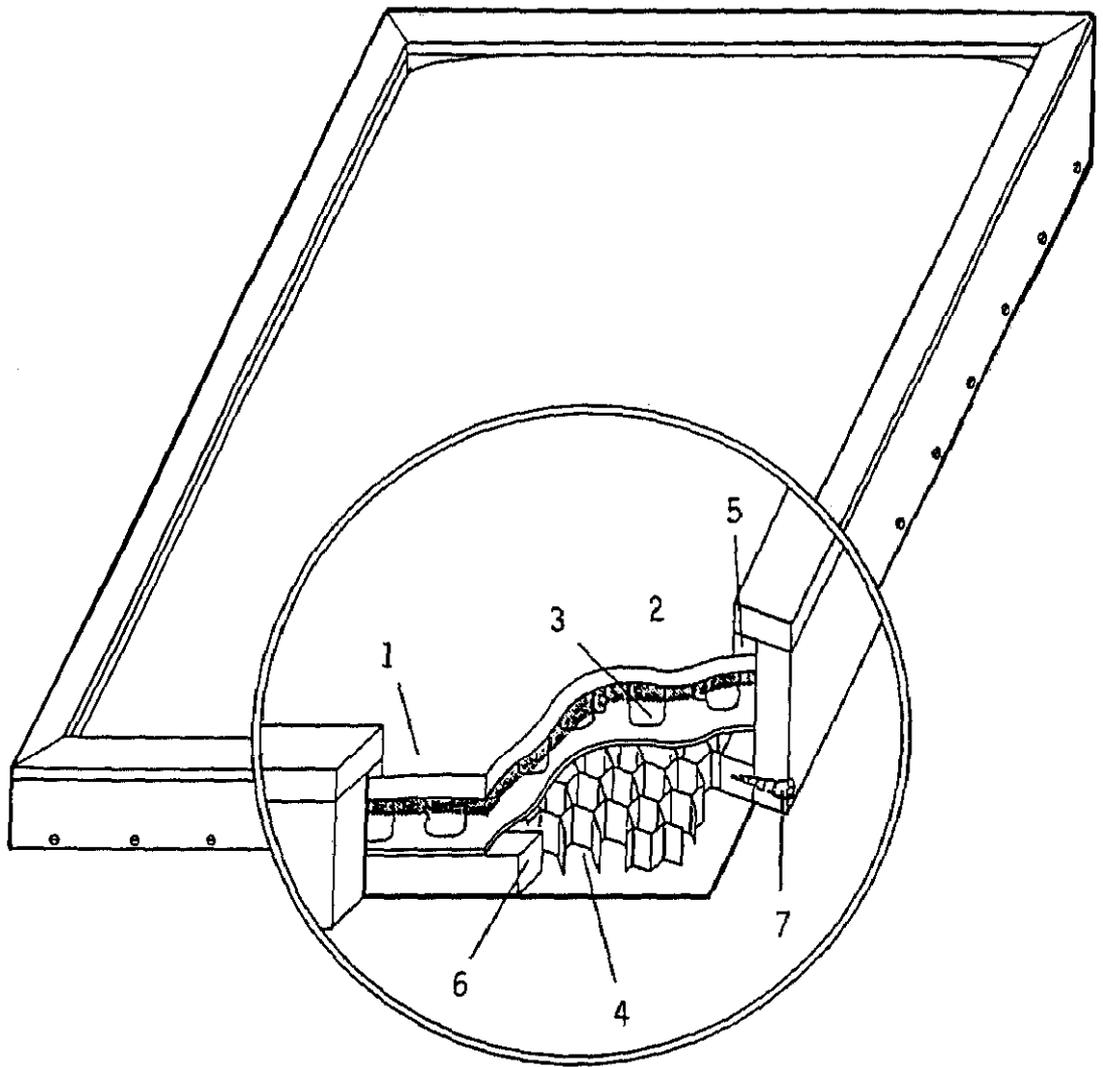
Otro ejemplo se dio en el traslado en 1981 de los frescos medievales de la Capilla nº11 de Cherven en Bulgaria¹³⁵. Este sistema es más sencillo que el anterior y consistió en rellenar las celdillas de aluminio con poliuretano (PH4056 MCP), para aumentar su capacidad aislante frente a cualquier efecto degradante, sin que el peso del panel se viera fuertemente incrementado (fig.45).

134

Vid.: J. Brough y J. Dunkerton, "The construction of panel trays for two paintings by the Master o Cappenberg", National Gallery Technical Bulletin, vol.8, London, 1984, pp.63-70.

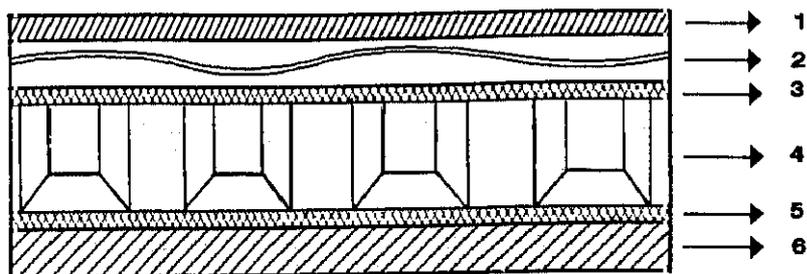
135

P. Mariotti, op. cit., 1983, p. 89.



1. Pintura sobre tabla
2. Armazón
3. Botones de espuma de poliuretano
4. Nido de abeja de aluminio recubierto por fibra de vidrio
5. Listones de madera de balsa
6. Inserciones de madera
7. Tornillos embutidos

Fig.44. Soporte en "sandwich" de nido de abeja de papel con distintos estratos empleado en la restauración de dos pinturas del "Maestro de Capenberg".



1. Pintura
2. Capa de intervención : Dos capas de tejido de algodón encoladas con un apresto de caseína y cal muerta
3. Lana de vidrio y resina epoxi (Epoxi AP1)
4. Celdilla de aluminio rellena de Poliuretano PH4056 MCP
5. Lana de vidrio y resina epoxi (Epoxa AP1)
6. Una lámina de Styropore de 0'5cm. pegado con cal muerta y caseína

Fig.45. Soporte alveolar de celdilla de aluminio rellena de poliuretano y laminado con fibra de vidrio y resina epoxi empleados en la Capilla nº11 de Cherven (Bulgaria).

Concluimos indicando que los soportes para el traslado de pinturas expuestas, son un sucinto ejemplo de algunas de las estructuras creadas por conservadores y restauradores para salvaguardar el patrimonio pictórico mundial. Como hemos visto, los primeros soportes de refuerzo eran toscos y presentaban combinaciones arbitrarias de materiales. Actualmente, sin embargo, los soportes de refuerzo tienen una excelente relación entre estabilidad / peso / rigidez, y un estudiado diseño.

A pesar de los avances en la creación de los soportes para pinturas trasladadas, bajo nuestro punto de vista algunos de ellos presentan el inconveniente de que su estabilidad no ha sido lo suficientemente estudiada por medios científico - técnicos. Las pruebas de degradación a las que han sido sometidos son generalmente empíricas y un tanto arbitrarias .

136

Indicar, finalmente, que estos soportes empleados por conservadores y restauradores para sostener pinturas, mosaicos, etc, podrían tener interesantes aplicaciones en el campo pictórico, por lo que hemos tomado algunos de ellos como punto de partida de los nuevos soportes propuestos (con la particularidad de que todos se han sometido a los ensayos pertinentes).

136

Un claro ejemplo de la arbitrariedad con que se realizan los ensayos de los soportes para pinturas trasladadas, puede encontrarse en el artículo de Anne I'Ons: "Fabrisil and Velcro, a new lining attachment technique for fragile, damaged, or new painting supports" (ICCM Bulletin, vol.VIII, nº3 y 4, December 1982, pp.5-9), en el que las pruebas realizadas para comprobar la resistencia mecánica de una serie de soportes, consistieron en golpear con las manos el anverso y reverso de los mismos, y en lanzarlos sobre el respaldo de una silla desde una escalera. Según los autores, este tratamiento simulaba los posibles daños mecánicos que los soportes podían sufrir durante su manipulación, transporte o almacenaje.

7. LOS PANELES TIPO "SANDWICH" INDUSTRIALES

"No lea mis principios quien no sea matemático".

137

Leonardo da Vinci

7.1. PANELES DE MULTICOMPONENTES (TIPO "SANDWICH")

7.1.1. Descripción

Una de las múltiples posibilidades que ofrecen los productos sintéticos es la de obtener estructuras en las que se combinen dos o más materiales, mejorando su resistencia (al incrementar el área transversal) sin aumentar considerablemente su peso.

Estos paneles reciben diferentes denominaciones en el campo industrial (paneles multicapa, paneles de estructura compuesta, etc.) pero habitualmente se les conoce por paneles tipo "sandwich" o simplemente por su terminología inglesa "sandwich panels".

Un panel tipo "sandwich" es una combinación de dos láminas delgadas de un material resistente que cubren por

137

Leonardo da Vinci, Tratado de Pintura, (ed. A. González), 1982, p.91.

ambos lados a otra de material denso y ligero. Dicho de otro modo, una estructura sandwich es un caso particular de material "multicapa" constituido por dos niveles delgados, rígidos y resistentes llamados "caras externas", que están adheridos en superficie interna, a un estrato de mayor espesor llamado "núcleo", realizado con un material ligero.

La unión entre las láminas externas y el núcleo puede realizarse con elementos mecánicos, aunque, lo habitual, es utilizar un adhesivo, cuyas propiedades tienen gran importancia en la estabilidad y características del panel tipo "sandwich" (Fig.46).

