

NUEVAS TENDENCIAS EN LA CONSTRUCCIÓN CON BALAS DE PAJA

SISTEMAS PREFABRICADOS

Trabajo Final de Grado

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Autora: Faustina Sánchez Martínez
Tutora: Yolanda Hernández Navarro

Curso: Noviembre 2017

La sostenibilidad es una cualidad que en los edificios aumenta en importancia diariamente, hasta tal punto que las normativas se actualizan para exigir que las intervenciones alcancen unos estándares mínimos. La sociedad, poco a poco se va concienciando de la necesidad de conservar el planeta y respetar el medio ambiente. Sin embargo, la idea de la construcción con paja en España se limita al uso de un material que aparentemente puede tener buenas capacidades de aislamiento pero que, por ser un residuo agrícola, su empleo se reduce únicamente a edificaciones mínimas de viviendas unifamiliares de una o dos alturas y en zonas rurales.

La finalidad de este trabajo pretende, desde una visión contemporánea del material, explorar nuevas tendencias en la construcción con balas de paja. Investigar la fiabilidad de nuevos sistemas constructivos que amplíen su aplicabilidad a edificios de mayor envergadura, entre ellos, la prefabricación de sistemas modulares, que ha permitido en países como Francia o Alemania, llevar a cabo proyectos de carácter público a una mayor escala. Y finalmente, probar el grado de adaptabilidad de dichos sistemas en España.

Palabras clave

Bioconstrucción, Sostenibilidad, Prefabricación, Ecológico, Paja

RESUM

La sostenibilitat és una qualitat que en els edificis augmenta en importància diàriament, fins a tal punt que les normatives s'actualitzen per a exigir que les intervencions aconseguen uns estàndards mínims. La societat, a poc a poc es va conscienciant de la necessitat de conservar el planeta i respectar el medi ambient. No obstant això, la idea de la construcció amb palla a Espanya es limita a l'ús d'un material que aparentment pot tindre bones capacitats d'aïllament però que, per ser un residu agrícola, el seu ús es reduïx únicament a edificacions mínimes de vivendes unifamiliars d'una o dos altures i en zones rurals.

La finalitat d'este treball pretén, des d'una visió contemporània del material, explorar noves tendències en la construcció amb bales de palla. Investigar la fiabilitat de nous sistemes constructius que amplien la seua aplicabilitat a edificis de major envergadura, entre ells, la prefabricació de sistemes modulars que ha permès en països, com França o Alemanya, dur a terme projectes de caràcter públic a una major escala. I finalment, provar el grau d'adaptabilitat dels dits sistemes a Espanya.

Paraules clau:

Bioconstrucció, Sostenibilitat, Prefabricació, Ecològic, Palla

SUMMARY

Sustainability is a quality that in buildings increases in importance every day; to the point that the regulations are updated to require that the interventions reach minimum standards. Society is gradually becoming aware of the need to conserve the planet and respect the environment. However, the idea of straw construction in Spain is limited to the use of a material that apparently has good insulation capacities but which, because it is an agricultural residue. Its use is solely reduced to minimum building of one or two heights houses in rural areas.

The purpose of this work is, from a contemporary view of the material, to explore new trends in the construction with straw bales. To investigate the reliability of new construction systems that extend their applicability to larger buildings, including the prefabrication of modular systems that has allowed countries, such as France or Germany, to carry out public projects on a larger scale. And finally, test the degree of adaptability of such systems in Spain.

Key words:

Bio-construction, Sustainability, Prefabrication, Ecological, Straw

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi tutora Yolanda por su ayuda y dedicación mostrada durante el desarrollo del trabajo, a Alejandro López, de la cooperativa Okambuva, por la información proporcionada, a Neu Forteza por abrirme las puertas de su casa, y a mi familia, por su apoyo incondicional.

INTRODUCCIÓN	13	Objetivos
	15	Metodología
ANTECEDENTES	17	Historia de la construcción con balas de paja
	20	La paja como material de construcción. Propiedades
	22	Sistemas constructivos con balas de paja
	26	Normativa reguladora nacional e internacional
PANELES PREFABRICADOS DE PAJA	29	Descripción
	30	Proceso de producción. Tecnología
	32	Proceso de construcción de muros
	37	Ventajas e inconvenientes del sistema prefabricado frente a otros sistemas de construcción con balas de paja.
	40	Estudio de mercado. Tipología de paneles
CONSTRUCCIÓN CON PANELES PREFABRICADOS DE PAJA. IDENTIFICACIÓN Y ANALISIS DE CASOS		Francia
	46	Cité scolaire de Saint-Cirgues-en-montagne
	48	Eco-Ecole maternelle Les Boutours
	50	Groupe scolaire Louise Michel
	52	Pole scolaire et medical à Salies-de-Béarn
	54	Salle Polyvalente de Mazan
	56	Siège d'Ecocert
	58	Residence Jules-Ferry
		España
	60	Larixhaus
	62	Casa en Chiva
CONCLUSIÓN	67	
BIBLIOGRAFÍA	71	
CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS	77	
ANEXO	80	



INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo fin de grado es valorar uno de los sistemas de construcción con balas de paja más contemporáneos, el sistema de paneles prefabricados como sistema constructivo de muros frente a los sistemas convencionales de construcción con balas de paja.

Para alcanzar el objetivo principal, se plantean varios objetivos específicos:

En primer lugar se pretende reconocer el uso histórico de la paja como material de construcción e identificar sus características pertinentes al ámbito de la edificación. En segundo lugar, identificar los sistemas de construcción con bala de paja que actualmente se pueden encontrar y cómo se recoge su utilización dentro del marco normativo nacional e internacional. Por último, someter a examen un nuevo método constructivo con balas de paja, el sistema prefabricado, y valorar su versatilidad y ventajas en relación a su adecuación a todo tipo de proyectos, desde viviendas pequeñas y rehabilitaciones, hasta edificios públicos de gran tamaño. Para ello, se analiza y constata el uso de este sistema en Europa a través del análisis de casos de edificios de carácter público y se determina su situación en España.

El interés por la bioconstrucción surge tras mi estancia en América del Sur, donde pude comprobar la necesidad que tiene la gente sin recursos de construir con los materiales que tenían a su alcance. Tras investigar sobre el tema de la autoconstrucción, encontré mucha información acerca de las viviendas con balas de paja, lo que me motivó a centrar mi estudio en este material en concreto.

De vuelta en España, conocí de primera mano a la asociación Okambuva, una cooperativa pionera en nuestro país en la construcción con balas de paja mediante el sistema modular, la cual me informó de este nuevo método. De esta manera se fue modelando poco a poco la idea para realizar este trabajo. Tras estas dos experiencias y viviendo un momento donde el medio ambiente es un valor clave en nuestra profesión y por extensión en nuestra forma de vida, parecía claro que mi trabajo final de grado debía versar sobre este nuevo método de construcción que tantas ventajas aporta.

Para la elaboración de todo el trabajo, se ha llevado a cabo un rastreo entre diferentes fuentes de referencia especializadas en arquitectura y construcción con balas de paja. Libros sobre el nacimiento de esta técnica y varios trabajos de investigación de los últimos años que ahondan sobre este sistema y sus aplicaciones más recientes.

Para completar esta información, se ha recurrido a diferentes páginas webs especializadas en la construcción con paja y sitios web donde se mostraban proyectos realizados con distintas técnicas basadas en las balas de paja. La búsqueda ha sido exhaustiva y variada, intentando escoger información relevante para la elaboración del trabajo.

Por último, se ha visitado una vivienda ubicada en Chiva realizada mediante el sistema modular de balas de paja y así observar de primera mano este tipo de construcción para luego trasladar dichas impresiones al propio trabajo.

En las conclusiones se ha intentado sintetizar todo lo que ha aportado la realización de este trabajo y lo que espera aportar para la difusión de este sistema de construcción, explicándolo desde una perspectiva más personal y subjetiva que en el resto de capítulos abordados.



ANTECEDENTES

HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN CON BALAS DE PAJA



Fig. 1 Barraca Valenciana. Ejemplo de cubrición de cubiertas con paja.

