

## COMPORTAMIENTO DE VIVIENDA BIO-PASIVA TRAS OCHO AÑOS DE EXPOSICIÓN EN CLIMA OCEÁNICO

### PERFORMANCE OF A SINGLE FAMILY BIO-PASSIVE HOUSE AFTER EIGHT YEARS EXPOSITION IN OCEAN CLIMATE

Lozano, Alfonso <sup>(1)</sup> \*; Lorenzo, David <sup>(2)</sup>; Alonso, Mar <sup>(3)</sup>; Álvarez, Felipe <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Profesor titular de universidad. Área de Ingeniería de la Construcción. Universidad de Oviedo. España

<sup>(2)</sup> Profesor asociado, Universidad de Santiago de Compostela. España

<sup>(3)</sup> Profesor ayudante doctor. Área de Ingeniería de la Construcción. Universidad de Oviedo. España

<sup>(4)</sup> Profesor ayudante doctor. Área de Ingeniería de la Construcción. Universidad de Oviedo. España

\* Contacto: [alozano@uniovi.es](mailto:alozano@uniovi.es)

CÓDIGO: A4483086

#### Resumen

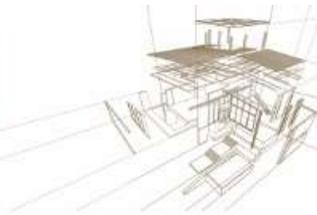
A mediados del año 2011 concluyó la construcción de una vivienda unifamiliar en Llanes (Asturias-España). La edificación, ejecutada bajo criterios de Bioconstrucción y constituida por muros de carga de madera contralaminada, fue diseñada según el estándar Passivhaus, y se certificó bajo este sello pocos meses más tarde. Además de su estructura, ejecutada completamente en CLT y los aislamientos térmicos y absorbentes acústicos, fabricados todos ellos a partir de corcho natural, en el inmueble se utilizó madera de castaño (*Castanea sativa*) para las carpinterías y madera termotratada de conífera (*Pinus radiata*) en gran parte de los revestimientos exteriores. Habida cuenta de que era la primera vez que en España se combinaban las técnicas de Passivhaus con biomateriales, durante los cinco años posteriores a su entrega, la vivienda se monitorizó con el fin de comprobar la bondad de los sistemas de calefacción y analizar la calidad del aire interior (concentración de CO<sub>2</sub> e ionización, fundamentalmente). Al mismo tiempo, durante estos años y los siguientes se aprovechó para estudiar el comportamiento y la durabilidad de los componentes de madera y sus derivados en un inmueble construido muy próximo al mar, en pleno clima oceánico y en una zona muy afectada por termitas subterráneas. La ponencia describe la tipología constructiva y los materiales empleados en la edificación, y posteriormente expone el comportamiento a lo largo de estos años de los elementos de madera más significativos utilizados en la vivienda.

*Palabras-clave: vivienda pasiva, Bioconstrucción, comportamiento, clima oceánico.*

#### Abstract

Write In the middle of the year 2011 the construction of a family house in the town of Llanes (Asturias - Spain) was completed. The building, built under Bioconstruction criteria and constituted by load-bearing walls of CLT, was designed according to the Passivhaus standard, and was certified by this organization few months later. In addition to its structure, completely made of CLT boards, the thermal insulation and acoustic absorbers were formed from natural cork, chestnut wood (*Castanea sativa*) was used for carpentry and thermally modified wood (*Pinus radiata*) on the facades and deckings. Given that it was the first time in Spain that Passivhaus techniques and biomaterials were combined in a building, during the five years after its construction, the house was monitored in order to check the goodness of the heating systems and analyze the quality of the indoor air (concentration of CO<sub>2</sub> and ionization, fundamentally). At the same time, during these and the following years, it was used to study the performance and durability of wood components against aging in a house built very close to the sea, in an oceanic climate and in an area very affected by subterranean termites. The paper describes the construction typology and the materials used in the building, and exposes the performance over these years of the wooden elements of the house.

*Keywords: passive house, Bioconstruction, performance, ocean climate.*



## 1. DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA: MATERIALES

Concebida por el estudio Duque y Zamora Arquitectos, Se trata de una vivienda unifamiliar de aproximadamente 180 m<sup>2</sup> construidos y 133 m<sup>2</sup> útiles, que integra un diseño de acuerdo con el estándar Passivhaus y una ejecución bajo criterios de Bioconstrucción. Es decir, que se definió persiguiendo un doble objetivo: alcanzar unos niveles de consumo energético muy bajos, con materiales y sistemas constructivos que primasen la máxima protección para la salud de los trabajadores, de los usuarios finales y por supuesto del Medio Ambiente (Lozano et al 2013).