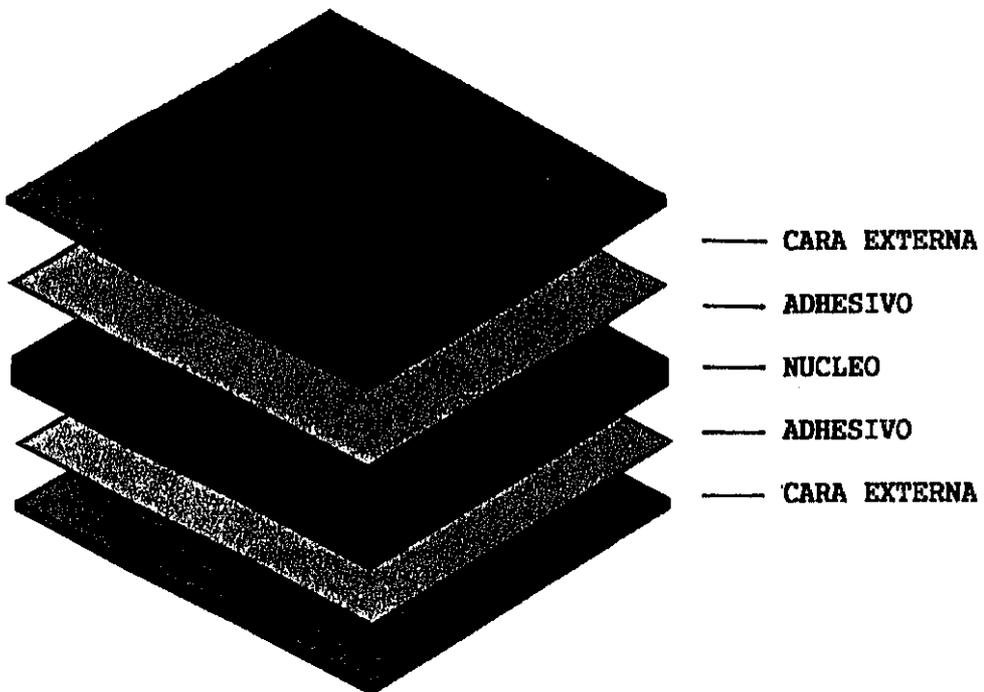


Fig.46. Estructura general de un panel de multicomponentes.

Los primeros diseños de paneles tipo "sandwich" tienen su origen en el siglo XIX, pero su desarrollo y

utilización se produce en el siglo XX, como consecuencia de las necesidades de la industria aeronáutica que precisaba un máximo aprovechamiento de la relación peso-resistencia.

Precisamente, la primera estructura compuesta fue el ala de un avión con núcleo alveolar de papel, construida en 1946¹³⁸. Hoy, los aviones civiles están casi enteramente fabricados con estos paneles, desde las alas y timonería, hasta los tabiques, asientos, mobiliario, suelo, etc. (fots.106, 107 y 108).

También se emplean en la industria naval, dónde se han llegado a fabricar cascos con estructuras en las que no sólo se ahorra peso, sino que se obtiene una mayor flotación (fot.109).

En el campo de la arquitectura su uso es extenso. Cubre desde el interiorismo (mamparas de separación, puertas, etc.), hasta elementos exteriores (tabiques, techos, etc.), (fots.110 y 111).

Otro campo de aplicaciones es la construcción de cámaras frigoríficas, carrocerías para camiones

138

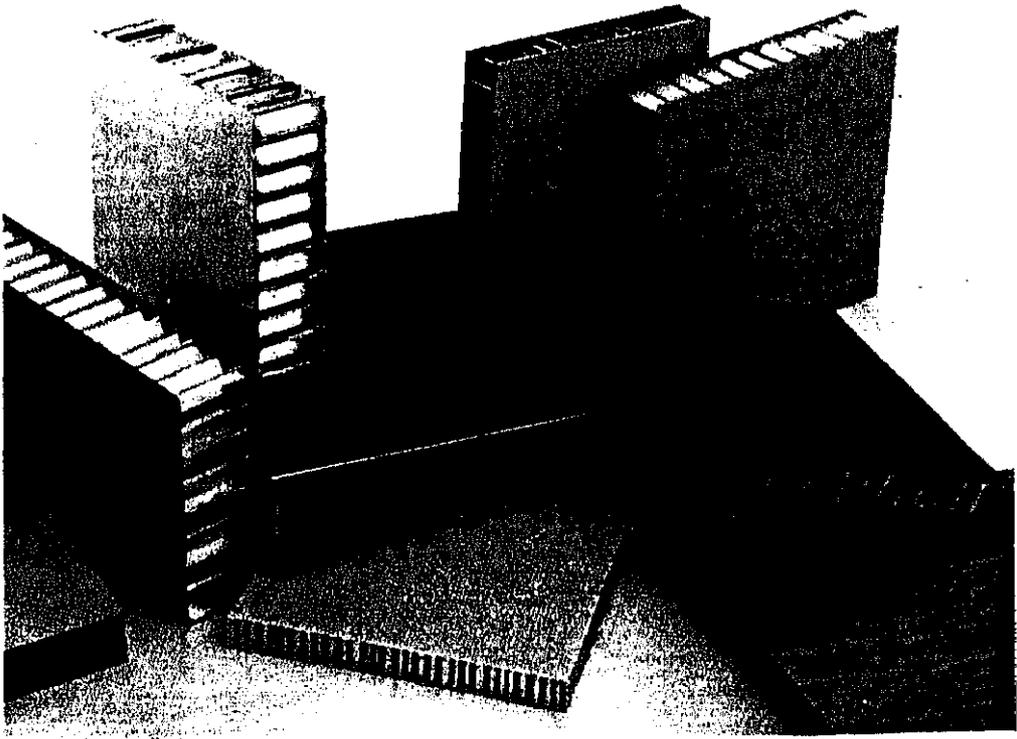
Vid., F. Liesa y L. Bilurbina, Adhesivos Industriales, Barcelona, 1990, p.76.

frigoríficos, elementos interiores en vagones de ferrocarril, caravanas, containers, cisternas, y un largo etcétera.

Como posteriormente veremos, los paneles para las industrias aeronáutica, naval o de la construcción requieren una serie de características específicas que en otras aplicaciones no son necesarias, o al menos no tan restrictivas, como alta resistencia y perdurabilidad ante los agentes atmosféricos, aislamiento térmico y acústico, carácter ignífugo, etc.

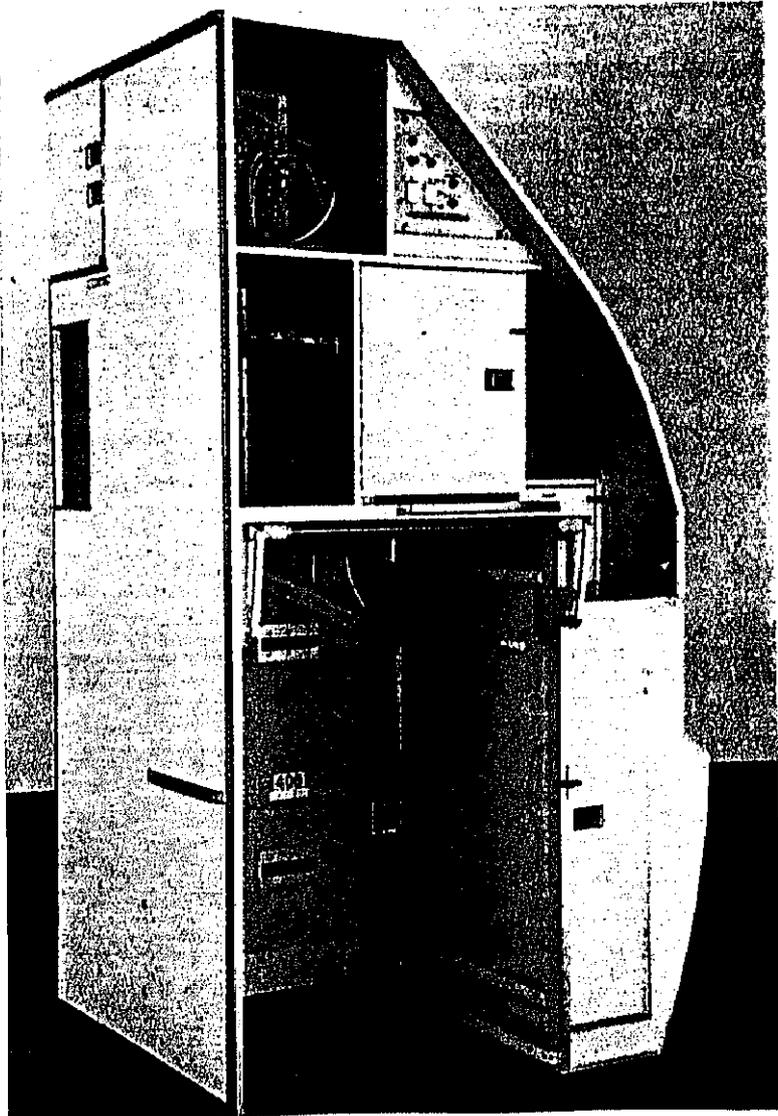
La gran expansión industrial de estos paneles se debe a que son estructuras rígidas, ligeras, estables y de menor coste en comparación con otros materiales a los que sustituyen. Como material estructural, sus características únicas se pueden usar para crear nuevos productos, mejorar productos existentes y facilitar diversos problemas de diseño. Todo ello favorece que aumente su calidad y baje su precio.

Pese a la gran difusión y aceptación de los paneles "sandwich" en las áreas mencionadas, no hemos encontrado ninguna aplicación de los mismos en el campo pictórico. Como veremos, en los nuevos soportes rígidos creados se retoma y manipula la estructura en "sandwich" adaptándola a las necesidades artísticas requeridas.



Fot.106. Paneles tipo "sandwich" con núcleo de nido de abeja utilizados en las industrias aeronáutica y naval.