A lo largo de la historia, la construcción con paja siempre ha estado presente en las edificaciones humanas. Al ser un material residual de la agricultura, el ser humano lo ha reutilizado para otros usos. Las primeras viviendas tenían como objetivo protegerse del medio exterior y utilizaban aquellos materiales que tenían a disposición a su alrededor; la paja era uno de ellos. La creación de aldeas trajo consigo la necesidad de usar materiales de construcción fácilmente disponibles, baratos, y duraderos.¹ Podía utilizarse en cubriciones, un uso muy extendido en todo el planeta y que aún hoy en día se conservan ejemplos de viviendas rurales con cubiertas de paja, así como en la incorporación de mezcla en argamasas de adobe para conferir características de resistencia junto con el barro, ejemplo de las viviendas en el Antiguo Egipto.²

Sin embargo, durante la Edad Media y hasta llegar a la Revolución Industrial, el uso de la paja quedó relegado a edificaciones de menor importancia, priorizándose en Europa el uso de la fábrica de ladrillo, la madera y la piedra sobre este material. No es hasta 1850 cuando en Estados Unidos se inventa la embaladora y cambia por completo el uso de la paja en la construcción. Ya no se habla de construcción con paja, si no de construcción con fardos o balas de paja. La embaladora es una máquina que transformaba el trigo de los campos en bloques de paja rectangulares relativamente compactos. Es en Nebraska, por la falta de otro tipo de material, donde se empiezan a construir viviendas amontonando balas de paja y creando estructuras solidas donde la propia paja resiste las cargas de la construcción. En un principio son edificaciones de uso provisional a la espera de materiales “más nobles”, no obstante, al percatarse de las ventajas que tenía el uso de las balas de paja como material constructivo, se continúan alzando edificios

¹ Admin (2016) Techos de paja y junco. Breve historia en *ARQUITECTURA de CASAS*, 19 de mayo. <http://www.arquitecturadecasas.info/techos-de-paja-y-junco-breve-historia/> [Consulta: 6 de octubre de 2017]

² SIMANCAS YOVANE, K (2003) *Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo*. Tesis. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

siguiendo este sistema que recibirá el nombre de Sistema Nebraska.³ En 1886 se construyó la primera escuela con fardos de paja en las cercanías de Bayard en Nebraska. Estos primeros edificios se levantaban sin estructuras de madera portante y la cubierta descansaba directamente en el muro de balas de paja.⁴ Las ventajas que constituía este tipo de edificación frente a las “tradicionales” eran amplias: sus muros de paja de gran espesor aislaban el interior de los espacios proporcionando una temperatura agradable que con muy poco se calentaba. En los sucesivos años se dieron cuenta de sus capacidades sismorresistentes, del control de la humedad del ambiente interior de las casas debido a su transpirabilidad, además de sus cualidades térmicas.⁵ En la actualidad aún se encuentran viviendas en pie construidas con el Sistema Nebraska que datan de 1900 y 1914.⁶



Fig. 2 Casa de paja de la familia Simonton, Purdum, Nebraska (1908).

En Europa este tipo de construcción llegó a principios del siglo XX desde Canadá a Reino Unido. Sin embargo, la edificación más antigua que se conoce y la primera construida en dos niveles es “La Maison Feuillète” situada en Francia en 1921, cuyo arquitecto, al cual hace referencia su nombre, vio en este material la respuesta a todos los problemas que había dejado la Primera Guerra Mundial. Estas respuestas eran levantar viviendas que satisficieran las necesidades de las familias, que fueran de bajo coste y que se levantaran de una manera rápida y eficiente. En Holanda, la vivienda más antigua que se encuentra data de 1944 y se sitúa en Heeze. La “Burrit Mansion”, de 1938, ubicada en Huntsville, Alabama, fue una de las primeras viviendas en utilizar la madera conjuntamente con la paja, partiendo de la estructura de madera y rellenándola con las balas. Para su completa construcción, fueron empleados unos 2200 fardos de paja.



Fig.3 Fachada principal de la “Burrit Mansion”.

Tras la Segunda Guerra Mundial, el hormigón y el acero cobró gran importancia en el uso de la construcción y la paja quedó en desuso. No fue hasta los años 70 en Estados Unidos donde se empezaron a editar una serie de publicaciones sobre el uso de las balas de paja como muros portantes y de rellenos de bastidores de madera. Desde entonces la construcción con fardos de pajas ha sido más habitual que cuando se descubrió esta técnica en el siglo XIX. Al principio, en los años 70 y 80 en Estados Unidos las edificaciones se basaban en autoconstrucciones particulares, pero poco a poco se ha ido introduciendo en las instituciones públicas creando distintas normativas para regular su uso. Mientras que en Europa su uso también se fue extendiendo, es en Francia y en Alemania donde mayor desarrollo se ha registrado de este tipo de construcción, llegando a levantarse edificios de gran altura y de carácter público.⁷



Fig. 4 Maison Feuillète. Comparación entre una imagen de 1920 y otra de 2011.

³ MINKE, GERNOT; MAHLKE, FRIEDEMANN. 2005. Manual de construcción con fardos de paja, ed. Fin de siglo.

⁴ Ibídem

⁵ ROMANS TORRES, I (2014) *Estudio y análisis de la construcción con balas de paja. Comparación del sistema estructural CUT con la construcción convencional de H.A.* Trabajo Final de Grado. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

⁶ op. cit. nota 3

⁷ op. cit. nota 5

LA PAJA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. PROPIEDADES

La paja, conocida por ser el tallo seco de un cereal al que se le han quitado las espigas⁸, no solo es un desecho agrícola, si no que goza de numerosas características que hacen de él un excelente material de construcción, ecológico y saludable. Además, haciendo referencia a la definición LEED (Leadership in Energy & Environmental Design), se determina que la paja es un material rápidamente renovable, ya que su período de cosecha es de máximo 10 años, por lo que requiere de menor tiempo de producción y mantenimiento.⁹ Sin embargo, uno de los problemas que genera este material es que debido a su exceso, muchos agricultores se ven obligados a quemarlo, produciendo altos valores de contaminación ambiental.

Como alternativa, construir con fardos de paja sirve para controlar el calentamiento del globo y deterioro atmosférico. Con la reducción de la quema de paja, se disminuye notablemente la producción de monóxido de carbono y óxido nitroso. Además, construir con balas de paja consume 50 veces menos energía que una construcción de hormigón. Las construcciones convencionales, tanto en la obtención de las materias primas, en los procesos de construcción así como en el propio uso del edificio conllevan un enorme impacto ambiental el cual provoca el 40% de las emisiones de CO₂.¹⁰

Por consiguiente, la paja puede definirse como un material biodegradable, durable y saludable, cuyo balance de emisiones de CO₂ es negativo ya que no consume energía y además ha absorbido CO₂ durante su ciclo como vegetal. Asimismo, es un material versátil con una excepcional capacidad de aislamiento térmico y acústico y resistente a sismos.

VERSÁTIL
RESISTENTE A SISMOS
EXCEPCIONAL AISLANTE TÉRMICO
AISLANTE ACÚSTICO
DURABLE
BIODEGRADABLE
SALUDABLE
BALANCE NEGATIVO DE EMISIONES CO2
ABUNDANTE
MINIMA ELABORACIÓN Y GASTO DE ENERGÍA



Fig. 5 Bala de paja estándar.

Las principales características de las balas de paja que se deben considerar en la construcción son la densidad, humedad y la orientación de las fibras. Por otro lado, para saber si presenta síntomas de descomposición, se ha de asegurar que no contenga grandes manchas oscuras, filamentos blancos o un fuerte olor de pudrición.

Desde que se producen hasta su entrega, las balas de paja deben cumplir ciertos requisitos mínimos. La humedad del fardo no puede ser mayor al 20% y su densidad mínima ha de ser 80 kg/m³.

En cuanto a tamaños y dimensiones de la bala de paja, existen diversas variedades. Una dimensión aproximada es de 100x45x36 cm, largo x ancho x alto, respectivamente. Sin embargo, el largo puede ser variable dependiendo del lugar del que proceda la paja, pero oscila entre 80 y 120 cm. En cuanto al peso y conductividad térmica, el valor estándar aproximado es de 25 kg y 0,04 w/m²k.¹¹

Contenido de agua en el peso en seco de la paja (%)	Empacado	Puesta en obra	Aplicación
< 20	si	si	si
De 20 a 30	si	Desaconsejable (1)	no
> 30	no	no	no

(1) Las balas de paja se dejan en el campo hasta que la humedad disminuya lo suficiente.

Tipo de control	Material utilizado para el control	Valores a respetar
Humedad	Calibrador de humedad para paja	< 20 %
Densidad	Balanza	80 a 120 kg/m ³ (1)

(1) En base seca

⁸ AAVV. 2012. Reglas profesionales de construcción con paja, ed. Icaria.

⁹ CERTIFICADOS ENERGÉTICOS. <http://www.certificadosenergeticos.com> [Consulta: 20 de octubre de 2017]

¹⁰ CASA ECOLÓGICA. <http://casaeco.blogspot.com.es/> [Consulta: 20 de octubre de 2017]

¹¹ op. cit. nota 5

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON BALAS DE PAJA

La construcción con balas de paja es un sistema de construcción contemporáneo que se lleva a cabo de forma continua desde hace aproximadamente 30 años. Existen numerosas referencias históricas sobre su uso pero se trata de un fenómeno nuevo. Para intentar catalogar este nuevo tipo de construcción, diversos autores han intentado clasificar el sistema en varios tipos. Por ejemplo, Gernot Minke diferencia en su libro tan sólo dos clases distintas, portantes y no portantes.¹²

Sin embargo, dentro de este campo se pueden encontrar gran variedad de metodologías constructivas, las cuales van evolucionando diariamente en base a su investigación y mejora, lo que lleva a este tipo de construcción sostenible a una situación actual de gran desarrollo.