El proyecto ha respetado la topografía original y la vegetación autóctona de esta zona de la costa asturiana, consiguiendo una perfecta adaptación al entorno. Para ello se planteó una envolvente sin puentes térmicos y muy estanca que, junto al uso de doble acristalamiento bajo emisivo de Argón, consiguió que la transmisión térmica media de la vivienda fuese de solo 0,2W/m<sup>2</sup>K.

La forma y ubicación del edificio, así como la distribución interior, han sido diseñadas para obtener el máximo aprovechamiento de los recursos naturales del clima, y por consiguiente lograr un menor consumo energético. Así, la ubicación se definió previo análisis de la radiactividad natural del entorno, muy baja al estar sobre terreno calizo, y posterior estudio geobiológico para ubicar las zonas de descanso (Duque, I. y Zamora, A. 2013).

Después, utilizando como modelo la arquitectura popular asturiana, se contempló una galería de madera termotratada orientada al Sur, de manera que este espacio actuase como un invernadero encargado de acumular el calor en aquellos materiales con mayor inercia térmica, como por ejemplo pavimento de piedra caliza.

La elección de todos los materiales se ha realizado primando aquellos de probada durabilidad, altas prestaciones y menor impacto ambiental, reciclables y también con propiedades más saludables. Pero que igualmente ofrezcan buenas prestaciones impermeabilizantes, aislantes y de acumulación de calor, permeables a la difusión de vapor de agua e higroscópicos, de manera que permitan la ejecución de paramentos estancos al aire y al viento.

Para lograr estos objetivos, se eligieron componentes y elementos constructivos en su mayoría de origen orgánico y 100% renovables, de madera y derivados. Exceptuando la cimentación, ejecutada con hormigón de baja radiactividad y las láminas de caucho butilo para la impermeabilización de la solera y los arranques de muros de carga (Figura 1), la estructura está constituida por paneles de madera contralaminada (CLT) de abeto rojo (*Picea Abies*) con adhesivos de baja emisión de formaldehído (Figura 2), los aislamientos térmicos son placas de corcho natural en fachadas y cubierta y vidrio celular bajo la cimentación, carpinterías de madera de castaño (*Castanea sativa*), tarima flotante de madera maciza dispuesta sobre manta de corcho y revestimientos de cal natural y madera termotratada de conífera (*Pinus radiata*) para las galerías y pavimentos exteriores de la fachada Sur.



Figuras 1 y 2: Muros de carga de CLT y detalle de los arranques.



En cuanto a las tuberías e instalaciones, indicar que se trata de sistemas biocompatibles, con tubería, cableado y material eléctrico de polipropileno, placas fotovoltaicas para la producción de A.C.S., etc. En la calefacción se empleó un sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor, consiguiendo una demanda de 12 kWh/m<sup>2</sup>a y cumpliendo así con los parámetros del estándar energético Passivhaus.

Por último indicar que también se tuvo en cuenta la reutilización del agua de lluvia para la lavadora, los inodoros, la limpieza, y el tratamiento de las aguas negras mediante un digestor de oxidación total para su posterior uso en el riego.

La ejecución concluyó en el mes de julio de 2012 (Figuras 3 y 4) y su ocupación se llevó a cabo inmediatamente después.



*Figuras 3 y 4: Fachadas Sur y Norte y Este de la vivienda.*

## 2. ASPECTOS CONSIDERADOS PARA GARANTIZAR LA DURABILIDAD

Con independencia de las cuestiones relacionadas con la consecución de los parámetros exigidos por el Estándar Passivhaus, la baja durabilidad de la madera de *Picea Abies* constituyente de los paneles de CLT frente a los ataques de hongos de pudrición y termitas (Lozano A. et al 2015), combinada con la exposición a un clima lluvioso, húmedo y cálido, como es el oceánico (David Lorenzo et al 2018), obligó a diseñar adecuadamente determinados detalles constructivos que redujesen, en la medida de lo posible, la retención y el contacto prolongado con el agua de lluvia y la procedente del terreno.

Asimismo, también las pavimentos exteriores y galerías de *Pino radiata* termotratado, son susceptibles de sufrir daños por termitas, máxime si se tiene en cuenta que a poca distancia de esta vivienda se sitúa un núcleo de edificios muy afectados por este tipo de insectos xilófagos.

Y en último caso no puede olvidarse a la acción de los rayos UVA, que sin duda incide como mínimo en la tonalidad y en el aspecto de la madera dispuesta en el exterior.

