

Elementos de sombreado de materiales compuestos

Shadow elements in composite materials

Miguel Ángel NÚÑEZ DÍAZ

Doctor Arquitecto

ENAR Envolvertes Arquitectónicas S.L.

Director Técnico

manukez@enar.pro

Jesús M. CEREZO MIGUEL

Doctor Arquitecto

ENAR Envolvertes Arquitectónicas S.L.

Gerente

jcerezo@enar.pro

RESUMEN

Los nuevos materiales en el mundo de la construcción aportan nuevas posibilidades a las soluciones constructivas. En la actualidad, se empiezan a utilizar materiales de otros sectores como la aeronáutica o la eólica, que aportan nuevas características como la resistencia o la ligereza muy importantes para ciertos elementos como pueden ser las lamas exteriores de sombreado. Como ejemplo de la utilización de estos materiales se estudiarán los casos de la nueva sede de BBVA y de Banco Popular en Madrid.

ABSTRACT

New materials used in the field of construction provide new possibilities in the constructive system. Nowadays, these new materials are being used in different industries like aeronautical or wind energy. In these industries, materials must provide demanding requirements in terms of strength and lightness, that can be easily transferred into building construction elements. External shadow elements are one of the most relevant case. As example of these use, New BBVA and Banco Popular Headquarters in Madrid will be studied.

PALABRAS CLAVE: Lamas, composite, sombreado, resistencia, ligereza.

KEYWORDS: Fins, shadow, composite, strength, lightness.

1. Introducción

Actualmente la arquitectura como el resto de los sectores tiene una alta preocupación por la sostenibilidad, lo que implica no sólo una eficiencia energética, sino también edificios más saludables y conectados con el entorno en el que se encuentran, aprovechando las posibilidades del mismo. Por esta razón es cada vez más frecuente encontrar edificios con elementos exteriores a la fachada dispuestos en función de la orientación del edificio y que colaboran en la protección o redirección solar, en la generación de energía o en cualquier aspecto adicional del edificio que pueda favorecer esta sostenibilidad.

Estos elementos se realizan con los materiales habituales utilizados en la construcción como pueden ser el aluminio, el vidrio, el acero, el hormigón o la cerámica, pero estos elementos exteriores tienen unos requerimientos y exigencias diferentes, en muchos casos superiores a los requerimientos habituales para éstos materiales, como pueden ser los esfuerzos a viento. Por ello es necesario buscar en otras industrias que tengan estos requerimientos e importar aquellos materiales utilizados en ellas.

En el presente artículo realizaremos esta reflexión terminando con la exposición de dos casos de estudio completamente diferentes, pero con el mismo concepto de diseño.

2. Elementos de sombreadamiento

En el marco del protocolo de Kyoto, la unión europea se compromete a realizar las siguientes acciones para el año 2020:

- Mantener el incremento de la temperatura global de la tierra por debajo de 2°C.
- Mantener las emisiones de gases tóxicos por debajo del 20% sobre las emisiones de 1990.
- Reducir el consumo de energía
- Conseguir que el uso de energías renovables sea el 20 % del total de uso de energía.

Para conseguir estos objetivos, en Marzo de 2007, el consejo Europeo decide incrementar la eficiencia energética en sus edificios para reducir el consumo de energía un 20%.

Dentro de ésta política responsable con el consumo de energía el 19 de Mayo de 2010, la Unión Europea adopta la directriz 2010/31 sobre el comportamiento energético de los edificios [1], en la que en el artículo 9 asegura que a partir del 31 de diciembre de 2020 todos los edificios de nueva creación serán edificios de energía casi-cero, siendo en primer lugar, a partir del 2018 todos los edificios públicos del mismo tipo. Dentro de esta directriz se incluye la definición de edificios de energía casi-cero y la forma en que se debe realizar el cálculo de dicho consumo, siendo para ello muy importante la utilización de sistemas de protección solar.