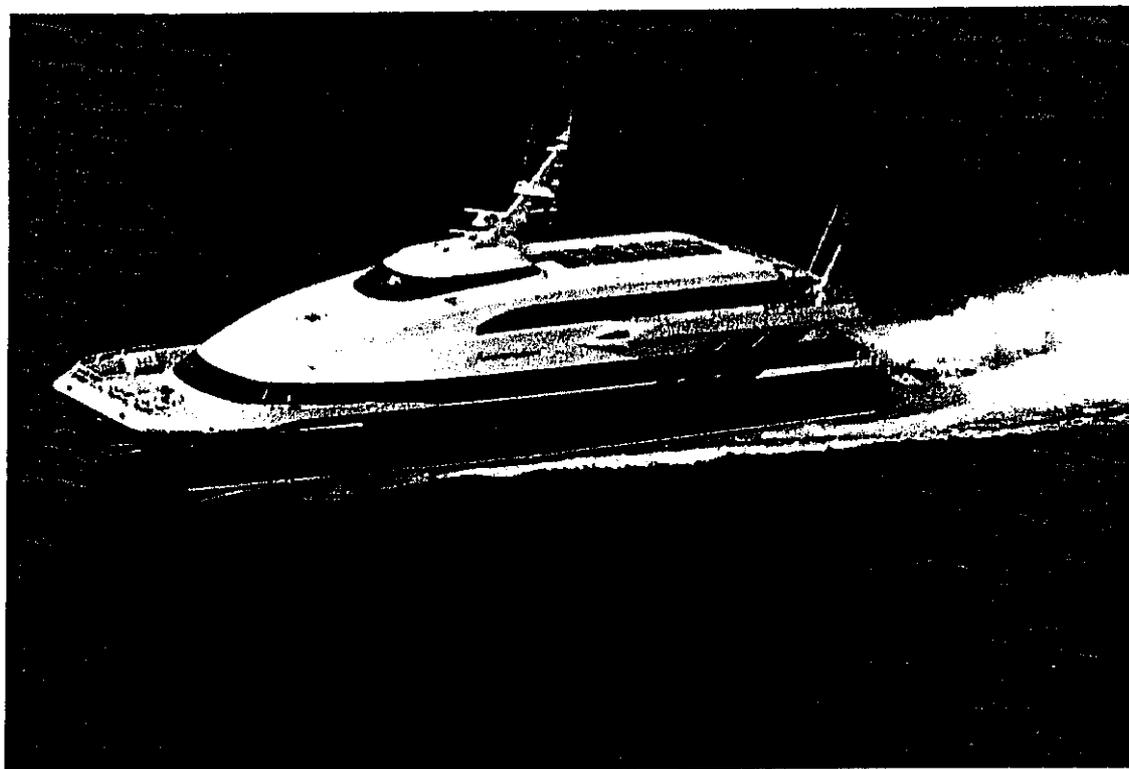
Fot.107. El mobiliario de los aviones, de fácil manipulación y gran resistencia al fuego, está generalmente realizado con paneles tipo "sandwich"; el que aparece en la foto inferior está realizado con Hexcelite 200 de Hexcel (con núcleo de nomex y caras externas de fibra de vidrio), (Fots. cortesía de HEXCEL, S.A.)

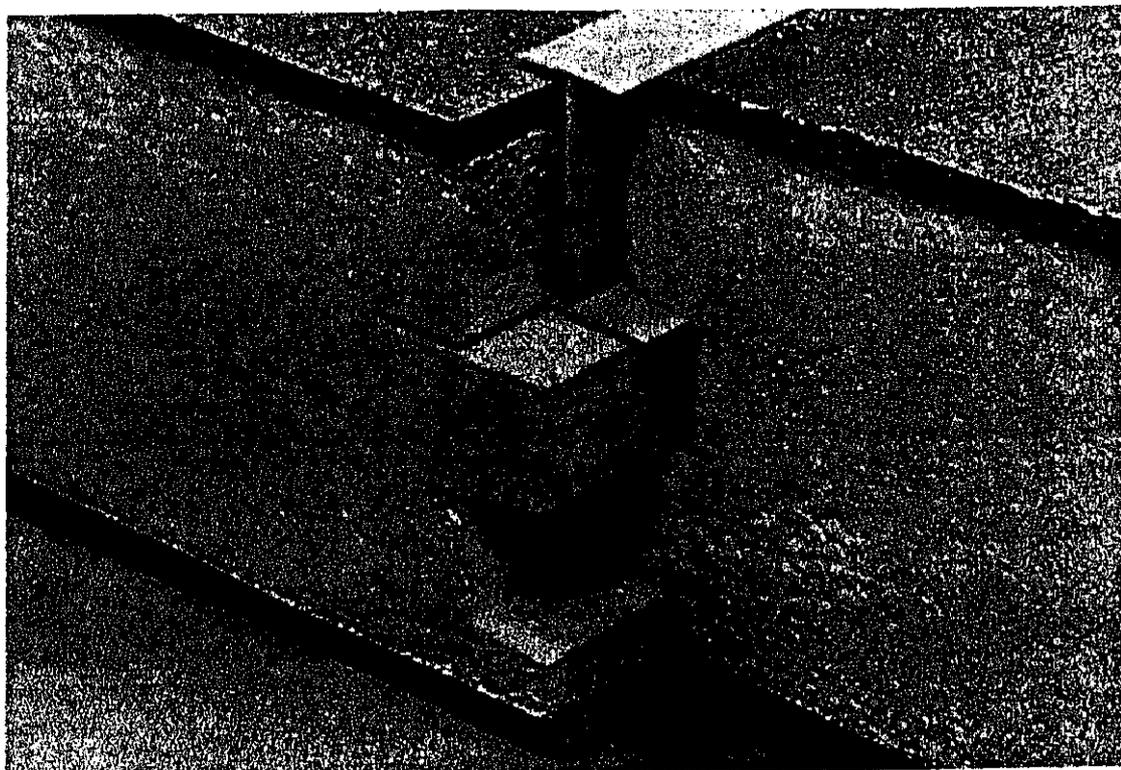




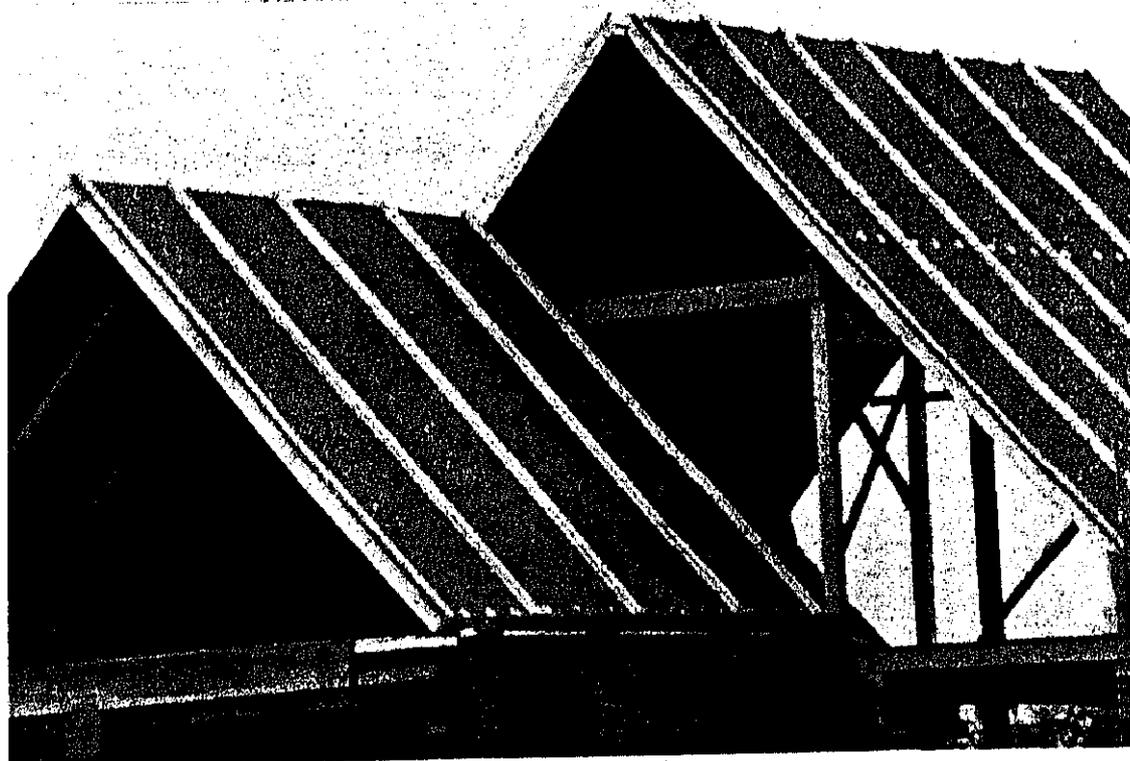
Fot.108. Este helicóptero ha sido construido con tejidos preimpregnados, con nido de abeja "Aeroweb" de Ciba-Geigy, y con adhesivos estructurales. (Fot. cortesía de CIBA-GEIGY).

Fot.109. La gran velocidad de este ferrie se consigue gracias a que está fabricado con paneles tipo "sandwich". (Fot. cortesía de HEXCEL, S.A.)





Fots.110 y 111. Paneles tipo "sandwich" de Miret- Metzeller con núcleo de poliestireno expandido empleados como aislamiento térmico de cubiertas inclinadas. (Fots. cortesía de BASF Española, S.A.)



7.1.2. Tipos de paneles "sandwich"

El panel tipo sandwich que se emplea habitualmente en construcciones industriales es el "simétrico", dónde las paredes externas, del mismo espesor, están constituidas por el mismo material (fig.47).

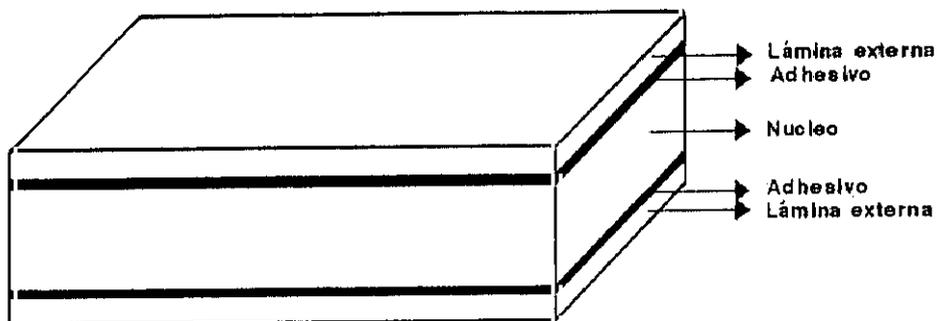


Fig.47. Ejemplo de panel tipo "sandwich" simétrico.

Existen también paneles tipo sandwich "asimétricos" que son básicamente de tres tipos: los que tienen las paredes externas del mismo espesor pero de naturaleza diferente (fig.48); los que tienen un espesor distinto pero igual naturaleza (fig.49), y finalmente los de espesor y naturaleza diferentes (fig.50) .

139

Amplia información en: J. Pabiot, "Comportament thermo-mècanique des panneaux sandwiches en matières plastiques", Annales de l'Institut Technique du Batimet et des Travaux Publics, nº 350, Mai 1977, Serie: "Technique Generale de la Construction", nº63, 1 et 2 Juin, 1976, pp.23-31.

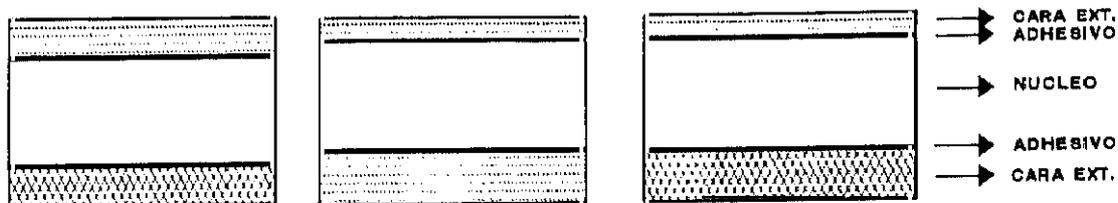


Fig.48

Fig.49

Fig.50

Fig.48 a 50. Ejemplos de paneles tipo "sandwich" asimétricos.