SISTEMA NEBRASKA

Este sistema es el pionero en las construcciones con balas de paja ya que fue la primera vez en la historia que se utilizaron los fardos de paja como elemento constructivo en las llanuras de Nebraska, aproximadamente en 1850, de ahí que este sistema se denomine con el nombre de la región donde surgió. Su principal característica es emplear este material como elemento portante. Las balas de paja, distribuidas en hiladas a modo de bloque, son las encargadas de soportar el forjado o cubierta sin ayuda de ningún otro marco estructural. Estas hiladas se fijan mediante estacas de madera y previamente a la colocación de las cargas superiores se comprimen las balas evitando posibles asentamientos que dificulten la construcción.



Fig. 6 Casa autoportante en Dorbirn, Austria, 2014.



Fig. 7 Vivienda unifamiliar con estructura de postes en Buenos Aires, 2015.

Uno de los valores positivos de esta tipología es su rápida y fácil ejecución, por lo que es una solución muy empleada en autoconstrucciones de viviendas unifamiliares. Además, al no precisar madera para la realización de la estructura, el coste total disminuye y aumenta la posibilidad formal, permitiendo un diseño mucho más libre, incluyendo curvas y formas más orgánicas.

No obstante, existen inconvenientes que la limitan. Entre ellos, la dificultad de superar los dos niveles de altura; la incertidumbre, ya que el estado de la paja es crucial y resulta complicado prever la altura final de la construcción. También se han de tener en cuenta las aperturas que se quieran realizar, ya que no deben superar el 50% de su superficie.¹³

SISTEMA DE POSTES Y VIGAS

Se trata de un sistema donde la paja actúa únicamente como cerramiento, exenta de cargas de forjado o cubierta. En este caso, como su nombre indica, la estructura se determina con un sistema de postes y vigas, que pueden ser de cualquier material, sin embargo, por su similitud, es preferible la elección de la madera ya que es un material orgánico, transpirable e higroscópico.

Las ventajas que ofrece esta técnica es la previa realización de la estructura, la cual puede realizarse en taller y posteriormente montarse en obra, permitiendo una protección frente a lluvia de las balas de paja, manteniéndola en perfectas condiciones. Además, se establece una mayor libertad en cuanto a apertura de huecos y dimensiones. También se reduce el espacio necesario de almacenaje de las balas de paja en la obra y demás materiales, que requieren de un gran espacio que en zonas urbanas puede ser difícil encontrar.¹⁴

SISTEMA GREB

Como en el caso anterior, en esta tipología constructiva, la paja carece de propiedades estructurales. Esta técnica se desarrolla a partir de una estructura de listones de madera de 100 x 40mm, combinada con un entramado de mortero GREB, que colabora estructuralmente, relegando la paja al relleno de muros.

Al combinar la madera con el mortero, se reducen los costes y la paja queda más protegida gracias al recubrimiento de 4 a 6cm. Este sistema emplea un solo módulo de madera a utilizar y un único tipo de tornillo para su fijación, por lo que se simplifica su montaje. El secreto del Greb radica en que la paja se adhiere al mortero, el mortero agarra en los clavos de los postes y los postes están unidos frente a frente en cada hilera de paja. El resultado es una fusión total y una fuerte estabilidad de todos los materiales.¹⁵

El inconveniente de esta tipología de construcción es la utilización de cemento en el amasado del mortero, pues afecta, ligeramente, a la idea de transpirabilidad y materiales naturales como disminución de coste energético.

SISTEMA CUT (CELLS UNDER TENSION)

El sistema de Células bajo tensión es un tipo de sistema de construcción intermedio entre el sistema “Nebraska” y un sistema con estructura adicional. Se trata de un sistema de montantes y tabloneros horizontales, arriostrados por medio de las balas de paja, que van conformando celdas donde se insertan los fardos. Una vez colocadas, se les cortan unas cuerdas que las comprimen para que se expandan, presionando los marcos de madera que las rodean y pasando a formar parte de la estructura.



Fig. 8 Casa de paja con técnica Greb, Corbera de Llobregat, 2011-2013.



Fig.9 Proceso de construcción con sistema CUT, Vilanova del Vallés, 2016.



Fig. 10 Hotel situado en Haps, Países Bajos mediante el sistema CUT.

Es muy importante, en esta técnica, que las balas de paja se coloquen sobre su lado más estrecho.

Los montantes verticales de madera no pueden deformarse al recibir la tensión de las balas de paja por ambas caras. Esta presión produce un efecto de refuerzo sobre ellos, lo que permite reducir el espesor de los mismos para soportar la carga de la cubierta. Así pues, la bala de paja es utilizada como elemento de cerramiento, aislamiento térmico, elemento portante y además como elemento estructural de arriostramiento.¹⁶ De esta manera, se reduce la sección, aprovechando las cualidades de la paja adaptándolas cada vez más al Código Técnico.¹⁷

SISTEMA “WRAPPING”

La técnica Wrapping, que traducido al español significa “envase”, no trata de un sistema constructivo como tal sino que consiste en envolver con fardos de paja, a modo de rehabilitación, muros ya existentes para mejorar su eficiencia energética. En definitiva, envolventes de paja en construcciones tradicionales. A pesar de aumentar notablemente el grosor de los muros, resulta un método sumamente económico para la rehabilitación de edificios antiguos que requieren una adaptación a las nuevas normativas. Su construcción, puede llevarse a cabo a partir de cualquier sistema estructural, siempre y cuando las balas de paja queden sujetas junto al muro.

Finalmente, y de semejante manera al resto de sistemas y técnicas constructivas, se protegen las balas de paja con un revoco, dotándola de capacidades térmicas y acústicas.¹⁸



Fig.11 Vivienda unifamiliar tratada con el sistema wrapping. Inglaterra.

¹⁶ op. cit. nota 5

¹⁷ op. cit. nota 5

¹⁸ op. cit. nota 5

¹⁵ META2020. *Construcción con paja* <http://www.meta2020arquitectos.com/construccion-con-paja/> [Consulta: 14 de octubre de 2017]

NORMATIVA REGULADORA NACIONAL E INTERNACIONAL

Las primeras normas se establecieron en 1991, en Nuevo México (Estados Unidos). Se dieron los primeros permisos oficiales y además, se desarrollaron construcciones con financiación bancaria.¹⁹

Sin embargo, la evolución y desarrollo de los sistemas constructivos con fardos de paja ha ido en aumento y las distintas normas, en cierto modo, no han seguido el ritmo.

Dentro del panorama internacional, la construcción con balas de paja sólo tiene un marco normativo en los Estados Unidos, Canadá, Bielorrusia, Alemania y Austria.²⁰ A pesar de ello, gran cantidad de viviendas han sido realizadas dentro de la legalidad en numerosos países. La mayoría de ellas son viviendas de autoconstrucción, pero como veremos con posterioridad, ya existen edificios públicos en diversos puntos del mundo.

En el caso de Alemania, la normativa existente, aprobada en febrero del 2006, autoriza el uso de la paja simplemente como material de cerramiento, siempre que sea exento de cualquier función estructural.

En cambio, en lugares donde aun no existe normativa vigente, como es el caso de Irlanda, no se encuentran con demasiados impedimentos para poder adquirir una autorización para construir, ya sea el material empleado como cerramiento o con función estructural. Aun así, el proyectista debe demostrar el cumplimiento de los reglamentos. Así como, en Francia, se permite el uso de la paja como material de construcción, pues para la legislación francesa es ilegal denegar un permiso de construcción basándose en el material elegido.²¹

Dentro del marco nacional, el Código Técnico de la Edificación (CTE), no contempla la paja embalada como material de construcción. Sin embargo, esta normativa no impide la utilización de materiales y sistemas constructivos novedosos, siempre que estén bajo la responsabilidad del proyectista y se demuestre el cumplimiento de las exigencias básicas de dicha normativa, todo ello certificado mediante evaluación técnica a través de ensayos y pruebas.²²

Una de las preocupaciones con más peso que puede tener la construcción con balas de paja es su resistencia al fuego. Sin embargo, la bala de paja ya ha sido sometida a ensayo en numerosos países. En el caso de nuestro país, podemos encontrar un ensayo llevado a cabo en Zaragoza en el año 2008 (véase Anexo). De este modo, se puede demostrar la alta resistencia que la paja presenta frente al fuego, catalogándose como E90.