Estas protecciones tienen como principal misión evitar la entrada de energía en el interior de los edificios, y por tanto reducir el consumo de energía en la refrigeración del mismo, pero además pueden permitir la orientación de la luz al interior, reduciendo el consumo en iluminación artificial, o evitar problemas de deslumbramiento. Dado que una de sus principales misiones es evitar la entrada de energía al interior del edificio, su posición más efectiva es en el exterior y con una separación de la propia fachada para evitar problemas de propagación por transmisión, emisión o conducción.

2.1. Requerimientos de diseño

Los elementos de sombreadamiento se deben disponer en el exterior de la envolvente del edificio y separada de ésta lo que implica que deben tener unos requerimientos especiales a otros elementos constructivos del edificio según exponemos a continuación:

- Resistencia a Viento. Al tratarse de elementos exentos y separados de la envolvente, tienen una exposición importante al viento, lo que hace que deban tener una gran resistencia a esfuerzos momentáneos y a ciclos repetidos.
- Resistencia a la intemperie. Son elementos muy expuestos a los agentes ambientales, como son la exposición directa a los rayos UVA y al soleamiento, así como a la lluvia o el hielo.
- Ligereza. Su fijación se debe realizar sobre la envolvente o sobre elementos portantes atravesándola, lo que implica que los elementos de soporte no pueden ser muy robustos, por lo que cuanto más ligeros sean estos elementos mejor será su fijación.
- Forma. Estos elementos colaboran con la imagen final del edificio de manera que su forma o geometría debe estar en consonancia con dichos diseños, pudiendo tener formas libres.
- Montaje y fabricación. El sistema de montaje debe ser sencillo y prefabricado para evitar acciones por el exterior de la envolvente que constituyan un riesgo.
- Seguridad. No se puede permitir su rotura espontánea o su fragilidad que ocasionaría su rotura y caída por el exterior del edificio con el consiguiente riesgo.

2.2. Sectores comparativos

Si analizamos los requerimientos que deben cumplir los elementos de sombreado, podemos observar que también se observan en otros sectores, incluso con mayores exigencias.

Tanto en el sector aeronáutico como en la náutica, se pueden encontrar requerimientos similares o muy superiores a los que encontramos en estos elementos, como la ligereza, la resistencia que implican una reducción importante de costes. Por otro lado, deben ser elementos con gran resistencia a los agentes atmosféricos debido a su alta exposición.

Por último, la geometría de los elementos responde a los esfuerzos que deben resistir, y por lo tanto, no responden a patrones geométricos sencillos, lo que implica unos procesos de fabricación que permitan una libertad formal.

En otro sector, como el eólico, además de estos requerimientos, se suma la necesidad de la prefabricación y de montajes en situaciones complicadas, ya que los aerogeneradores normalmente se encuentran en lugares con difícil acceso, y con montajes de alta dificultad.

Si analizamos los sectores expuestos, observamos que en todos ellos el material más utilizado es el composite o material compuesto, formado por resinas plásticas y fibras, ya que poseen muy buenas prestaciones como veremos a continuación.

3. Material compuesto

El composite es aquel material que está compuesto por dos o más componentes que se complementan entre sí trabajando juntos, e incrementando las propiedades y características de cada uno de ellos por separado. Estos materiales están diseñados específicamente para cada utilidad, no siendo materiales estándar, y por lo tanto se trata de materiales optimizados enfocados a las necesidades de cada proyecto y requerimientos.

Dentro de los composites podemos tener distintas clasificaciones en función de los materiales que los conforman, ya que dentro de los composites podemos encontrar desde el adobe y el hormigón, hasta los materiales plásticos que conforman los aviones, pasando por los composites de aluminio compuestos por dos chapas de aluminio y un núcleo de polietileno, mineral o de nido de abeja.

En el presente artículo nos centraremos en los composites plásticos, principalmente termoplásticos, como a continuación explicaremos.

3.1. Composición

Los materiales compuestos se componen principalmente de:

- **Matriz.** La matriz es el componente que aporta la cohesión al material, así como las propiedades físicas y visuales, como son su aspecto, su peso y su dureza. Entre los principales materiales de la matriz de composites poliméricos podemos encontrar las resinas de poliéster, vinylester, epoxy o uretano acrilatos.
- **Fibras.** Las fibras confieren las propiedades mecánicas al material, como la resistencia, la rigidez y la elasticidad. Entre las fibras se pueden distinguir fibras naturales como el lino o el esparto; metálicas como de aluminio o de acero, o fibras sintéticas como las fibras de vidrio, de carbono o de basalto, que serán las más utilizadas en el mundo de la construcción.