La característica común de todos ellos es que el espesor total de las caras externas es muy pequeño y en cambio aportan al núcleo una gran rigidez.

El núcleo, tal como se ve en la fig.51, puede tener diversos espesores, sin que aumente significativamente el peso total del panel. Este hecho nos permite obtener paneles de gran rigidez y bajo peso ya que, como veremos, la rigidez del panel está en función del cubo del espesor del mismo .

140

Información detallada el tema en: "Honeycomb. TSB 124: Bonded Honeycomb Sandwich Construction" (literatura técnica de Hexcel Corporation), 1989, p.2, o en "Sandwich Panel Review. Part.I" (literatura técnica de M.C.Gill Corporation), vol.28, nº2, Spring 1991, pp.2-3.

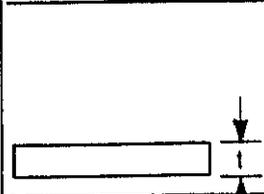
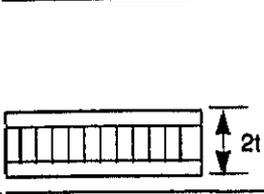
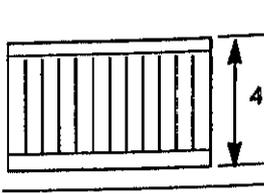
			
Rigidez relativa	100	700	3700
Resistencia relativa	100	350	925
Peso relativo	100	103	106

Fig.51. Tabla demostrativa de cómo el núcleo de un panel vuelve rígida una estructura sin aumentar prácticamente su peso.

Actualmente los materiales que forman el núcleo son baratos y sus características mecánicas y de durabilidad mejoran continuamente por lo que, aumentando el espesor del mismo, se pueden fabricar paneles rígidos, resistentes, económicos y ligeros. Estas características del núcleo nos permiten construir "sandwich" de distinto espesor, peso y tamaño, según convenga.

7.2. DISEÑO DE PANELES

Sintetizando lo expuesto anteriormente podemos indicar que los objetivos principales en el diseño de un panel tipo "sandwich" industrial son: ahorrar peso, incrementar su rigidez y reducir su coste total. Sin embargo, es importante tener en cuenta otros objetivos como lograr una superficie lisa visualmente atractiva, reducir ruidos, reducir o aumentar la conductividad térmica, etc.

Dentro del campo industrial, nombres como Williams, Laggett, Hopkins, Libove, Batdorf y Hoff, están íntimamente ligados a la teoría del cálculo empleada hoy en día. Industrialmente un panel tipo "sandwich" es, por definición, "una estructura ligera que soporta cargas, desarrollada a partir de la tecnología tradicional de las vigas en doble "T"¹⁴¹, (fig.52).

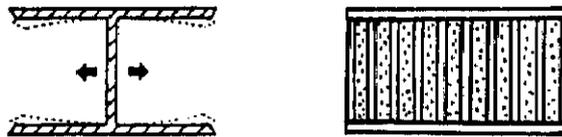


Fig.52. Las vigas en doble "T", punto de partida de los paneles tipo "sandwich".

La función que cumple el núcleo, al igual que el alma de una viga doble T, es la de mantener una separación constante entre las caras exteriores y, simultáneamente, la de absorber las fuerzas de cizalladura originadas por las cargas y el pandeo de la estructura del panel. Las caras externas son las que absorben las fuerzas de tracción y compresión horizontal de la estructura.

La teoría del panel tipo "sandwich" es válida únicamente si existe una unión perfecta y completa entre las

141

"STYROFOAM: El núcleo para expertos" (literatura técnica de Dow Chemical Company), (s/f), p.8.

distintas capas del panel. En el caso de un panel tipo "sandwich" apoyado en ambos extremos (apoyo simple), la deflexión puede calcularse mediante la expresión siguiente (información detallada sobre el tema en el pto.10.2.2 del Tomo II de la memoria):

$$d = K_f \frac{P \cdot l^3}{E \cdot I} + K_c \frac{P \cdot l}{G \cdot A}$$

La deflexión = defl. por flexión + defl. por cizalladura

		k_f	k_c
Carga constante sobre des apoyos		$\frac{5}{384}$	$\frac{1}{8}$
Carga central en apoyo simple		$\frac{1}{48}$	$\frac{1}{4}$
Apoyos simples con carga localizada a 1/4 de distancia entre apoyos		$\frac{11}{768}$	$\frac{1}{8}$
Viga empotrada		$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{4}$
Viga empotrada con carga en un extremo		$\frac{1}{3}$	$\frac{6}{5}$

Fig.53. Distintos apoyos y repartos de fuerza de un panel tipo "sandwich" industrial.

7.2.1. Criterios industriales de diseño

Existen unos criterios generales en el diseño industrial de un panel tipo "sandwich", cualquiera que sea su composición y estructura. Según los datos aportados por la "Dow Chemical Company"¹⁴², éstos son los siguientes:

a) La deflexión debe limitarse entre $1/150$ y $1/300$ de la luz.

b) El esfuerzo de cizalladura del alma no debe sobrepasar el esfuerzo de cizalladura máximo permisible del material del núcleo.

c) Los esfuerzos de tracción y compresión no deben exceder los valores máximos admisibles de los materiales de las caras o el esfuerzo de pandeo. En el diseño se debe aplicar siempre el valor más bajo de todos ellos a efectos de cálculo.

d) Es imprescindible un rígido control de calidad durante y después del laminado para garantizar una adherencia constante.

e) Donde las condiciones lo recomienden, se deben tomar en consideración, como un factor de carga, los pandeos producidos térmica o higroscópicamente.

142

Vid., STYROFOAM: El núcleo para expertos (literatura técnica de Dow Chemical Company), op.cit., p.9.

7.3. REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR UN PANEL TIPO "SANDWICH"

Existen muchas otras consideraciones aparte de la resistencia en la evaluación de los paneles "sandwich". Esquemáticamente las más significativas son ¹⁴³ :

a) **Seguridad:** Resistencia al fuego; baja toxicidad y baja emisión de humo o gases tóxicos en un fuego.

b) **Peso:** Peso inicial ligero; aumento mínimo de peso al ser expuesto a la humedad, o cuando se añadan otras capas o bordes.

c) **Durabilidad:** Resistencia a la corrosión; resistencia a las cargas repetidas (ej: tensiones de curvatura, cargas puntuales y resistencia a las perforaciones); resistencia ambiental; no debe perder resistencia con la adición de ganchos o grapas.

d) **Fabricación:** Facilidad de fabricación desde el panel inicial sin manipular, hasta el "listo para instalar"; accesorios de instalación asequibles; posibilidad de unión de varios paneles y resistencia en los bordes en caso de que se requiera cortar el "sandwich".

143

Información detallada sobre el tema en: "Sandwich panel review...Part I", The M.C.Gill Doorway, vol.28, nº3, 1991, pp.3-4.

7.4. LOS TRES COMPONENTES DE UN PANEL TIPO SANDWICH: LAMINAS EXTERNAS, NUCLEO Y ADHESIVO. DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS

En principio no existe limitación alguna en el tipo de material que se elija para construir una estructura compuesta; la limitación surge cuando se necesita realizar un panel para una aplicación concreta, con unos requisitos específicos que éste debe cumplir.

A la hora de proyectar un panel, los materiales que compondrán cada una de las partes del mismo deben elegirse siempre en relación a los otros. Por ejemplo, las características exigidas al material de cubierta deben considerarse siempre en relación al núcleo y adhesivo.

7.4.1. Láminas externas

En el diseño industrial de un sandwich, las láminas externas, también llamadas "caras" o "cubiertas", deben tener fundamentalmente estos requisitos: poderse laminar y cumplir con las especificaciones de rigidez, resistencia y peso que se hayan determinado.

Dado que son el elemento principal de soporte de las cargas (bajo una carga o presión, la lámina inferior está en tensión y la superior en compresión), deben ser lo suficientemente resistentes como para soportar las cargas

requeridas. Este, sin embargo, no es el único factor que se debe tener en cuenta en la elección de una cubierta. Se requieren características tales como: resistencia a la corrosión, resistencia a la perforación y a las abolladuras, resistencia a los agentes ambientales, fuego, humo y emisiones tóxicas, sin olvidar, por último, el peso, el coste, y el aspecto de la misma.

Existen numerosos tipos de láminas externas. Las más corrientes son: metales (generalmente: aluminio, acero y titanio), metales con tratamiento superficial protector, laminados de compuestos avanzados plásticos, madera (contrachapado y conglomerado), (sus propiedades mecánicas pueden verse en la fig.54).

7.4.1.1. Láminas metálicas

a) Las aleaciones de aluminio

Las aleaciones de aluminio se usan habitualmente en aplicaciones aeronáuticas aprovechando su alto coeficiente peso-rigidez. Cada aleación tiene sus ventajas; generalmente, cuanto mayor sea la resistencia a la tracción, menor será su resistencia a la corrosión.

Las principales cualidades del aluminio como lámina externa son su rigidez y su facilidad para ser cortado.

Sin embargo, si no lleva un tratamiento adecuado, puede corroerse con facilidad, es susceptible de sufrir abombamientos y distorsiones y, aunque no es inflamable ni emite humos, el aluminio tiene una elevada conductividad térmica.

b) Aceros y Titanio

Los aceros bajos en carbón usados como lámina externa tienen la ventaja de que son muy rígidos, de bajo coste, pero su uso es restringido en aplicaciones exigentes, son pesados y se corroen con facilidad.

El acero inoxidable tiene una rigidez y resistencia muy elevadas, pero su posterior pegado al núcleo es muy difícil.

El titanio es resistente y ligero, pero su precio es elevado y también es difícil de pegar ¹⁴⁴.

144

Sobre la utilización de aceros y titanios como caras externas de los paneles "sandwich" vid.: "Sandwich Panel Review...Part 2", The M.C. Gill Doorway, vol.28, nº3, 1991, pp.2-4.

7.4.1.2. Plásticos de fibras reforzadas (F.P.R.)

Las láminas externas de FPR ("Fiber Reinforced Plastics") son quizá el material más usado como cobertura en los paneles tipo sandwich, aunque son también ampliamente utilizadas como refuerzo de materiales plásticos y compuestos avanzados.