Por todo ello se consideró imprescindible analizar el diseño constructivo, prestando atención a los detalles relacionados con los muros de carga, las cubiertas, las carpinterías, la galería y los suelos de madera previstos en el exterior (Kassal B 2014). A continuación se expondrán algunas de las características tenidas en cuenta en la puesta en obra de estos elementos constructivos.

### 2.1. Muros de carga

Como en cualquier edificación de muros de carga, la humedad ascensional es un problema que afecta directamente a la durabilidad, a la salubridad y finalmente a la estabilidad de este tipo de estructuras. Pero en climas húmedos, también es fundamental eliminar la posibilidad de condensaciones, tanto superficiales como intersticiales.



En el caso de esta vivienda Bio-Pasiva ubicada a poco más de 500 m del mar, además del agua procedente del terreno, evitada con la lámina de caucho bitulo dispuesta bajo los durmientes de reparto (ver Figura 1 anterior), también se tuvo en cuenta la estanqueidad de la envolvente (parámetro fundamental en el caso de edificaciones pasivas), para lo cual se utilizaron bandas dobles de caucho y láminas de estanqueidad como refuerzo en la unión entre paneles.

Respecto a las filtraciones y condensaciones, que a largo plazo podrían reducir la durabilidad tanto de los paneles de CLT, se evitaron con la disposición de láminas impermeables transpirables, con  $S_D = 0,01$  y  $S_D = 2,3$  en el exterior e interior, respectivamente. La Figura 5 muestra un detalle de las líneas dobles de caucho EPDM dispuestas en los cantos de los paneles, y las láminas de polipropileno como protección adicional en cada junta. Por su parte la Figura 6 refleja colocación de la primera línea de estanqueidad ( $S_D = 2,3$ ) y la impermeabilización de la solera soporte del decking de madera termotratada en la fachada Sur.



*Figuras 5 y 6: Láminas y sellados de estanqueidad y solera del decking.*

## 2.2. Cubiertas

Para evitar las condensaciones bajo las cubiertas, rematadas con teja en el cuerpo principal y cobre en la galería, se dispusieron rastreles de duramen de madera de castaño para el primer caso (Figura 7), mientras que en la galería se utilizaron placas gofradas de polietileno (PE) con simple nódulo para facilitar la ventilación del intradós de la chapa (Figura 8).



*Figuras 7 y 8: Rastreles de duramen de castaño para la teja y placa de PE bajo el cobre.*

## 2.3. Carpinterías

Es el punto débil de todas las fachadas y especialmente a vigilar en el caso de muros portantes de CLT. En esta vivienda se prestó especial cuidado al sellado de todos los encuentros entre cada una las piezas de láminas transpirables dispuestas bajo y encima de las placas de corcho.



La Figura 9 permite observar las bandas de sellado en las carpinterías de acceso a la terraza de la planta baja y una de las ventanas, respectivamente.



*Figuras 9 y 10: Se prestó especial cuidado al sellado del perímetro de las ventanas.*

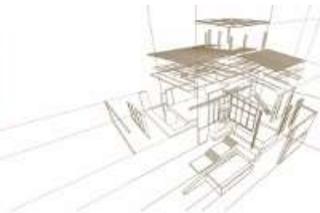
En cuanto a los vierteaguas, se montaron con suficiente pendiente hacia el exterior, y estaban constituidos por un soporte base de paneles de yeso natural con fibra de celulosa resistentes al agua y revestidos con chapa de cobre.

#### **2.4. Galería**

Dado que en esta zona los vientos dominantes se orientan precisamente hacia la fachada Sur, y las lamas de madera termotratada de las galerías, de 21 mm de espesor, 80 mm de ancho y diferentes largos, iban a situarse en sentido horizontal sobre rastreles de duramen de castaño, se eligieron piezas con corte oblicuo, inclinado hacia el exterior, desestimándose el habitual machihembrado para reducir las posibilidades de retención de agua en las ranuras. La fijación incluyó una mínima holgura para absorber los cambios pequeños volumétricos que podrían sufrir las lamas, al tiempo que se permite la aireación del trasdós, tal y como funcionaría una fachada ventilada. Sin embargo, para las esquinas, el proyecto especificaba encuentros en inglete, confiando en que se mantuviese la unión gracias a la estabilidad dimensional que proporciona el termotratamiento (Figura 11).