¹⁹ op. cit. nota 12

²⁰ op. cit. nota 8

²¹ CARRO CASTRO, F J (2007) *Construcción con balas de paja. Estudio de las propiedades de la paja embalada y su utilización como material de construcción*. Proyecto fin de Carrera. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de A. Coruña.

²² op. cit. nota 21



Fig. 12 Tipi



Fig. 13 Yurta

Partiendo de la consideración de que la prefabricación aplicada a la construcción es un método por el que la totalidad o partes de la construcción son fabricados en otro lugar para luego en el emplazamiento de la obra, únicamente realizar operaciones de colocación o acople, se puede afirmar que en la arquitectura vernácula, la prefabricación ya era una respuesta de diseño inteligente a los límites causados por la posición y el clima.²³ Ejemplos como las yurtas o los tipi²⁴, precursores en el pasado, demuestran que esta técnica se ha utilizado desde siempre como alternativa a numerosos problemas. En la actualidad, el término prefabricación parece tener una connotación despectiva ya que se asocia con elementos provisionales y poco duraderos. No obstante, en la mayoría de los casos, la prefabricación conlleva un aumento de calidad. No solo se reducen los desechos sino que además se incrementa la seguridad y el perfeccionamiento gracias a su previa ejecución en taller y consecuente estudio. De este modo, una de las formas para conocer el grado de prefabricación que presenta un inmueble es valorar la cantidad de residuos que se han producido en obra; cuanta mayor cantidad de suciedad y escombros exista, menor será el índice de prefabricación que presenta la edificación.

En particular, la prefabricación con balas de paja, permite llevar este material a un nivel superior respecto a otros sistemas constructivos. Gracias a ello, este material se introduce cada vez más en la industria de la construcción permitiendo su desarrollo y demostrando las enormes posibilidades que la paja ofrece como material de construcción.

PANELES PREFABRICADOS DE PAJA

²³ PFENNIGER, F (2013) Prefabricación modular y sustentabilidad en *arquitectura+acero*. <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/prefabricacion-modular-y-sustentabilidad> [Consulta 19 de octubre de 2017]

²⁴ Yurta: es una vivienda utilizada por los nómadas en las estepas de Asia Central. Se ha usado por distintos pueblos desde la Edad Media. Tipi: es una tienda cónica, originalmente hecha de pieles de animales como el bisonte, y palos de madera. Era utilizado los pueblos indígenas nómadas de Estados Unidos.

PROCESO DE PRODUCCIÓN. TECNOLOGÍA

Dentro del proceso de producción de los prefabricados de paja, existen diversas maneras y medios para su ejecución. Pero en cualquier caso, las acciones que se realizan son las siguientes:

1º Adquisición de fardos de paja, previamente a la fabricación, preferiblemente de una zona próxima al levantamiento de la obra.

2º Elaboración de los fardos ayudándose de diversos equipos como enfardadoras de fardos redondos, emparvadoras, granuladoras y molinos de pellets.²⁵ En concreto, en la realización de fardos de paja para la construcción, la maquinaria empleada se compone de empacadoras de fardos cuadrados, que permiten confeccionar paquetes de dimensiones adecuadas, permitiendo una fácil manipulación y transporte. Para dar forma a las balas de paja, la empacadora comprime los tallos de paja en capas de 10 cm de espesor aproximadamente a las cuales se les conoce como libritos. Varios de estos libritos se empujan unos contra otros hasta que se obtiene la longitud deseada. A continuación, la máquina une dos o tres cuerdas entre sí para formar un haz. La presión con la que la máquina comprime la paja es ajustable.^{26 27}

3º Confección de una estructura auxiliar de madera según dimensiones y características previstas en el diseño del proyecto. Muchas empresas ya presentan dimensiones preestablecidas. La elección de la madera es fundamental ya que los módulos tienen función estructural. La más común es la madera C24, estando cepillada en todas sus caras para permitir un ensamblaje apropiado de sus piezas: travesaños, diagonales, montantes, listones, etc.²⁸ Esto se realiza a través de maquinaria convencional de carpintería, como taladros, sierras de corte, tornillos estructurales, etc.²⁹



Fig. 14 Embaladora de fardos cuadrados

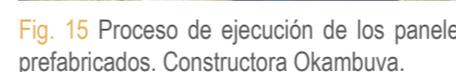


Fig. 15 Proceso de ejecución de los paneles prefabricados. Constructora Okambuva.

4º Montaje del panel prefabricado. Esta acción puede realizarse “in situ” o en taller, aunque por lo general, suelen desarrollarse en taller para reducir tiempos en obra y porque resulta más cómodo poder determinar las características técnicas exigidas.

Una vez establecido el módulo, se introduce la paja en la jaula previamente confeccionada. Lo conveniente es colocar la bala directamente, aprovechando que cuenta con la compactación y densidad adecuadas. Sin embargo, otra forma es introducir la paja suelta e ir compactándola por medio de maquinaria auxiliar (matrices) consiguiendo módulos continuos que facilitan la producción de elementos de cualquier altura.³⁰

5º Afeitado de las caras mediante sierras e instrumentaría especializada. Se dejan los paneles listos para su transporte a la obra, donde se realizarán las operaciones finales de revoco.³¹ En algunos casos, suele colocarse una malla en los laterales del módulo para sellar la base del cerramiento. Además, existe la opción de no solamente tener los módulos prefabricados en el taller sino también prerevocados. A pesar de que es mucho más cómodo revocar grandes módulos colocados en el suelo de manera horizontal, esta opción puede no resultar del todo adecuada ya que el tiempo que se ahorre al revocar en obra, tenga que invertirse después en la reparación de grietas y desperfectos que se hayan provocado durante el transporte de los módulos.



Fig. 16 Taller de prefabricación de paneles. Constructora Okambuva.

²⁵ ARANEDA, L y MUÑOZ, A (2010) *Análisis del comportamiento térmico del sistema constructivo de fardos de paja*. Trabajo final de Carrera. Valdivia: Universidad Austral de Chile

²⁶ RED DE CONSTRUCCIÓN CON PAJA (2012) *Reglas profesionales de construcción con paja*. Barcelona: Icaria

²⁷ En España, las embaladoras son capaces de comprimir la paja a una densidad mayor de 120 kg/m³, sin afectar precio o logística.

²⁸ op. cit. nota 8

²⁹ YOUTUBE, Производство соломенных панелей в Одессе en *YouTube* <https://www.youtube.com/watch?v=GSsu0JTpK10>

³⁰ YOUTUBE, Ecoseno.ru - соломенные стеновые панели и их производство en *YouTube* <https://www.youtube.com/watch?v=cgXcQ-Q7aiuw>

³¹ YOUTUBE, Crowdfunding project: straw panel production en *YouTube* <https://www.youtube.com/watch?v=Rn2-MLtHP-w&list=PLI2vP-gbmYlqdSCJvI2-LZUqunfv85ZeGR>

PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS

El proceso constructivo del sistema modular con balas de paja no difiere mucho respecto a otros sistemas de prefabricación.

En primer lugar, como en cualquier construcción habitual, ha de prepararse el solar dónde se ubicará la edificación. Se realizan todos los movimientos de tierra necesarios, replanteo, desbroce y extendido de gravas antes de ejecutar los cimientos donde posteriormente apoyarán los paneles. Generalmente, se ejecutan losas de hormigón armado como cimentación que incluyen las instalaciones. En muchas ocasiones se construye un sobrecimiento que puede ser de otro material, como la termoarcilla, para proteger los módulos de humedades por salpicaduras o por capilaridad. A continuación, se coloca una barrera de vapor o capa impermeable y sobre ésta, se ancla el zuncho perimetral de hormigón armado donde se atornillarán los paneles. Se debe asegurar que la capa estanca quede bien montada durante el proceso constructivo y que la base para los módulos esté bien nivelada; la diferencia, no puede ser mayor a 1 mm por cada metro de longitud.³²

En segundo lugar, Una vez realizada la base, los paneles llegan directamente del taller en un camión, donde los trabajadores los descargan por el lateral. Dependiendo del peso, la descarga puede hacerse manualmente o mediante una carretilla elevadora. Cada panel se marca con número o color distintos para facilitar el proceso de montaje. Una vez dentro del ámbito de la obra, los paneles se deben colocar siempre en vertical como protección para una posible lluvia, además de verificarse que no exista posibilidad de vuelco. En edificios de gran envergadura y varias alturas, los paneles prefabricados se colocan mediante una grúa directamente desde el camión. En muchas ocasiones, para este tipo de edificaciones, los paneles vienen con los huecos preestablecidos, lo que facilita su montaje, y se van ensamblado hasta conformar el conjunto.³³

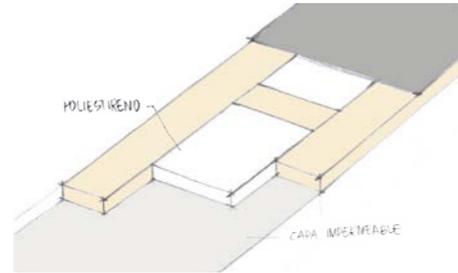


Fig. 17 Detalle zuncho perimetral de cimentación previo a la colocación de los paneles.