La variedad de estos tejidos de refuerzo es muy amplia tanto en precio como en complejidad y calidad, y puede ir desde la fibra de carbono de altas prestaciones usada en aeronáutica, hasta la fibra de vidrio. Entre ambos extremos existe una ancho abanico de enfibrados de vidrio, aramida, carbono y poliéster para fabricar objetos tan variados como elementos de aeronáutica para aviones y helicópteros, barcos de competición, paneles para viviendas prefabricadas, carrocerías, piezas y alerones en coches de carreras, cascos, canoas, tablas de windsurf, esquíes, raquetas de tenis, palos de golf, etc.

Las fibras que componen los tejidos de refuerzo más comunes pueden ser unidireccionales, dónde todas las fibras se alinean en el mismo sentido para proporcionar una resistencia al impacto más alta y una fortaleza específica en direcciones específicas; o pueden ser tejidos de la misma manera que las telas corrientes, es decir, las fibras se tejen con patrones de telas para proporcionar un acabado

fácil y un corte simple, resistente a la exfoliación y con resistencia bidireccional.

Según los datos aportados por la Fothergill Engineered Fabrics ¹⁴⁵ (una de las principales empresas suministradoras de enfibrados de refuerzo para la industria plástica europea), las fibras para refuerzo de plásticos y composites están realizados con fibras de vidrio, aramida, carbono y poliéster. La selección del tejido viene normalmente determinada por el precio y características de la fibra empleada que se describen a continuación:

a) Fibra de vidrio

Los tejidos realizados a partir de hilos de filamentos continuos en vidrio son los más comúnmente usados como refuerzo y pueden encontrarse en cientos de aplicaciones, desde tablas de surf a buques dragaminas.

145

En la literatura técnica de Fothergill Engineered Fabrics Ltd. puede encontrarse información detallada sobre los tejidos y fibras de refuerzo. Concretamente en el catálogo "Woven Materials for Plastics Reinforcement (from glass, carbon, aramid and polyester fibres)" que facilita traducido y registrado IMINSA (vid., "Directorio de Casas Comerciales" en el Apéndice B de la memoria) con el título: "Tejidos y fibras de refuerzo en vidrio, carbono, aramida y poliéster para materiales compuestos", existe una información específica (registrada en el Registro Mercantil de Madrid) al respecto.

La mayoría de los tejidos de vidrio están realizados con hilos de vidrio E, por sus excelentes propiedades (que a continuación se indican) y bajo coste. Sin embargo, en aplicaciones dónde se precise una mayor resistencia o módulo, la industria emplea generalmente tejidos con fibra de vidrio tipo S, de mayor coste.

- "E- glass" o "E- vidrio", inicialmente llamado "Vidrio Eléctrico" y conocido vulgarmente como "fibra de vidrio" se usó en el 99% de los plásticos reforzados fabricados en el 84¹⁴⁶. Hoy también es una de las láminas externas más empleadas debido a que es la cobertura más barata. Este material funciona bien por su elevada resistencia mecánica, combinada con una alta resistencia química y térmica, así como con buenas propiedades eléctricas.

- El refuerzo "S-2 vidrio" es uno de los componentes más importantes empleados últimamente. Tiene la misma baja rigidez que el "E- glass" pero posee una resistencia a la tracción un 50% más alta que éste y una mayor resistencia a la perforación .

146

Dato aportado por M.C.Gill Corporation en el prospecto: "Sandwich Panel Review...Part 2", op cit., 1991, p.3. Sobre el tema también véase, entre otros: D'Arsie, Los plásticos reforzados con fibras de vidrio, Buenos Aires, 1972.

Finalmente indicar que para muchas aplicaciones comerciales se utilizan tejidos de alto gramaje de hebras de vidrio no giradas, denominadas "rovings". Su empleo se debe a que resultan más económicas al precisar menos capas de tejido, secar más rápidamente, absorber bastante menos resina y ser, en general, el tipo más barato de tejido en fibra de vidrio.

b) Fibra de carbono

Esta es una de las fibras más empleados en el campo de los compuestos avanzados porque con ella se hacen piezas de una ligereza y rigidez inalcanzables por otros materiales. Aunque, como hemos visto, el vidrio se usa en el 99% de las aplicaciones de plásticos reforzados, es el carbono el que ha dominado la propaganda de las Casas Comerciales en los últimos años ya que los laminados realizados a partir de estas fibras tienen unas propiedades físicas excelentes¹⁴⁷.

Los laminados reforzados con fibra de carbono presentan una alta resistencia y un alto módulo y tienen una baja densidad y expansión térmica elevadas. También son

147

Sobre la historia, desarrollo, características y aplicaciones de las fibras de carbono vid.: J. Delmonte, Technology of carbon and graphite fiber composites, New York, 1981.

apreciados por su excelente resistencia a la vibración, a la fatiga y al desgaste. Según los datos aportados por M.C.Gill Corporation, los inconvenientes de este refuerzo externo son su baja resistencia al impacto (son relativamente frágiles) y su elevado coste ¹⁴⁸ .

Sus aplicaciones van desde las industrias naval y aeronáutica, a instrumental y aparataje médico (es una fibra muy transparente a los rayos X, por lo que se emplea en el equipamiento para radiología) y elementos deportivos.

No se requieren técnicas especiales en el uso y moldeo de tejidos o enfibrados de carbono, aunque deben tenerse en cuenta ciertas precauciones al cortar el tejido, como es el mantenerlo alejado de aparatos eléctricos o mecanismos de control, ya que la dispersión de pequeñas partículas pueden llegar a crear un entorno conductor y provocar un cortocircuito.

c) Fibras de aramida

Las fibras de aramida se conocen con el nombre genérico de Kevlar (fibra de Du Pont) o bajo el término, menos común, de Twaron (si se trata de Enka).

148

Vid., el catálogo de M.C. Gill Corporation: "Sandwich Panel Review...Part 2", ibidem (not.147)

Los tejidos realizados con estas fibras están siendo cada vez más utilizados como refuerzos en aplicaciones donde las relaciones entre resistencia/peso, o rigidez/peso sean importantes. Por ejemplo, son muy empleadas en elementos de aeronáutica y cascos de embarcaciones.

Para trabajar con fibra de aramida se suelen emplear las técnicas existentes para la fabricación de composites (compuestos avanzados) en fibra de vidrio, los cual es muy cómodo y tiene la ventaja de que en ciertas aplicaciones se puede lograr hasta un 30% de reducción en peso frente al uso de las fibras de vidrio.

Es además un material que se vuelve casi totalmente plástico trabajando a compresión. Este aspecto es fundamental en su ductilidad comparada con los metales y en su mayor tolerancia al impacto frente a la fibra de vidrio.

d) Fibras de poliéster

Los tejidos realizados con fibras de poliéster no tienen la aplicación universal de los de fibra de vidrio, principalmente porque la mayor parte de las aplicaciones de los materiales reforzados requieren rigidez y éste no es una de las cualidades del poliéster (recordemos que con éstas fibras se realizan prendas de ropa adaptables).

Pese a ello, las fibras de poliéster tienen una propiedad muy importante que es su excelente tolerancia al impacto. Este factor ha llevado a incrementar su uso por parte, por ejemplo, de los fabricantes de canoas piraguas y Kayaks .

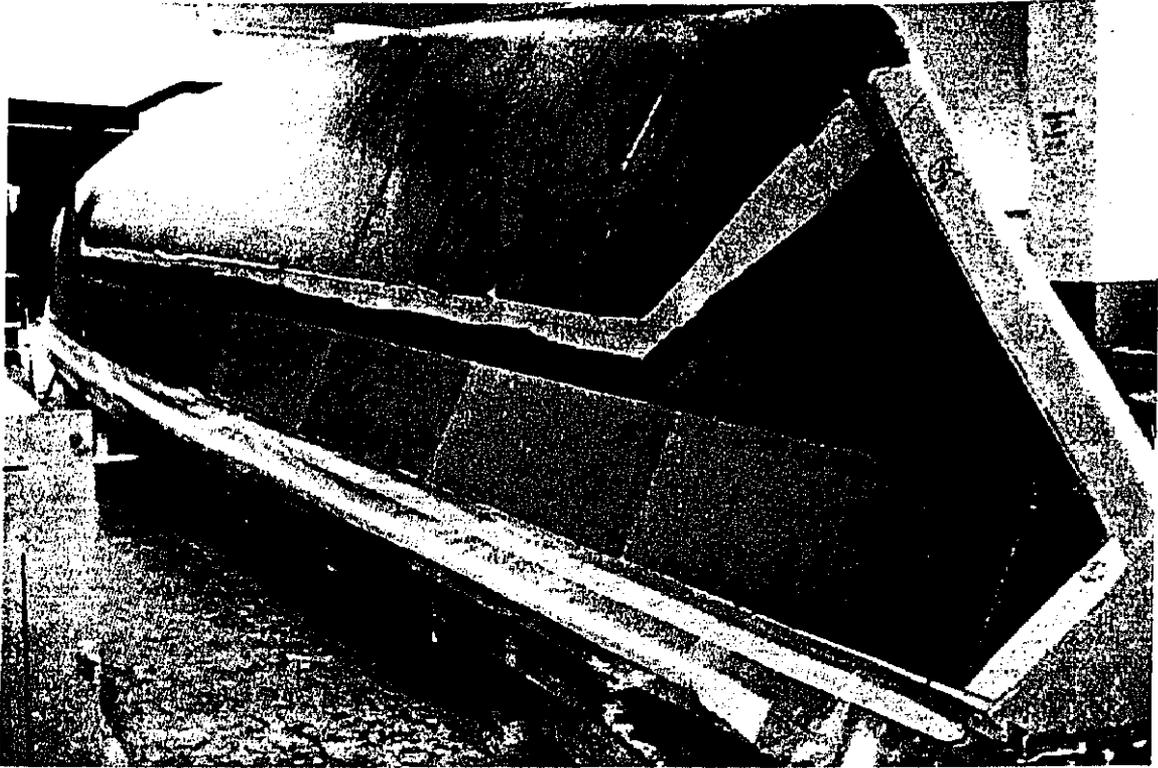
Según el dato aportado por M.C. Gill Corporation ¹⁵⁰, actualmente se está experimentando con las denominadas fibras huecas. Las primeras versiones de estas fibras se encuentran en la fase inicial de su desarrollo.

149

Datos tomados de la literatura técnica de Fothergill Engineered Fabrics Ltd., ibidem (not.145).

150

Literatura técnica de M.C.Gill Corporation, ibidem (not.147). Acerca de los últimos avances en fibras con sus respectivas patentes es interesante la obra de P. Bracke, H. Schurmans, Verhoest: Inorganic fibers and composite materials, EPO, Oxford, 1984.