*Figura 11: Lamas en bisel y encuentros en inglete para las galerías.*



## 2.5. Suelo de la terraza

El último elemento constructivo ejecutado en madera fue el suelo de la terraza existente en la fachada Sur, realizada también con lamas de madera termotratada de *Pinus radiata* situadas sobre rastreles de madera de castaño, apoyados a su vez sobre un soporte de gravas extendidas sobre la solera de hormigón, con pendiente hacia el exterior.

Las tablas, de sección rectangular con 34 mm de espesor y 140 mm de anchura, tienen un longitud superior a los 2 m. La fijación es mediante herrajes ocultos, manteniendo una holgura en torno a los 20 mm para facilitar su secado y reducir la acumulación materia orgánica entre las tablas. Además cuenta con un ranurado antiresbaladizo en la cara superior

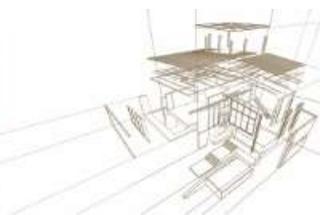
Toda la madera expuesta a los rayos UVA recibió un tratamiento final mediante un lasur al agua, en color marrón, formulado con aceite de lino, resinas y pigmentos naturales (Figura 12).



Figura 12: Terraza de fachada Sur en madera termotratada y protector UVA.

## 3. EVOLUCIÓN DEL EDIFICIO

Además de la medición de los consumos de electricidad y energía, durante el año 2013 se instalaron algunos dispositivos en el interior de la vivienda, para que pudiese llevarse a cabo un registro continuo de diversos parámetros relacionados con la salubridad del aire, entre los que destacan el nivel de CO<sub>2</sub> y la ionización del aire interior.



A lo largo de este periodo de tiempo y también en los años posteriores, también se llevaron a cabo otras visitas de control para analizar el comportamiento de los elementos de madera y sus derivados, colocados en el edificio, mediante métodos no destructivos (Divos F. et al 2011).

Los parámetros higrotérmicos y concentraciones CO<sub>2</sub> e iones positivos medidos dentro de la vivienda durante el periodo de seguimiento fueron óptimos. Y lo mismo puede decirse respecto a la estanqueidad al agua y al viento (De Oliveira E 2015).

Simplemente hacer constar que en el verano de 2016, exactamente cuatro años después de entrega la vivienda, debido al tono agrisado que habían adquirido la madera instalada en las galerías, se renovó el tratamiento de las piezas dispuestas en las fachadas, utilizándose en este caso un producto base cera con propiedades hidrofugantes. Por el contrario, en la tarima exterior no aplicó ningún acabado con el objeto de que la madera adquiriese el tono agrisado característico con el paso del tiempo.

#### 4. ESTADO ACTUAL

Hasta el momento la estanqueidad de la vivienda sigue siendo perfecta, lo que ha evitado el desarrollo de mohos y hongos de pudrición en ningún punto de la vivienda. Es decir, que además de la salubridad de la vivienda, también la estabilidad y seguridad de sus elementos portantes a medio plazo está garantizada, a pesar de la agresividad de su exposición y la baja durabilidad de la madera utilizada en la estructura.

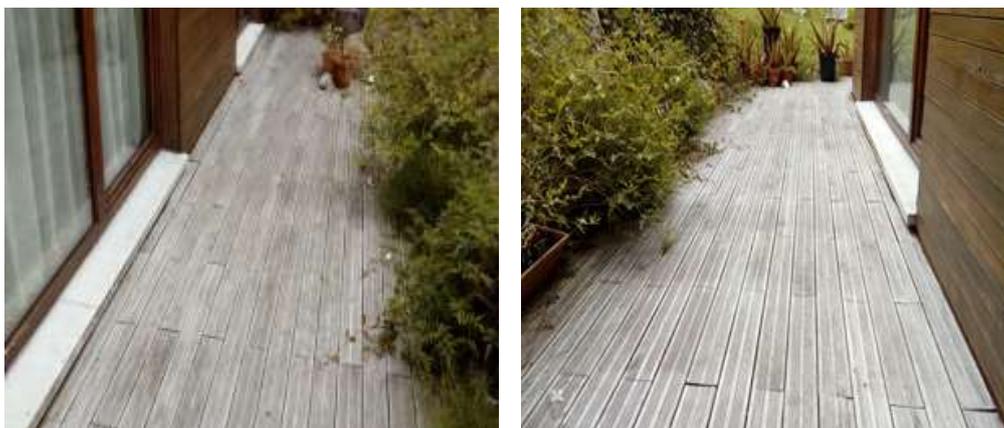
En al exterior, tras ocho años de exposición, los perfiles de madera termotratada siguen manteniendo el anclaje, las juntas y los encuentros prácticamente idénticos al inicial (Figura 13). También puede apreciarse el perfecto estado de la arista, a pesar de la debilidad de esta unión (Figura 14). Como puede comprobarse, también se mantiene la tonalidad tras la aplicación del tratamiento protector en el año 2016.