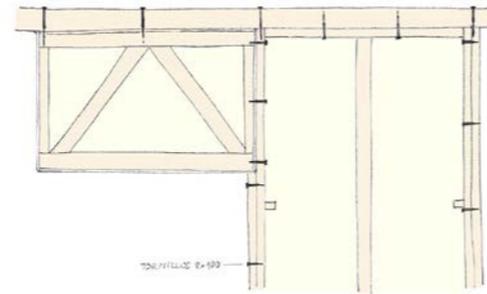


Fig. 18 Detalle del encuentro entre la pieza dintel con el panel estándar.

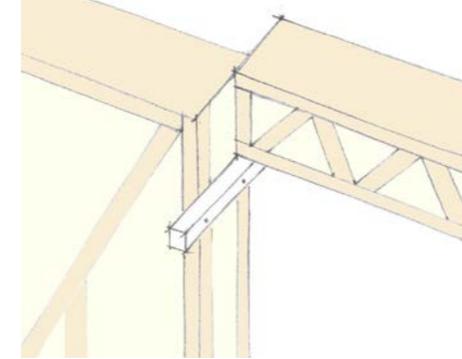


Fig. 19 Detalle del travesaño provisional para la colocación del dintel.

En tercer lugar, durante la realización del muro, se debe garantizar que entre paneles no exista espacio alguno. Por ello, se recomienda, antes de atornillar, unir provisionalmente los módulos con sargento de carpintero. En este punto se atornillan los paneles siempre desde la parte inferior hacia arriba, hasta llegar a la parte de atado superior. En casos donde la pieza dintel va separada, se coloca previamente un travesaño provisional donde poder deslizar la pieza y apoyarse para su posterior anclaje a los paneles laterales.

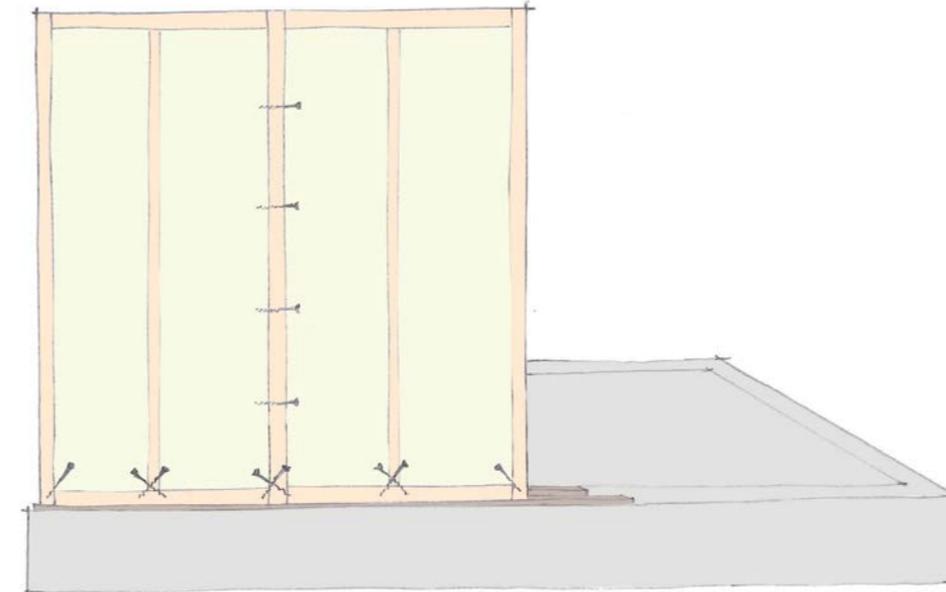


Fig. 20 Colocación de paneles sobre el zuncho de cimentación.

³² YOUTUBE, Ecocon assembly. Foundation en *You Tube* <https://www.youtube.com/watch?v=agN7rXHFkT4>

³³ YOUTUBE Ecocon assembly. Walls en *You Tube* <https://www.youtube.com/watch?v=C4iE-rtZxRw>

En cuarto lugar, una vez colocados los módulos, se envuelve la pared con una lámina estanca al aire exteriormente. A continuación, es importante cubrir la parte superior de los paneles de una sola vez y sin juntas. Para terminar, se adhiere una lámina de coronación por encima. Se ha de garantizar la estanqueidad de estas láminas, así como su conexión estanca con la cimentación. Por ello, se tiene que tapar cualquier posible orificio que exista tras la retirada de algún tornillo o grapa.³⁴

En quinto lugar, para la colocación de las ventanas y cerramientos, es fundamental que exista una buena estanqueidad. Para garantizarlo, previamente se debe cortar la lámina en diagonal desde una esquina a la contraria en la zona del hueco y plegarla hacia el interior del mismo. Las esquinas pueden pegarse con una cinta adhesiva especial. La membrana debe cubrir una superficie de 5 cm en el interior de la jamba desde el ancho de la ventana.³⁵ Esta parte del proceso es fundamental, por lo que todos los huecos deben sellarse con cinta de difusión abierta para asegurar la estanqueidad entre el marco y la ventana. Además, se recomienda cubrir los marcos con tableros de fibra de madera para mejorar los encuentros. En caso de alguna fuga, se podrían producir daños por humedad con el paso del tiempo.

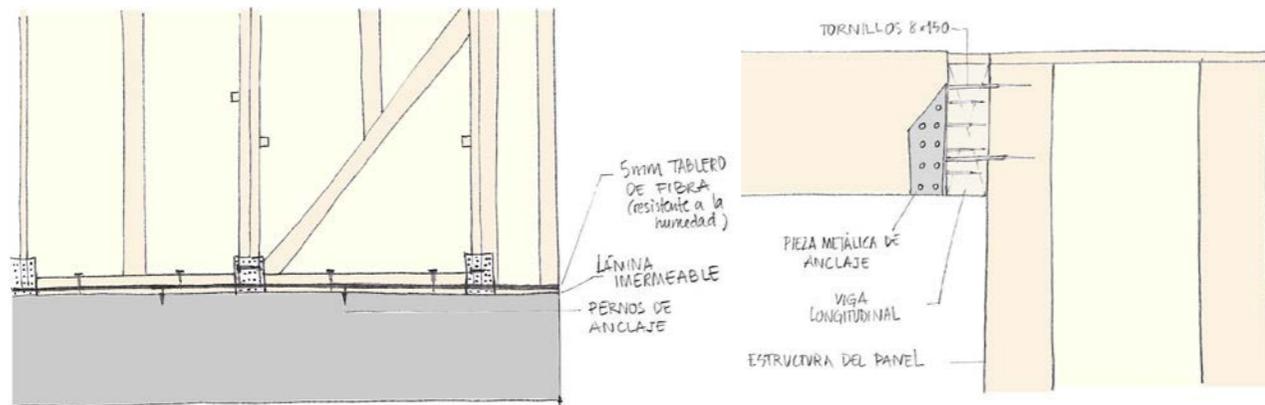


Fig. 21 Detalle del anclaje de los paneles a la losa.

Fig. 22 Detalle del anclaje de la viga al panel.

En sexto lugar, durante la ejecución de los encuentros del cerramiento con forjados y cubiertas, la viga del anillo superior debe fijarse a los paneles. Aquí debe tenerse muy en cuenta la lámina estanca. En el caso de la colocación de la cubierta, la lámina deberá quedar por debajo de la viga. Sin embargo, si se trata de un encuentro con forjado, se debe descubrir la parte superior y dejar que la membrana continúe hacia el cerramiento de la siguiente planta.

En séptimo lugar, la colocación de las instalaciones eléctricas, puede ir directamente sobre la paja. Los tubos pueden fijarse con piezas cortas de alambre y la caja eléctrica puede ir directamente con un taco de madera. Si por algún caso se precisa de refuerzo, siempre se puede colocar una pieza de madera entre los montantes del panel.