Fot.112. Ejemplo de una construcción (casco de la embarcación "Merit") en la que se han combinado el nido de abeja Aeroweb ámbar y tres tipos diferentes de tejidos: tejido de carbono negro, tejido de aramida amarillo, y tejido de vidrio fino, sobre un soporte de papel rojo, montados sobre un molde que sirvió para la fabricación del casco.(Fot.CIBA-GEIGY)

7.4.1.3. Contrachapados y Conglomerados de madera.

Estos materiales, por su bajo precio, se usan mucho en el campo de la arquitectura en construcciones no estructurales, no tanto para mejorar calidades como para limitar los gastos en aplicaciones no exigentes.

Se suelen combinar con núcleos de espuma rígida, sobre todo en cubiertas y en tabiques aislantes para casas (retomar fots.110 y 111). Tienen el inconveniente general de que son materiales muy higroscópicos por lo que es necesario aplicarles un tratamiento previo. Su ventaja fundamental es su bajo precio y su fácil manipulación.

7.4.2. Núcleos

La función del núcleo es actuar como soporte y separador de las caras externas, a la vez que evita su deformación y distribuye las cargas, confiriendo rigidez al conjunto. Geométricamente, el núcleo influye directamente en el volumen y peso del panel. En su construcción se pueden emplear materiales en forma de bloques macizos, en forma de espumas, o en perfiles extrusionados.

Los materiales más usados como núcleos en la industria aeronáutica, naval y de la construcción, son la madera de balsa, el nido de abeja y las espumas plásticas.

7.4.2.1. Madera de Balsa

Por su peso ligero y bajo coste se usa ampliamente como material de núcleo en los paneles tipo "sandwich", sobre todo en las industrias naval y aeronáutica.

La balsa se puede considerar como una espuma de celulosa alineada, con celdillas cilíndricas cerradas en un 95%.

Su resistencia a la compresión y a la ruptura, es muy elevada debido a que la veta de la madera es perpendicular a la superficie del panel

Bajo un microscopio, podemos apreciar que la balsa tiene una estructura de celdilla vertical, cerrada al 90%, por lo que está incluso mejor alineada que las espumas.

La madera de balsa que se usa habitualmente en la construcción de núcleos para paneles tipo "sandwich", proviene de los árboles que se encuentran en los ríos del Ecuador Central. Es fundamental que el constructor del panel tenga experiencia en diferenciar la balsa para el sandwich. La selección de la madera y su calificación, los controles estrechos del secado en hornos, y la correcta adhesión de los bloques, son elementos imprescindibles para mantener un alto nivel de calidad.

Las ventajas este tipo de núcleo para paneles tipo sandwich, son que presenta una elevada resistencia, bajo costo y alta durabilidad en aplicaciones en las que el material se verá expuesto a todo tipo de factores degradantes. Un dato significativo aportado por M.C.Gill Corporation¹⁵¹, es que estos paneles, usados como recubrimiento del pasillo central en los aviones (en viajes de corta duración, con un servicio exigente), han logrado una vida útil de más de 20.000 horas de vuelo.

¹⁵¹ Vid., "Sandwich Panel Review...Part 2", (literatura técnica de M.C.Gill Corporation), op.cit., 1991, p.5.

Los mayores inconvenientes que presenta la madera de balsa son que es un material difícil de laminar, higroscópico, susceptible a ser atacados por hongos y microorganismos, y además combustible.

7.4.2.2. Nido de Abeja.

Aunque las abejas llevan fabricando sus colmenas con esta estructura más tiempo que las industrias actuales, es un núcleo sorprendente, sobre todo porque, en su forma expandida es espacio abierto en un 90-99%. Esto quiere decir que las paredes de las celdillas son tan finas que realmente un núcleo de nido de abeja es "aire" en un 90-99%.

Sus aplicaciones iniciales se produjeron en la industria aeronáutica durante la Segunda Guerra Mundial. Hoy, casi todos los aviones en uso dependen de la fiabilidad de esta técnica estructural (fots. 113 y 114).

Debido al éxito de las planchas en nido de abeja, su uso se ha extendido a una amplia gama de aplicaciones comerciales, fundamentalmente por su excelente coeficiente entre peso y rigidez.

La resistencia y rigidez de un nido de abeja dependen de su densidad, es decir, del tamaño de las celdillas, del grosor de las paredes de las celdas y del material

usado en el mismo. La alta densidad es lo que en definitiva proporciona una elevada resistencia ante grandes pesos.

Los núcleos de nido de abeja que se emplean habitualmente, se fabrican con plásticos de fibras reforzadas, papel de aramida, grafito, hojas metálicas (como aluminio o acero inoxidable) y papel Kraft ¹⁵². Entre ellos, el más económico es el nido de abeja de papel impregnado de resina, y se usa cuando se necesitan una resistencia a la humedad y una estabilidad altas. Los nidos de abeja de aramida (o Nomex), los de fibras preimpregnadas y los de metal se emplean mayoritariamente en aplicaciones de alto rendimiento.

La característica principal de los núcleos de nido de abeja es su gran versatilidad: permite fabricar una alta gama de configuraciones del tamaño de celdilla y densidades y se puede ajustar o modelar según convenga en aplicaciones específicas, pudiéndose cortar incluso en redondo.

En términos generales cabe indicar que cuanto más pequeño es el tamaño de la celdilla, más elevado es el coste a una densidad dada. Sin embargo, los tamaños de celdilla pequeños, tienen la ventaja de que dejan una huella menor en

152

Información detallada sobre el proceso de fabricación del nido de abeja en el prospecto titulado: "Honeycomb" (literatura técnica de Hexcel Corporation), cap.: "How Honeycomb is Manufactured", 1988, p.9.

las láminas exteriores, ofrecen una superficie más fácil de pegar y bajo altos pesos las láminas exteriores se arrugan menos, dando una tensión superficial más alta .

153

La geometría básica del nido de abeja unida a las cualidades inherentes del material seleccionado proporcionan una serie de cualidades especiales, en comparación a otros materiales:

1. Es el núcleo para sandwich que tiene la relación más alta entre resistencia y peso.
2. Es el núcleo con la más alta relación entre rigidez y peso.
3. Su resistencia a deformarse bajo compresión es predecible y uniforme.
4. Versatilidad térmica, acústica y direccionalidad líquida o canalización de líquidos.
5. Excelente resistencia a la fatiga en los paneles tipo "sandwich".
6. Tiene un coeficiente extremadamente alto de área de superficie abierta en su volumen total.

153

Sobre los distintos tipos de celdilla, sus propiedades y usos, vid., el capítulo: "Honeycomb Types Aviable" del prospecto: "Honeycomb", op.cit., 1988, p.10-11.

7.4.2.3. Espumas rígidas

Los paneles tipo "sandwich" con núcleos de espuma tienen una larga historia de aplicaciones como materiales de aislamiento térmico en la industria de la construcción debido a su gran poder aislante y bajo coste. En otras áreas altamente especializadas, su uso fue restringido debido a su baja resistencia mecánica, fragilidad por fatiga, su naturaleza pulverulenta, y por su fácil inflamabilidad y emisión de humo o gases tóxicos (si no tienen un tratamiento para hacerlas autoextinguibles).

En los últimos años, estos inconvenientes han sido superados con la aparición de nuevos tipos de espuma de gran resistencia físico - química, totalmente ignífugas y autoextinguibles, y con una amplia gama de densidades, espesores y medidas.

Esto permite que actualmente, los paneles con este tipo de núcleo no se empleen únicamente en las superficies verticales no estructurales, sino que se utilizan como soporte de suelos, en cubiertas exteriores, cimientos, etc., en el campo de la construcción, así como en las industrias frigorífica, automovilística, naval, etc.

La espumas plásticas se venden en forma rígida o flexible, aunque como núcleo de paneles "sandwich" sólo se emplean las primeras.

Los tipos de espuma rígida más comúnmente empleados como núcleo de los paneles tipo "sandwich" son los siguientes :
154

a) Polimetacrilimida. Es un producto reciente dentro del campo de las espumas rígidas de alto rendimiento. Tiene propiedades mecánicas bastante mejores que el PVC o el poliuretano con la misma densidad. Se puede adquirir con distintas densidades y es resistente a la mayoría de los disolventes y productos químicos. Tiene buenas propiedades estructurales a temperaturas de 350°F (=175°C), sin embargo, absorbe más agua que las demás espumas que se mencionan posteriormente. Arde con mayor facilidad, es más cara y difícil de pegar.

b) Cloruro de polivinilo (PVC). Estas espumas en realidad son mitad PVC y mitad poliuretano. Este último componente proporciona enlaces cruzados e incrementa la estabilidad térmica del producto. El PVC disminuye la fragilidad y

154

Recordamos que en el Apéndice A al final del Tomo II de la memoria se ofrece una información ampliamente detallada sobre los distintos tipos de espumas.

aumenta la resistencia al fuego. Las espumas de PVC (que también se comercializan con varias densidades), tienen mejores características mecánicas que las espumas de poliuretano con la misma densidad.

c) Poliestireno. Las espumas de poliestireno, tanto expandidas como extruídas, son las que tienen una mayor aplicación en la industria de la construcción. Se venden con distintas densidades lo que les confiere valores mecánicos aceptables en estructuras tipo sandwich. En altas prestaciones las espumas utilizadas llevan un tratamiento que las hace autoextinguibles, ya que, su alta inflamabilidad y emisión de humos las haría inaceptables en muchas aplicaciones, sobre todo en la industria aeronáutica.

Como es soluble en muchos solventes y tiene una baja resistencia térmica, es muy difícil de pegar con adhesivos fuertes.

Las espumas de poliestireno se usan sobre todo, en aplicaciones como: vehículos, cuerpos de camiones, contenedores, tableros anunciadores y letreros. Tiene un precio más económico que las espumas de mayor prestación y dan un resultado excelente.

d) Poliuretano. Esta espuma es muy resistente a una amplia gama de disolventes y productos químicos, incluyendo

los sistemas de resinas usados en los FPR como caras de los sandwich. Sus usos típicos incluyen paneles de un aislamiento térmico inmejorable de baja densidad y sellado de bordes en paneles sandwich. Las espumas de poliuretano retardan relativamente el fuego pero tienen una elevada emisión de humo. Estas espumas son algo pulverulentas y los paneles son susceptibles de sufrir daños por impacto y fatiga.

7.4.3. Adhesivos

El tipo de adhesivo utilizado para unir las caras externas y el núcleo de un panel está en función de la resistencia que se desee conseguir. Evidentemente, un adhesivo de tipo termoestable dará una gran resistencia, mientras que uno termoplástico, ofrecerá una resistencia baja.