- Cargas. Son elementos que se introducen en la mezcla con la matriz en un porcentaje bajo, que proporcionan propiedades adicionales o especiales al material, como mejor comportamiento al fuego, alúmina, mayor resistencia a la dureza, sílex.
- Aditivos. Los aditivos se utilizan principalmente para mejorar los procesos de manufactura, como desmoldeantes, fluidificantes, o estabilizadores. También se pueden utilizar como pigmentos para obtener cualidades ópticas en la propia matriz del material.

3.2. Propiedades

Las propiedades del composite dependen de la resina y las fibras utilizadas, de manera que existe un rango de las mismas, pero debemos distinguir la ligereza y su resistencia, así como la capacidad de realizar elementos de grandes dimensiones, tridimensionales y sin juntas en comparación con otros materiales de la construcción como el vidrio, el aluminio, el acero o el hormigón (Figura 1).

Por otro lado, cabe distinguir que una de sus principales ventajas es que es un material inerte tanto eléctricamente como con muy baja conducción lo que evita problemas de corrosión y por lo tanto de mantenimiento, y tiene buenas propiedades de aislamiento térmico lo que implica que no es necesario utilizar elementos de rotura de puente térmico (Figura 1).

Propiedad	Composite	Hormigón	Acero	Aluminio	Vidrio
Densidad (kg/m ³)	1000 - 2000	2500	7850	2700	2500
Resistencia (MPa)	20 - 2500	20 - 50	275 - 550	160 - 500	10 - 90
Corrosión	No	Con Acero	Si	Si	No
Conductividad Eléctrica	$2,8 \times 10^{-4}$	$2,8 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^7$	$3,8 \times 10^7$	$1,0 \times 10^{-14}$
Dimensiones De Fabricación	Libertad Formal	Fabricación "in situ"	Limitadas	Limitadas	Limitadas
Coefficiente de Dilatación	$3,0 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$2,5 \times 10^{-5}$	$9,0 \times 10^{-6}$
Aislamiento Térmico (W/Km)	0,2	0,8	50	205	0,8
Comportamiento al fuego	Normal	Excelente	Bueno	Malo	Malo

Figura 1. Propiedades de los materiales

(Fuente: Elaboración Propia)

3.3. Procesos de fabricación

Al tratarse de materiales compuestos de diferentes componentes y diseñados específicamente para cada proyecto y requerimientos existen distintos procesos de fabricación, que se adaptan a las necesidades de cada proceso.

- Pultrusión. Es un proceso continuo que consiste en hacer pasar la resina a través de una matriz que conforma la forma requerida añadiendo presión y temperatura y las fibras en la posición y porcentaje requerido. Es un proceso para la realización de elementos lineales, como perfiles y tuberías.
- Laminación manual. Es un proceso de suma de las distintas capas que conforman el material laminado sobre un molde que posteriormente son impregnadas con resina de manera manual mediante un rodillo, y posteriormente se elimina el aire interior mediante un rodillo de presión. Las ventajas de este proceso son la realización de piezas de grandes

dimensiones e incluso tridimensionales, pero como contrapartida este proceso posee un poco uniformidad en el laminado.

- Infusión. Es un proceso que evoluciona sobre el proceso anterior en el que además de colocar todos los elementos sobre el molde, por último, se dispone una bolsa adherida sobre el molde que permite hacer el vacío en el laminado, y posteriormente sustituir el vacío por la resina mediante inyección, lo que permite una mejor proporción entre resina y fibras, evitando la inclusión de burbujas de aire. Este sistema es óptimo para un número intermedio de piezas con grandes dimensiones.
- RTM (Resin Transfer Moulding). Proceso evolutivo de los anteriores en el que se sustituye la bolsa de vacío exterior por un contramolde, lo que permite utilizar una mayor presión para el vacío y el inyectado de la resina, y la inclusión de temperatura para un mejor curado de las piezas. Todo ello implica una mayor calidad del laminado con una proporción óptima entre fibra y resina y la ausencia total de burbujas de aire en su interior.