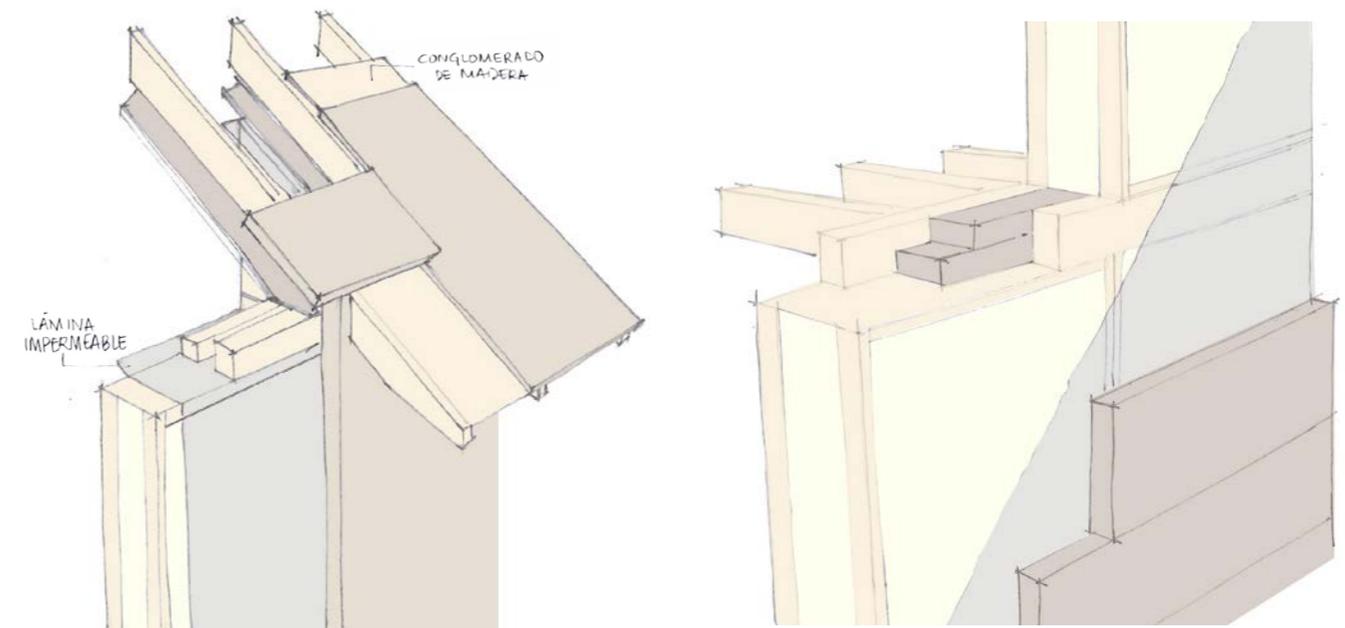


Fig. 23 Detalle encuentro con alero

Fig. 24 Encuentro forjado con cerramiento exterior

³⁴ YOUTUBE Ecococon assembly. Roof en YouTube <https://www.youtube.com/watch?v=VJw4Rjjicrs>

³⁵ ECOCON Tecnología de montaje <http://www.ecococon.it/spanish/paneles-de-paja/tecnologia-de-montaje/> [Consulta: 23 de octubre de 2017]

Finalmente, se realiza el acabado. En este tipo de construcciones, por su respuesta junto a la paja, suelen emplearse materiales naturales para el revoco, como la arcilla, la cal u otros morteros, aunque también puede anclarse, gracias a los marcos del módulo, cualquier material prefabricado. Como en cualquier otro tipo de muro, la buena colocación del acabado, irá ligada a la respuesta del muro respecto a las solicitaciones a las que se encuentre sometido. Por ello, es de suma importancia este proceso final.

Es muy recomendable, antes del revoco, fijar tableros de fibra de madera en los encuentros con elementos de madera, para asegurar que la base se adhiera mejor y no aparezcan fisuras posteriores. Si el encuentro del revoco es con una superficie de madera vista, de deben crear juntas abiertas por la misma razón, evitar posibles fisuras después del secado. Por lo general, en el interior de la edificación, suele emplearse una capa de mortero de arcilla de 2 o 3 cm de espesor. Este material aporta inercia térmica, que permite la absorción de calor para después soltarlo progresivamente. A la vez, regula la humedad, limpia el aire, neutraliza olores, es transpirable y reduce la radiación electromagnética. En el exterior, suele utilizarse una capa de 4-5 cm de espesor de cal aérea, por su resistencia a hongos y microorganismos ya que la cal es un producto fungicida y bactericida.

Estos materiales no solo son beneficiosos para la salud sino que además aportan carácter estético.³⁶

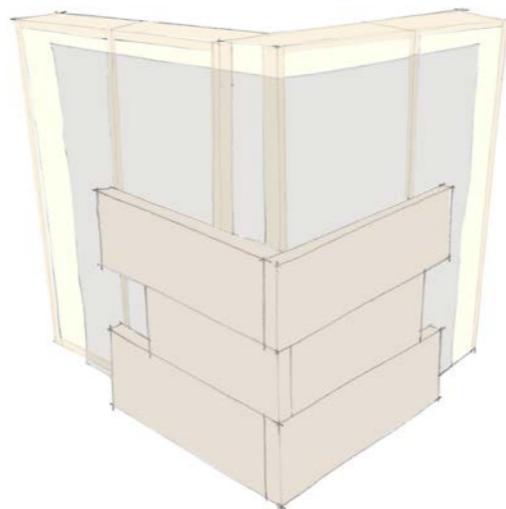


Fig. 24 Esquina de cerramiento exterior

VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL SISTEMA PREFABRICADO FRENTE A OTROS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN CON BALAS DE PAJA

El sistema prefabricado con balas de paja presenta varios aspectos positivos frente al resto de sistemas constructivos. Permite un montaje rápido y preciso en obra, ya que los módulos se montan en taller, por lo que se hace en condiciones óptimas. Además, no se expone la paja a agentes atmosféricos y como los módulos se someten a diversos ensayos y pruebas, resultan totalmente compatibles con la regularización dentro de los marcos normativos de la construcción. Una de las características del sistema prefabricado es que el diseño varía en función de la empresa constructora o del propio proyectista, creando grandes posibilidades. También hay que tener en cuenta que es un sistema adecuado para la construcción urbana, más limpio y rápido, necesitando una menor cantidad de espacio dedicado a acopios, zona de montaje y preparación.

Por otro lado, este sistema posee ciertos aspectos negativos que hay que tener en cuenta. Como en cualquier sistema modular, el diseño de la edificación vendrá condicionado por las piezas que se dispongan y el sistema que se escoja para su realización. Asimismo, la industrialización y transformación de la bala de paja para su uso en construcción incrementa notablemente el coste del material, así como el uso de la madera en comparación con otros sistemas. Tampoco hay que olvidar que al tratarse de un método constructivo en desarrollo, se necesita de una mano de obra cualificada para la correcta puesta en obra.³⁷

³⁶ YOUTUBE ECOPAJA Bioconstrucción modular estructura de madera con aislamiento de paja y acabado en barro en *YouTube* <https://www.youtube.com/watch?v=qOqfDvcE8Go>

³⁷ LOPEZ ALTUNA, A y IBORRA LUCAS, M (2015) "Paramentos y paneles modulares prefabricados con paja para la construcción de viviendas y rehabilitación energética de edificaciones" en *Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Ecoeficientes* (2015) MERCADER-MOYANO, P (coord.) Sevilla: Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. 818-842

A continuación se exponen las ventajas e inconvenientes de los sistemas prefabricados frente a otros sistemas de construcción con balas de paja.

1. Imprecisión/Precisión. En relación a la construcción con balas de paja, el principal problema que existe es que se trata de un material poco preciso, por lo que resulta difícil establecer conclusiones finales antes de su puesta en obra, etc. Por el contrario, el sistema prefabricado permite establecer las medidas precisas del proyecto en el momento que se realizan los distintos módulos en el taller.³⁸

2. Condiciones de conservación en obra. El estado de las balas es crucial, por lo que es de suma importancia su protección frente a condiciones atmosféricas proporcionando espacios para que no sufran desperfectos. En el caso de los sistemas prefabricados, la bala de paja está tratada y se conserva en buen estado en el taller de fabricación. En la obra llega para colocarse y protegerse con el acabado correspondiente.

3. Manipulación. Por otro lado, trabajar con las balas de paja sueltas puede resultar más complejo, además de generar una mayor cantidad de residuo en obra, que a pesar de ser biodegradable, es voluminoso y molesto debido al polvo y paja que se genera en el ambiente. En cambio, el sistema prefabricado aboga por un tipo de construcción mucho más limpia que se basa en la puesta en obra en seco de los módulos de balas de paja. Su fácil o difícil manipulación dependerá del tamaño de los módulos, lo que hará que en ciertas ocasiones se necesiten grúas para su colocación en la obra.³⁹

4. El tiempo de construcción. En el resto de construcciones con balas de paja, los plazos de entrega aumentan debido a que la colocación de la paja se hace manualmente, ya que el formato de la bala permite su fácil

manipulación. El sistema prefabricado hace que los plazos se acorten, siendo posible, si se tienen todos los módulos realizados previamente en el taller, que el montaje se realice en tan solo unos días, acortando considerablemente los plazos de construcción. Con un sistema de baja tecnología, se reducen los costes de producción y se simplifica y acelera, no sólo la construcción, sino también el análisis de los costes finales.