En general, los adhesivos empleados en paneles no estructurales (en aislamiento térmico y acústico, por ejemplo), en los que no se precisa una gran resistencia (espumas), son de tipo elastómero.

En aplicaciones estructurales, se utilizan habitualmente adhesivos de tipo termoestable, porque proporcionan una gran resistencia mecánica y soportan temperaturas elevadas.

Son muchos los adhesivos que emplea la industria en la fabricación de paneles, los que se emplean con más asiduidad son:

- Epoxi modificados. Son los más utilizados por su elevada resistencia y porque permiten elegir una formulación específica según su aplicación.

- Vinil-fenólicos. Presentan una alta durabilidad pero son difíciles de procesar.

- Elastoméricos de contacto (con base de goma). Son muy apreciados en aplicaciones no estructurales.

- Urethano. Es ampliamente utilizado en el campo de la construcción por su bajo precio y buena capacidad adhesiva, pero tiene el inconveniente de su baja resistencia al agua .

155

La adhesión de los distintos estratos de los paneles de multicomponentes, está influenciada, no sólo por el tipo de adhesivo empleado, sino por el tipo de núcleo que tenga el panel. Por ejemplo, si el núcleo es una espuma, existen grandes áreas de unión y, por consiguiente, el contacto entre núcleo y cubierta está asegurado. Sin embargo, esto no ocurre con núcleos de estructura alveolar, que

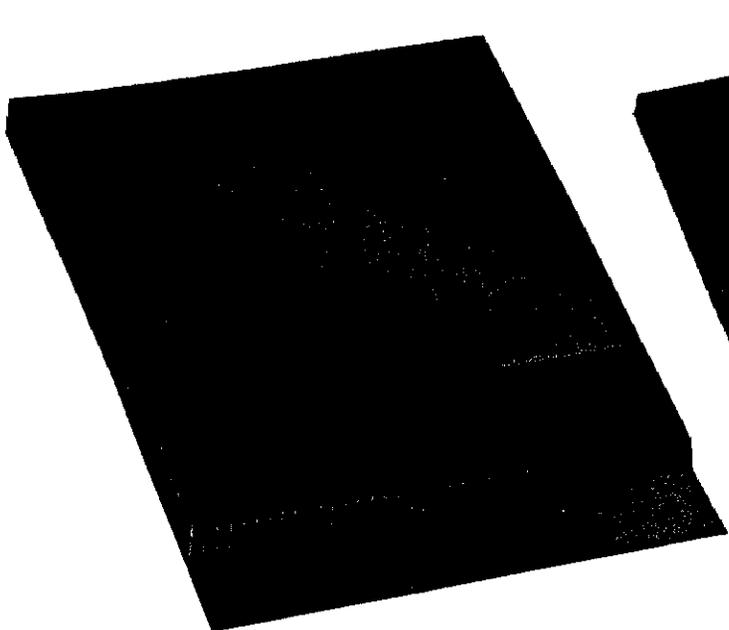
155

Sobre este tipo de adhesivos existe una información detallada en el artículo de Christian Strobec, "Pegado de paneles tipo sandwich", Casco Nobel, Octubre de 1988, pp.1-15.

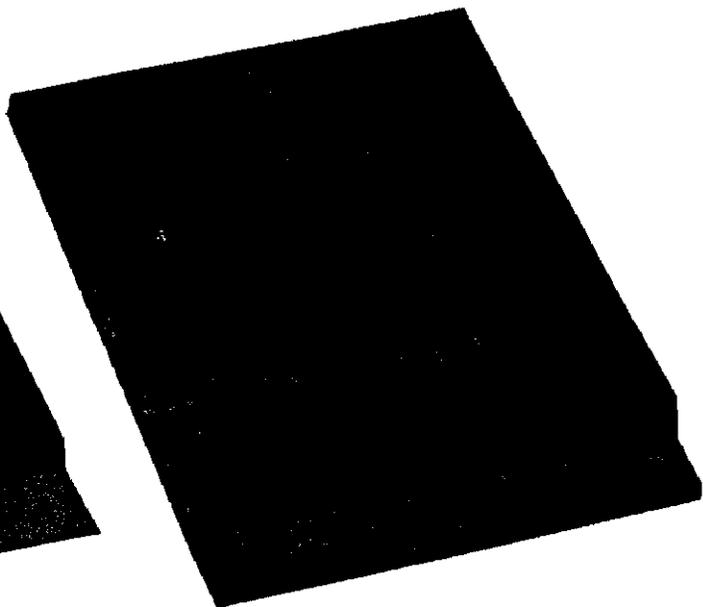
tienen un área de contacto muy pequeña, por lo que se debe escoger un adhesivo con unas características muy específicas (en general se aplican aquellos que forman un menisco cóncavo entre la cubierta y la pared del núcleo correspondiente) .

156

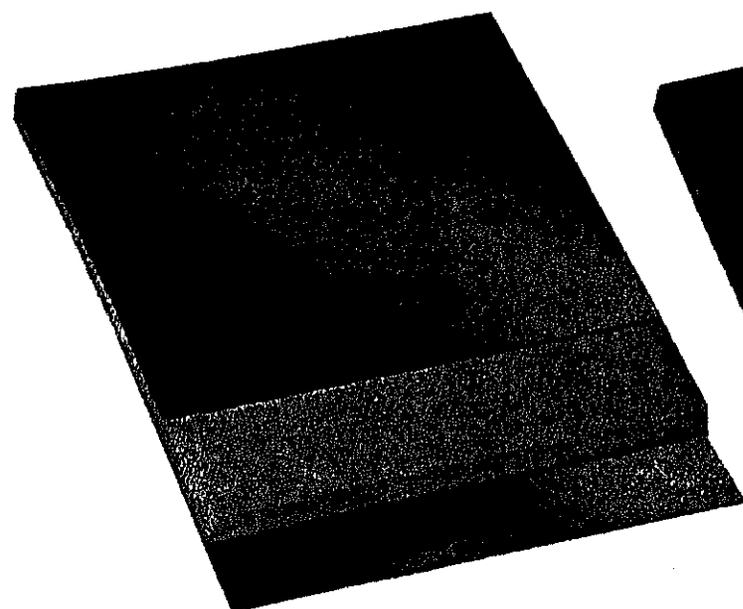
156 Sobre la adhesión de paneles con núcleo en nido de abeja vid.: "TSB 124. Bonded Honeycomb Sandwich Construction" (literatura técnica de Hexcel Corporation), cap.: "Adhesives Materials", 1989, pp.9-10.



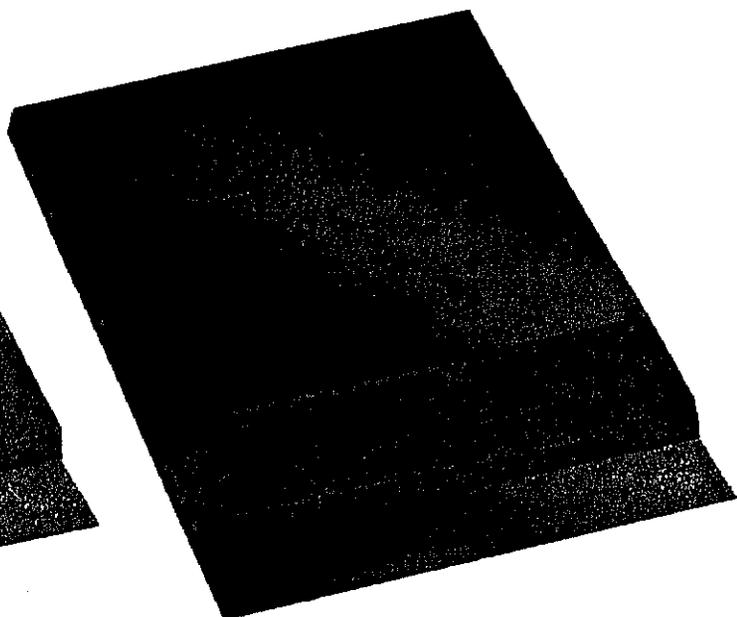
Fot.113.CARAS DE ALUMINIO/
NIDO DE ABEJA DE ALUMINIO



Fot.114.CARAS DE F.P.R./
NIDO DE ABEJA NOMEX (ARAMIDA)



Fot.115.CARAS DE METAL/
NUCLEO DE ESPUMA



Fot.116.CARAS DE ALUMINIO/
NUCLEO DE MADERA DE Balsa

Fot.113 a 116. Ejemplos de algunos paneles tipo "sandwich" utilizados en las ingenierías naval y aeronáutica (Fots. cortesía de M.C.Gill Corporation).

PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MATERIALES DE LAS CAPAS EXTERNAS

MATERIAL	LIMITE ELASTICO ³ F(kgxom ²)x10	MODULO DE ELASTICIDAD ⁶ E(kgxom ²)x10	DENSIDAD ³ g/cm	COMENTARIOS
ALUMINIO 2024	2,95	0,703	2,7	Buena resistencia.Costo moderado
ALUMINIO 3003	1,41	0,703	2,7	Resistente al agua
ALUMINIO 7075	4,22	0,703	2,7	Alta resistencia
ACERO DUCTIL	3,52	1,971	7,7	Bajo costo.Pesado
ACERO INOX. 316	4,22	1,986	7,7	Pesado,caro,dificil de manejar.
TITANIO	4,92	1,055	4,53	Alto costo.Resistente a la corrosión.
LAMINADOS CON FIBRA DE VIDRIO				
-EPOXY (1040)	2,11	0,232	1,9	Resistente a la temperatura
-RESINA FENOLICA	2,11	0,211	1,9	Buena resistencia
-POLIESTER (1074)	2,32	0,211	1,9	Buena resistencia
-POLIAMIDA	1,55	0,176	1,9	Resistente a altas temperaturas
CONTRACHAPADO DE MADERA	0,18	0,112	0,6	Bajo costo.No resiste el agua

Fig.54. Tabla en la que aparecen reflejadas las propiedades mecánicas de las capas externas. (Datos aportados por M.C. Gill Corp.: "Gill's Home Study Course on Sandwich Panels. Part 3", 1985).