4. Casos de estudio

4.1. Nueva Sede BBVA

4.1.1. Concepto general

Es obra de los arquitectos suizos Herzog&DeMeuron, junto con la colaboración de los arquitectos locales Ortiz.Leon Arquitectos, terminado en el año 2015. La obra es un complejo de oficinas compuesto por unos edificios bajos de 3 alturas dispuestos en crujías paralelas de gran longitud con patios intermedios, que se combinan en una gran plaza abierta, en la que emerge un edificio vertical, llamado la Vela, de 100 m de altura y con una geometría diferente para ser un edificio en altura (Figura 2).

Tanto en el perímetro de los edificios bajos, como en la fachada Sur del edificio alto se disponen unas lamas exteriores de sombreado realizadas en material compuesto.



Figura 2. Imagen General

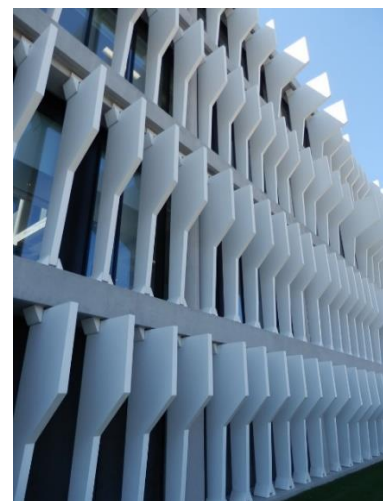


Figura 3. Lamas Exteriores

(Fuente: Ortiz.Leon Arquitectos)

4.1.2. Diseño de las lamas

Las lamas de éste edificio tienen distintas funciones como son la protección solar, la protección visual y dotar al edificio de una imagen exterior de conjunto.

El diseño especial de las lamas en todo el perímetro del edificio ofrece una imagen vibrante de la fachada, ya que se disponen lamas con distintas geometrías y dimensiones que generan dicha imagen. Por otro lado, esta diferencia de geometría atiende a un criterio de protección solar en función de la orientación de las distintas fachadas, y del uso interior del edificio, siendo de mayor dimensión y con una mayor separación en las zonas más públicas, como los comedores o salas de reuniones, y teniendo una dimensión menor en las zonas de trabajo.

La geometría de las lamas en forma de "L" (Figura 3), así como su dimensión y separación entre ellas, permite la visión del exterior desde las oficinas, y una eficaz protección solar de la fachada, garantizando un aporte máximo de energía en el peor escenario de 50 W/m^2 , lo que favorece notablemente el consumo energético del edificio.

La elección del material compuesto se debe principalmente a 3 motivos:

- Resistencia. Las lamas deben soportar presiones de viento de hasta 1900 Pa con vuelos de $2,40 \text{ m}$, lo que implica un material altamente resistente. Para obtener las cargas a tener en cuenta en el cálculo y dimensionado de las lamas se realizó un túnel de viento (Figura 4).
- Ligereza. La primera fase del edificio se realiza sobre una estructura existente, siendo una rehabilitación, de manera que esta estructura existente no es capaz de soportar una carga adicional importante en su extremo.
- Geometría. Las lamas poseen grandes dimensiones en ambos sentidos ($2,40 \text{ m}$ de ancho con hasta 10 m de altura) sin juntas vistas y con geometrías variables (Figura 3).

La elección del material compuesto supuso una ventaja en la fabricación mediante moldes ya que se pudieron realizar las piezas en poco tiempo en taller, y además facilitó la puesta en obra de las de los edificios bajos, pero principalmente de las lamas de grandes dimensiones situadas en la parte superior del edificio vertical.



Figura 4. Maqueta de Túnel de Viento

(Fuente: Informe Túnel de Viento realizado por Wacker Ingenieureu)

Para conseguir la geometría prevista (100 mm de espesor) con una optimización de costes, las lamas se realizan mediante dos cáscaras unidas entre sí con una estructura metálica interior (Figura 5), ya que su realización de manera completa de una pieza implicaría un coste excesivo.