5. Construcción de obras a gran escala y en entornos de núcleos urbanos o difícil acceso. Dada la limitación que esto conlleva, ya sea por el espacio reducido en obra o por la gran cantidad de residuo que se genera, resulta casi imposible la utilización de otros sistemas constructivos con balas de paja dentro de estos núcleos. La prefabricación de paneles permite el uso e integración de este material local de una manera más actual y útil en edificaciones de mayor complejidad estructural.

6. Espacio de almacenamiento. A la hora de organizar el material en la obra, resulta mucho más cómodo trabajar directamente con los paneles prefabricados que con una gran cantidad de balas de paja. El resto de sistemas constructivos requiere de suficiente espacio y condiciones en obra para la manipulación y almacenaje, razón principal por la que se hace más difícil su utilización en centros urbanos.

7. Mayor control de calidad. La previa ejecución de los paneles, permite su estudio con antelación, garantizando determinadas características que en el resto de sistemas resulta difícil conocer. Se trata de un sistema más preciso que puede alcanzar niveles de aislamiento y hermeticidad consistentes con estándares como el de Passivhaus.⁴⁰

³⁸ ECOFAB <http://www.eco-fab.co.uk/ecofab-system.html> [Consulta: 24 de octubre de 2017]

³⁹ op. cit. nota 15

⁴⁰ op. cit. nota 5

ESTUDIO DE MERCADO. TIPOLOGÍA DE PANELES

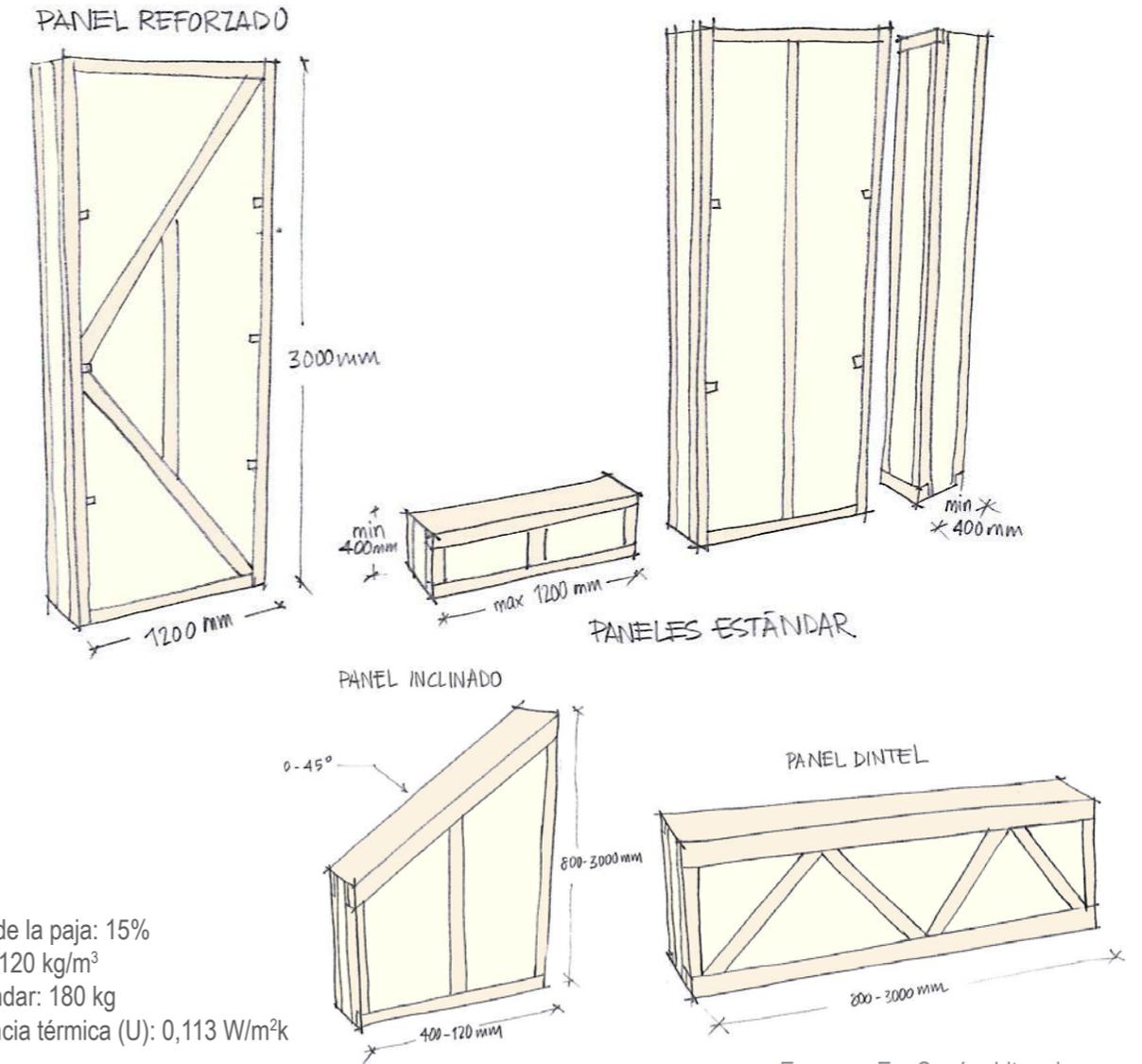
A pesar de ser un sistema novedoso dentro de la construcción con balas de paja, la industria de los paneles prefabricados cuenta con gran cantidad de empresas en incontables países. Todas ellas comparten la misma filosofía, que sus construcciones produzcan el menor impacto ambiental y sean saludables, no solo con el medio sino para las personas que las habitan.

“Para cumplir con estos requisitos, hacemos el máximo uso de los materiales naturales locales y prefabricamos nuestros elementos en el taller. Esto permite el control de calidad, la velocidad de implementación y la reducción de molestias en el sitio.

Así podemos producir edificios pasivos o de muy baja energía mediante el desarrollo de una economía circular local. Además, la elección de paja y madera permite almacenar CO2 en lugar de consumirlo. Vamos más allá del estándar pasivo y desarrollamos el futuro de hogares positivos”. (Empresa PailleTech, Bélgica)

Los productos que ofertan cada una de ellas son muy variados; existen matices que los diferencian, como bien puede ser la cantidad de materia prima, el modo de fabricación o sus características formales. Por otro lado, la diferencia más obvia que se encuentra entre las diversas alternativas de mercado, es la gran variedad que existe en cuanto a formas y dimensiones. Por un lado, existen módulos de gran tamaño que si bien permiten la ejecución de muros en menos tiempo y menor cantidad de tornillería, suponen un mayor coste debido a la maquinaria empleada para su manipulación y colocación en obra. Al contrario, los módulos pequeños son más cómodos para trabajar pero conllevan un aumento en la utilización de madera y en la cantidad de puentes térmicos además de presentar mayores dificultades estructurales.

A continuación, se muestran algunas de estas alternativas propuestas, basándose en el estudio de empresas europeas y españolas.