PROPIEDADES TÍPICAS DE LOS MATERIALES DEL NÚCLEO

MATERIAL	TAMAÑO DE CELDILLA (mm)	ESPESOR DE LA LAMINA (mm)	DENSIDAD (g/cm ³)	RESISTENCIA A LA CORTADURA (kg/cm ²)	MODULO DE CIZALLAMIENTO x10 ³ kg/cm ²	COEFIC. DE TRANSMISION DEL CALOR Koal hr/m ² /OC
				Trans./Long.	Trans./Long.	
PANEL DE ALUMINIO (5052)	3,2	0,025	0,072	20/11,7	5/2,2	4,6
	3,2	0,05	0,130	47/28,0	9,4/3,5	4,6
	6,4	0,025	0,037	7/3,7	2,2/1,1	4,9
	6,4	0,037	0,55	12,6/7	3,5/1,8	4,9
FENOLICAS-VIDRIO	5,0		0,64	14,1/7	0,8/0,35	2,1
	6,4		0,55	12,0/7	0,63/0,25	2,44
PAPEL	6,4		0,80	14/6,1	2,1/0,45	1,95
ESPUMA DE POLIESTIRENO			0,29	2,1	0,07	1,12
ESPUMA DE POLIURETANO			0,64	3,4	0,05	0,68
			0,96	6,3	0,1	
ESPUMA DE PVC (celda cerrada)			1,0	6,4	0,15	0,83
MADERA DE Balsa			0,96	9,8	1,12	1,5

Fig.55. Tabla en la que aparecen reflejadas las propiedades típicas de los materiales del núcleo. (Datos aportados por M.C. Gill Corp.: "Gill's Home Study Course on Sandwich Panels. Part 3", 1965).

7.5. PRINCIPALES ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS PANELES TIPO SANDWICH

Para garantizar la idoneidad del producto, los fabricantes someten los paneles tipo "sandwich" a numerosas pruebas que determinan las características físicas de los mismos. Las más comunes son ¹⁵⁷ :

a) Prueba de desprendimiento de una de las láminas superficiales.

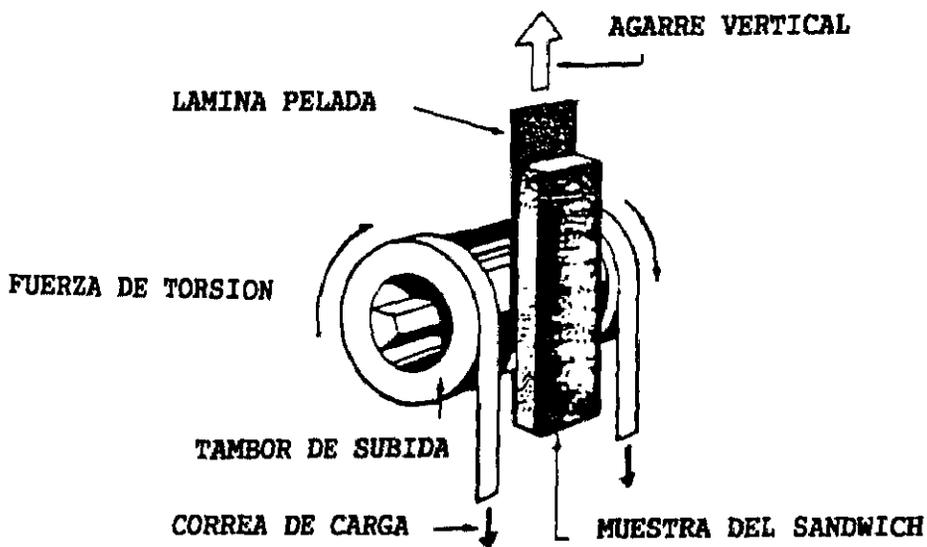


Fig.56. Prueba de desprendimiento de una de las caras externas (ASTM D1781).

157

Información especializada sobre el tema en: J. Pielert, T. Reichard y L. Masters, "Structural Evaluation of Steel Faced Sandwich Panels", NBS Building Science Series, nº51, Washington, 1974, pp.1-35.

Este ensayo mide el par (fuerza por metro) necesario para desprender por deslizamiento una de las caras superficiales. Mide la resistencia de la unión entre el núcleo y una lámina externa. Sirve para determinar la tendencia a exfoliarse en los procesos posteriores de corte y manipulación que sufren los paneles.

b) Prueba de adherencia plana entre las caras externas (inferior y superior) con el material interno.

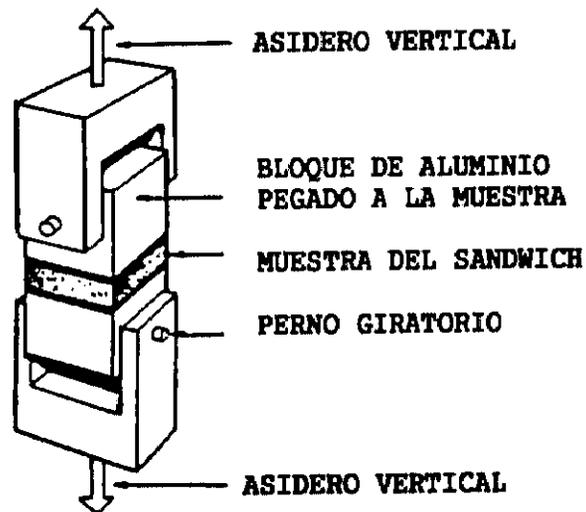


Fig.57. Prueba de adherencia plana entre las caras externas y el núcleo. (ASTM C297, MIL-STD 401B).

Este ensayo mide la fuerza de adherencia entre las láminas externas y el núcleo del panel.

$$F = \frac{P}{ab}$$

Dónde: F= Tensión de adherencia
P= Fuerza exterior aplicada
a= Longitud de probeta
b= Ancho de probeta

d) Test de llama (vertical)

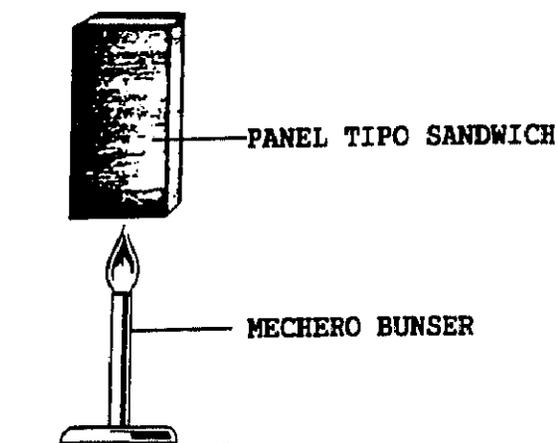


Fig.59. Test de llama (vertical), (FAR 25.853).

Este ensayo indica el comportamiento del panel en contacto con una llama en un pequeño incendio. Mide la proporción del fuego y la capacidad de autoextinguirse.

e) Prueba de la capacidad de portante vertical de un panel tipo "sandwich"

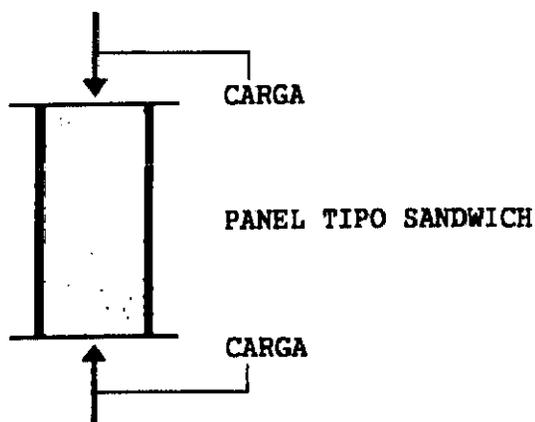


Fig.60. Prueba de la capacidad de portante vertical de un panel tipo "sandwich" (ASTM C364).

Este ensayo indica la capacidad del panel a resistir cargas verticales y sirve para determinar el pandeo.

e) Prueba de resistencia al impacto

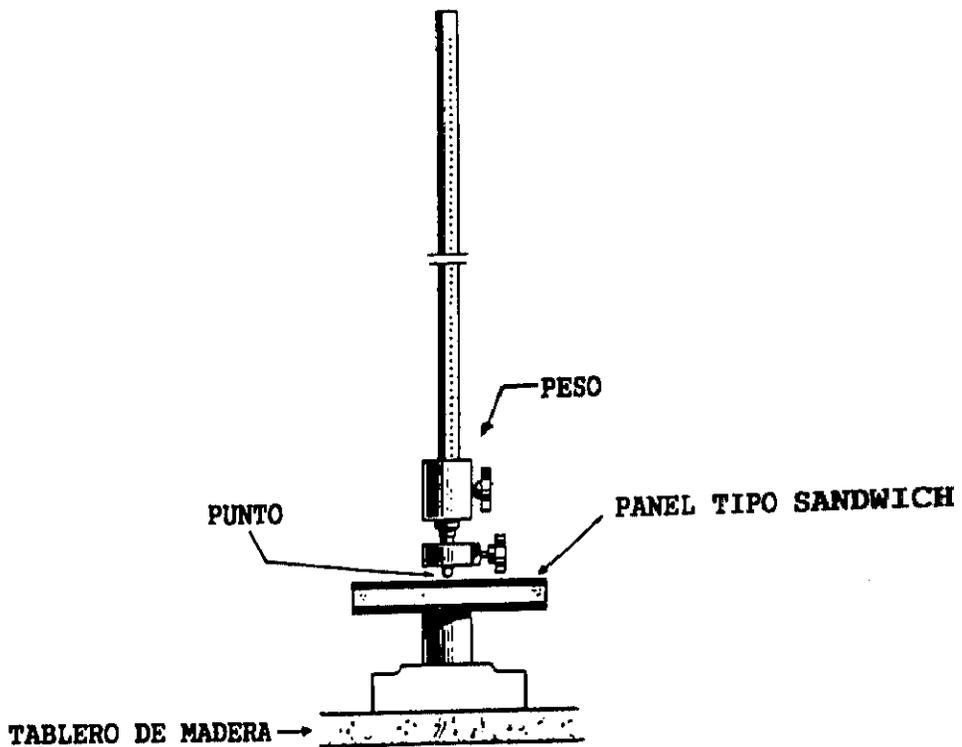


Fig.60. Prueba de resistencia al impacto (Gardner), (ASTM D3029).

Mide la resistencia del panel a dañarse por impacto. El test se realiza lanzando un peso, con una distancia determinada sobre un punto específico de la superficie del panel.

Finalmente indicar que todos los paneles tipo "sandwich" a los que nos hemos referido en este capítulo pueden tener aplicaciones interesantes en el campo pictórico. Manipulando estas estructuras rígidas, estables y livianas se pueden confeccionar soportes que se adapten a las necesidades artísticas del pintor. Sobre todo ello trataremos en los capítulos siguientes.

ABRIR TOMO II