La estructura metálica se forma por un elemento vertical (Tubo $120.70.3 \text{ mm}$) sobre el que se disponen unos elementos horizontales soldados en forma de peine con un tubo perimetral (Tubo $70.40.3 \text{ mm}$), todos ellos soldados entre sí y galvanizados en conjunto (Figura 5).

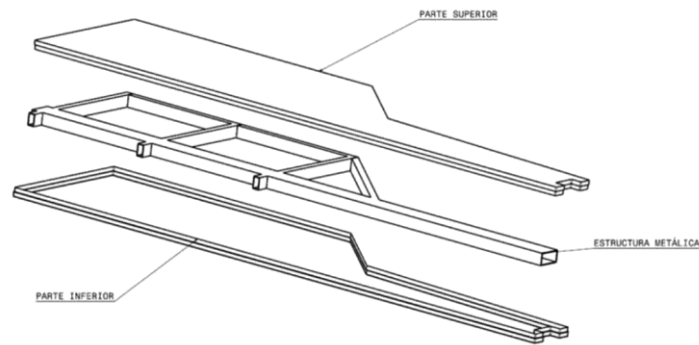


Figura 5. Esquema de funcionamiento de Lamas

(Fuente:Elaboración Propia)

Cada cáscara exterior estará formada por un sándwich de laminado de resina de poliéster con fibra de vidrio y núcleo estructural tipo PET. El laminado está formado por un doble tejido biaxial y dos tejidos MAT para obtener un acabado cosmético (Figura 6). En la parte exterior sobre el molde se dispondrá una capa de gelcoat. Todo el panel sándwich tendrá un espesor total de 14 mm.

En el exterior se aplicará una pintura de poliuretano alifático con propiedades ignífugas que dotará a las piezas de su acabado final eliminando las imperfecciones y disimulando completamente la junta de pegado entre ambas cáscaras.

Con ésta configuración las lamas tendrán un espesor total de 100 mm.

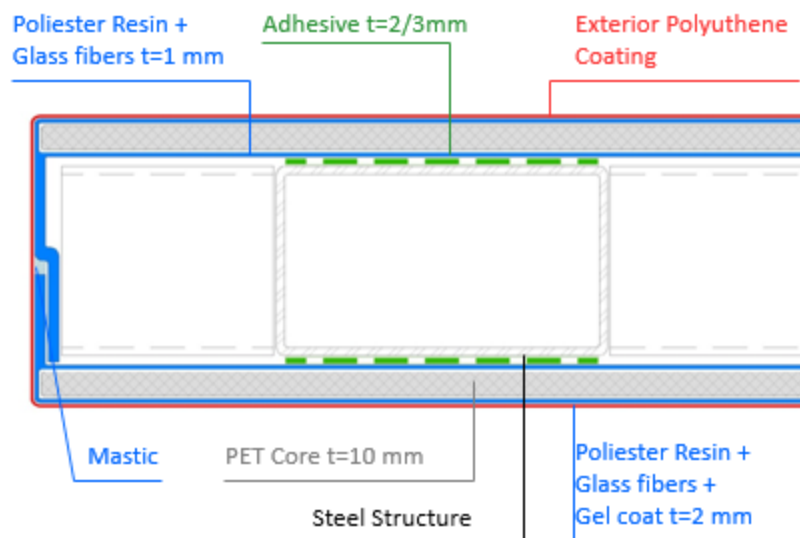


Figura 6. Esquema de sección de una lama

(Fuente:Elaboración Propia)

En la zona del edificio vertical, debido a la gran altura de los elementos y las grandes cargas (1900 Pa) según el cálculo realizado por FEM (Figura 7), se modificó la estructura metálica interior sustituyendo el tubo principal por otro de mayor dimensión (200.120.5 mm), teniendo estas lamas por tanto un espesor total mayor de 200 mm.