*Figuras 13 y 14: Perfecto estado de las uniones entre las tablas de madera termotratada.*



Por el contrario, puesto que la tarima exterior no había recibido ningún producto de acabado, la tonalidad era la grisácea característica de la madera expuesta a la radiación UVA (Figuras 15 y 16). A pesar de ello, y gracias a la ventilación inferior y a la separación entre las tablas, no se detectaron pudriciones o ataques de insectos xilófagos en ninguna zona del pavimento.



*Figuras 15 y 16: Tono agrisado de la tarima exterior.*

Finalmente y a modo de anécdota, hacer constar que durante la construcción de la vivienda se habían detectado pequeños hinchamientos de los paneles de CLT, debido a la elevada humedad relativa del aire en esta localización geográfica a lo largo de todo el año. Esta circunstancia obligó a cepillar superficialmente aquellos paneles que iban a servir de soporte a algunos tableros de fibra de celulosa aglomerados con yeso natural, una vez alcanzada la Humedad de Equilibrio Higroscópico del CLT. En la actualidad ninguno de los paneles manifestó nuevos cambios volumétricos por lo que los paramentos verticales interiores conservaron la planitud correcta.

## 5. CONCLUSIONES

Tras ocho años de exposición en clima oceánico y a poca distancia de la costa, la vivienda Bio-Pasiva construida en Llanes (Asturias), sigue manteniendo las mismas características y prestaciones que en el momento de su entrega. Efectivamente, tras la revisión e inspección del contenido de humedad de sus muros de carga y forjados puede afirmarse que hasta el momento no se han detectado filtraciones de agua o de aire, fisuraciones o grietas por hinchamientos o mermas de los paneles; o incluso debido a problemas mecánicos o elásticos. Además el control y seguimiento de los consumos de energía y las mediciones de las ambientales interiores han permitido verificar que las condiciones de confort dentro del edificio son óptimas. En definitiva, que se trata de una tipología constructiva muy adecuada para ejecutar viviendas pasivas en climas oceánicos.

Por otra parte, en lo que concierne a la estética, en esta ubicación y tras la aplicación de un correcto programa de mantenimiento, la madera termotratada tanto en los perfiles que componen la fachada, como en las tablas del entarimado exterior sigue mostrando un aspecto que puede calificarse de muy bueno. A este respecto se informa que en otras situaciones geográficas más extremas, con periodos secos con muy baja humedad relativa, es frecuente observar la apertura de fendas en las tablas utilizadas como revestimientos de suelos y fachadas; y tras las épocas de lluvia, la madera termotratada sí presentaba un evidente deterioro a causa de los hongos.



En definitiva, en esta ubicación concreta, el termotratamiento de la madera sí mejora la estabilidad dimensional de las piezas de madera en condiciones climáticas variables pero con humedades relativas bastante homogéneas, minimizando la posibilidad de aparición de alabeos o fendas.

Por otra parte se incrementa la durabilidad frente a los hongos xilófagos e insectos de ciclo larvario sin tener que aplicar productos químicos, con lo que se asegura un producto totalmente ecológico, libre de aditivos químicos y por ende apto para emplearse en Bioconstrucción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lozano, A. et al. (2013). Towards a more efficient construction. Passivhaus+Bioconstruction. Proceeding of International Conference on Research in Construction, Madrid, Spain.

Duque, I., Zamora, A. (2013). Casa EntreEncinas: Casa Certificada Passivhaus con criterios de Bioconstrucción. 5ª Conferencia Española Passivhaus, Gijón, Spain.

Lorenzo D. et al (2015). Durability, use classes and weather conditions: the problem of fir and spruce timber bridges built in northern Spain, due to several and early wood decay attacks. 3rd International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures (SHATIS), Wroclaw, Poland.

Kasal B. (2014) Structural health assessment of in situ timber: An interface between service life planning and timber engineering. Int. J. Wood Material Science and Engineering, v. 9, p 134-138.

Divos F et al (2011). Evaluation of historical wooden structures using nondestructive methods. Proceedings of the international conference on structural health assessment of timber structures, Lisbon, Portugal.

De Oliveira E et al (2015). Monitoring and auditing of indoor air quality in European buildings: status and perspectives. European Conference on Healthy Buildings, Eindhoven, Holland.