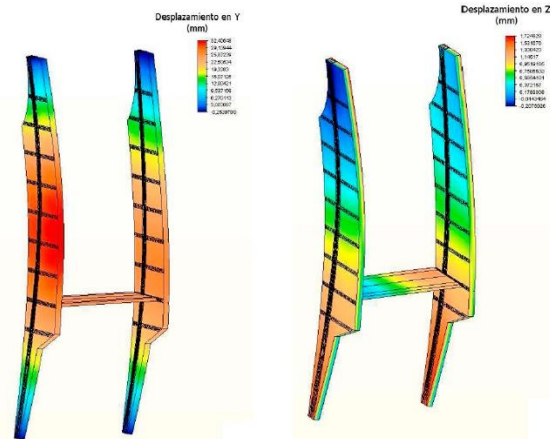


Figura 7. Esquema de cálculo de las lamas del Edificio Vertical

(Fuente: Proyecto de Ejecución del Proyecto Nieva Sede BBVA. OL Arquitectos)

4.1.3. Fabricación y puesta en obra

Para la fabricación de las lamas se utilizaron dos procesos, la primera fase se realizó mediante laminación manual, mientras que la segunda fase se realizó mediante infusión. En ambos casos se realizaron unos moldes de resina de Vinilester con buena estabilidad y resistencia que permiten la fabricación de las piezas en su parte interior (Figura 8a). Los moldes dispusieron de elementos móviles que permiten el ajuste de altura para adaptarse a las distintas dimensiones de las lamas.

Sobre los moldes se aplica la primera capa de gelcoat, que posteriormente formará parte de la pieza, para comenzar la disposición de las telas que conforman los laminados y los núcleos para la fabricación del sándwich. En el caso de la laminación manual se aplicará la resina sobre los tejidos directamente, mediante rodillo y posteriormente se eliminarán las burbujas (Figura 8b), mientras que en el caso de la infusión, se dispondrán los tejidos y los núcleos, para posteriormente cerrar el molde con la bolsa superior y proceder a aplicar el vacío para posteriormente ser sustituido por la resina mediante la presión necesaria (Figura 8c).



Figura 8a. Moldes



Figura 8b. Laminado Manual

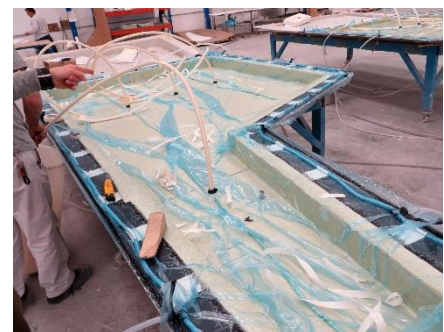


Figura 8c. Infusión

(Fuente: Elaboración Propia)

Una vez realizadas las cáscaras, se compone el conjunto de la lama con un adhesivo estructural sobre la estructura metálica y entre ambas piezas, para posteriormente realizar el enmasillado de las juntas para evitar que sean vistas desde el exterior y el lijado y preparado de la pieza para su pintado posterior.

Por último, la instalación en obra se realiza mediante grúa y ventosa debido a la ligereza de cada una de las piezas.

4.2. Nueva Sede Banco Popular

4.2.1. Concepto general

Proyecto de Arquitectos Ayala, como segunda fase del Centro de Proceso de Datos realizado anteriormente. El nuevo edificio es un volumen paralelepípedo, compuesto por distintos bloques unidos tanto en la parte superior como inferior para conferir una imagen única. Esta unión de la planta superior e inferior también se realiza visual y conceptualmente con un cerramiento de lamas exteriores que a su vez recogen la imagen del edificio de la primera fase, que estaba totalmente recubierto por estos elementos. En este caso las lamas aportan una imagen continua y de unidad al edificio adicionalmente a una protección solar, principalmente en los testeros orientados al Este y Oeste. Las lamas generan una piel exterior separada del edificio 80 cm, para permitir el mantenimiento y la limpieza de la fachada.

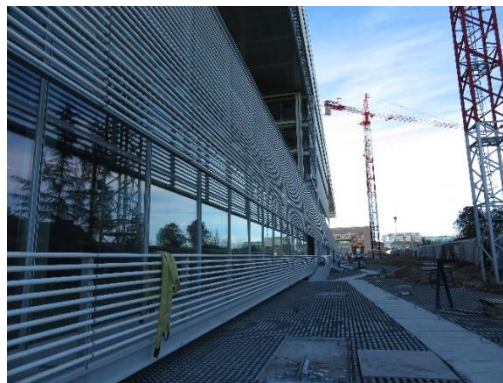


Figura 9. Imagen general de fachada Nueva Sede Banco popular Madrid

(Fuente: Elaboración Propia)

4.2.2. Diseño de las lamas

En este caso las lamas de sombreado exteriores son tubos circulares de 50 mm de diámetro exterior y una longitud de 2600 mm, separadas entre ellas aproximadamente 60 mm. Las lamas imitan el cerramiento realizado en el edificio previo. En dicho edificio se ejecutó una celosía exterior de lamas cerámicas vitrificadas con esmalte (Figura 10a), con un refuerzo interior metálico que le aportaba rigidez para evitar la deformación por peso propio en la longitud de 2600 mm, y además evitaba la caída de las piezas cerámicas en caso de rotura, debido a la rigidez de las mismas. En este caso se eligió el material compuesto para la ejecución de las lamas ya que estéticamente tiene el mismo acabado que las lamas cerámicas previas (Figura 10b), pero sin la rotura frágil y la caída de fragmentos, incrementado la seguridad. Además, dotando de mayor espesor a las lamas se consigue con un menor peso una rigidez que evita la necesidad de introducir refuerzos interiores.



Figura 10a. Lamas cerámicas Iniciales



Figura 10b. Lamas de material compuesto

(Fuente: Elaboración Propia)

Las lamas se han realizado con resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio y con un acabado posterior de pintura de poliuretano alifático. Realizar las lamas con éste material simplifica adicionalmente las tapas de las mismas (Figura 10b), ya que se realizan con el mismo material y quedan unidas a él sin la introducción de material extraños que puedan provocar el desprendimiento de las mismas.

4.2.3. *Fabricación y puesta en obra*

Tratándose de elementos lineales de poca dimensión, 50 mm de diámetro, la fabricación se realiza mediante un proceso de pultrusión (Figura 11) a través de una matriz circular.

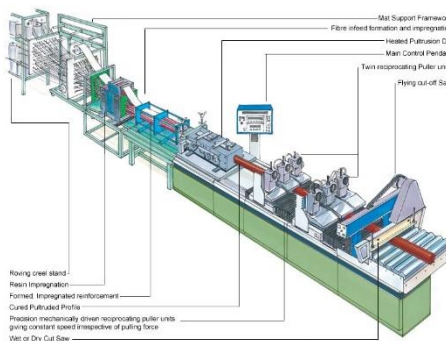


Figura 11. Esquema de máquina de pultrusión

(Fuente: Fibertec)



Figura 12. Detalle de tapas pegadas

(Fuente: Elaboración Propia)

Posteriormente se manufacturan las lamas a la dimensión correcta (2600 mm), pegando las testas con un adhesivo estructural compuesto principalmente con resina de poliéster, y por último realizar el lijado de los elementos para evitar las juntas vistas (Figura 12) y su pintado mediante pintura de poliuretano alifático con propiedades ignífugas.

Todas las lamas se montan en taller sobre bastidores de aluminio anodizado que conforman módulos para su instalación en obra de manera sencilla.

5. Conclusiones

Después de analizar el material y sus características, así como los ejemplos mostrados, se puede observar que el composite como material compuesto de resinas plásticas y fibras es un material con grandes posibilidades y ventajas para su utilización en fachadas, y particularmente como elemento para la realización de lamas exteriores, debido a su ligereza, resistencia, durabilidad, libertad formal y seguridad.

Por otro lado, como conclusión adicional, debemos extraer que es interesante observar otras disciplinas con requerimientos similares para encontrar respuestas a nuevos requerimientos que puedan aportar nuevas posibilidades al diseño y a la construcción.

6. Referencias

- [1] Directiva 2010/31/UE (2010). Diario Oficial de la Unión Europea. Mayo 2010.
- [2] JESKA, S. (2008). Transparent Plastics, Birkhauser. Berlin, 2008.
- [3] CASTRO, A. (2010). Manual de Composites. Vigo, 2010.
- [4] FIBERLINE. (2008). Manual de Composites. Londres, 2008.