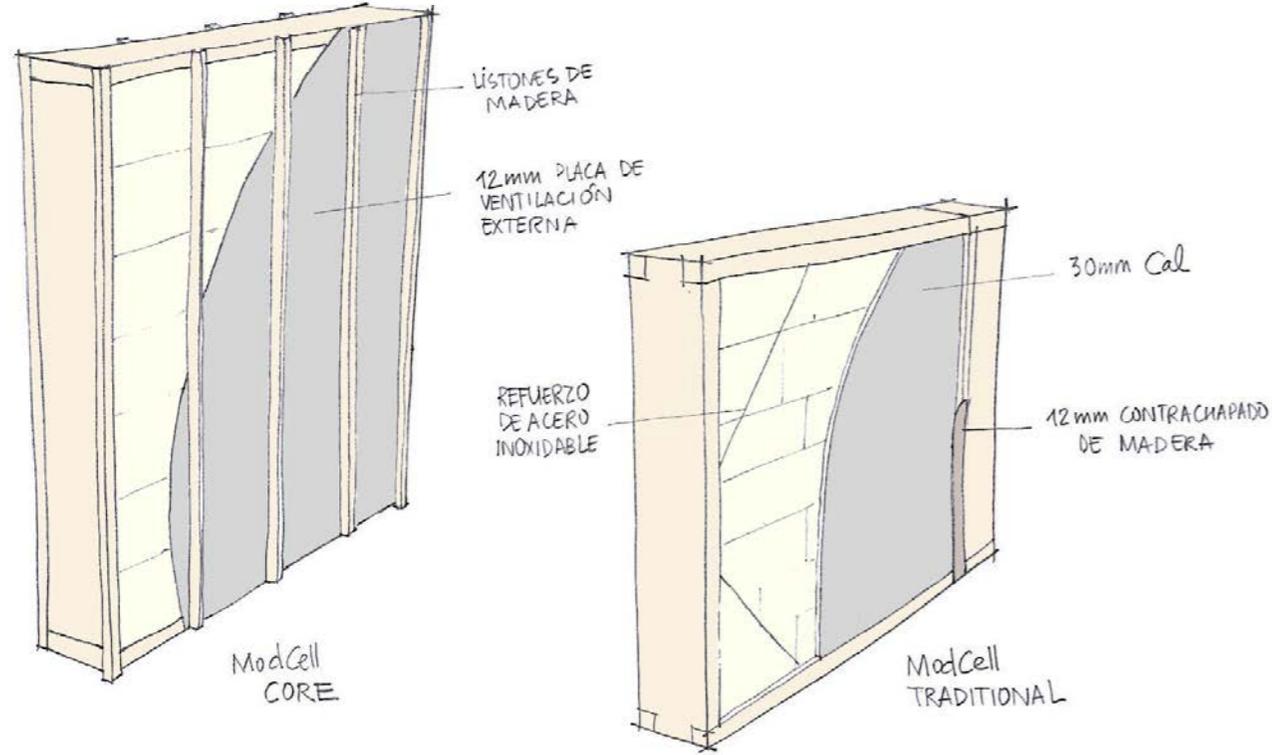


Humedad de la paja: 15%
Densidad: 120 kg/m³
Peso estándar: 180 kg
Transmitancia térmica (U): 0,113 W/m²k

Empresa EcoCocón, Lituania

Fig. 25 (Arriba) Diferentes tipologías modulares de la empresa Ecococón.

Fig. 26 (Abajo) Diferentes tipologías modulares.

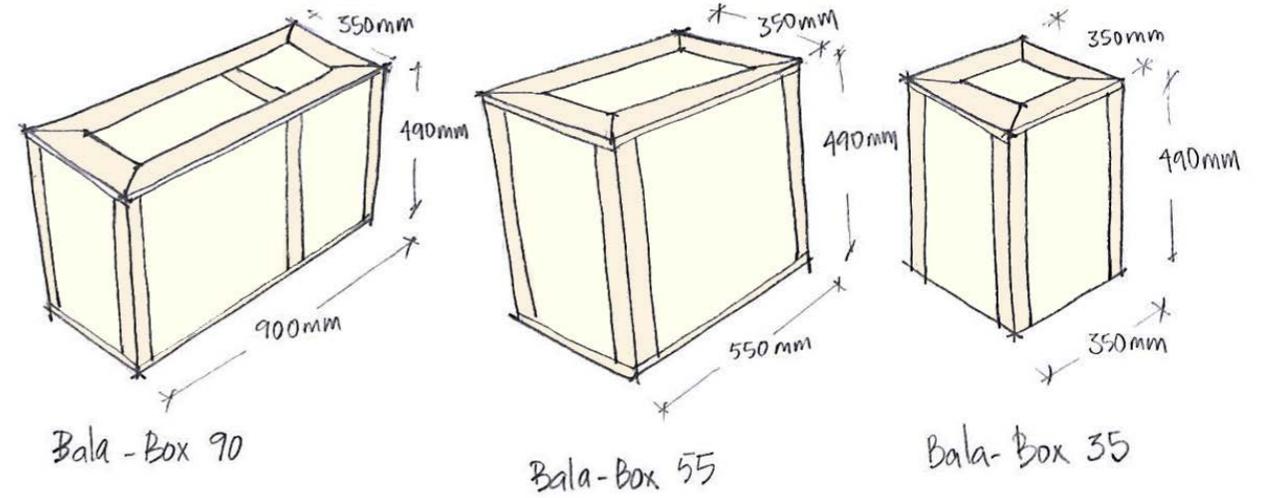


Transmitancia térmica (U): 0,13 W/m²k
 Resistencia Fuego: 0,5-1 h (Varía según el acabado)
 Resistencia Acústica: 50 db

Transmitancia térmica (U): 0,19 W/m²k
 Resistencia Fuego: 2 h
 Resistencia Acústica: 50 db

Fig. 27 Dos de las tipologías modulares de la empresa Modcell.

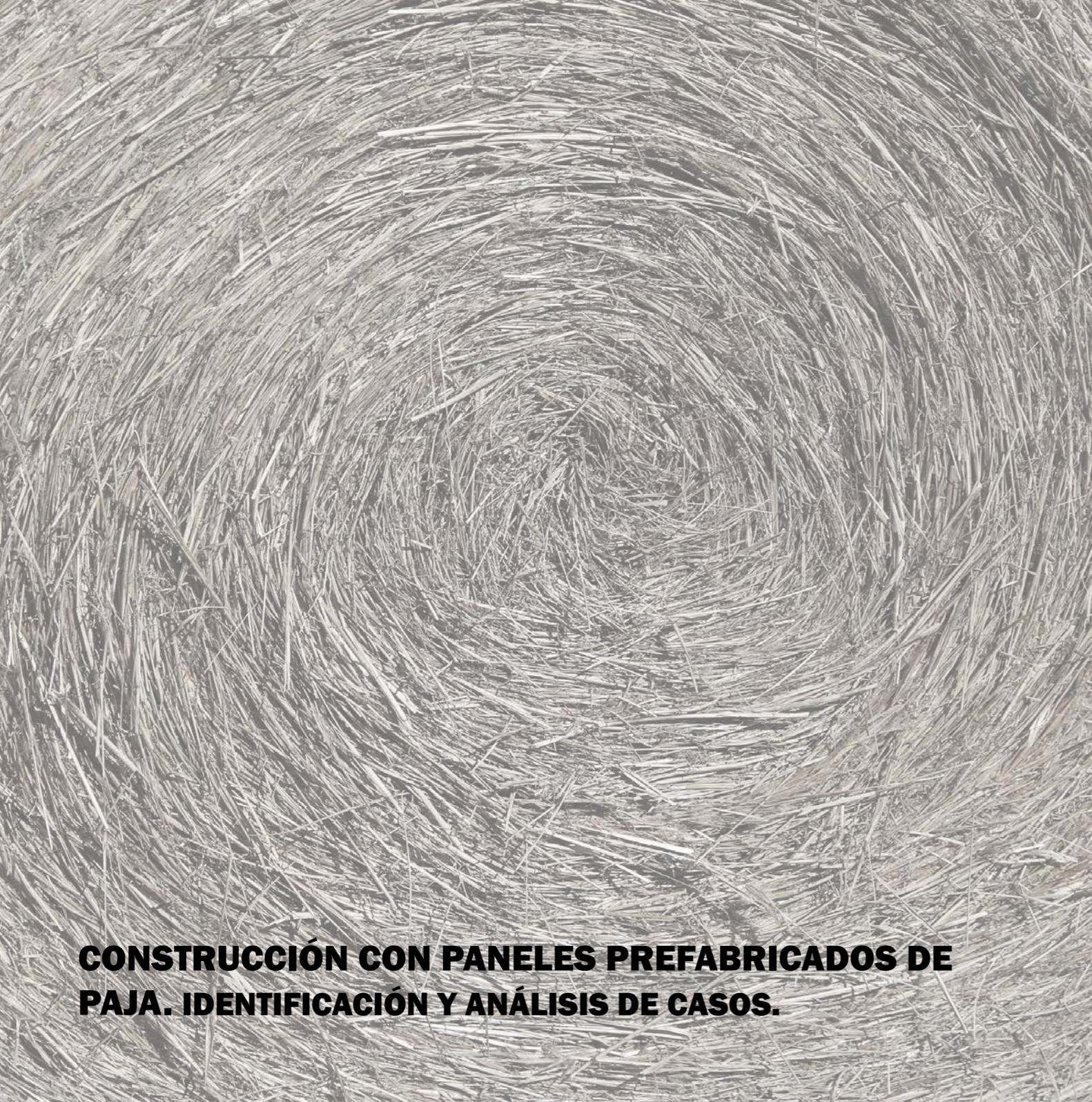
Empresa ModCell, Inglaterra



Humedad de la paja: <15%
 Densidad: 120 kg/m²
 Peso: 22 kg (balabox 90)
 14 kg (balabox 55)
 8 kg (balabox 35)
 Transmitancia térmica (U): 0,15 W/m²k
 Conductividad térmica: 0,050 W/mk

Fig. 28 Diferentes tipologías modulares de la empresa BalaBox.

Empresa BalaBox, España



CONSTRUCCIÓN CON PANELES PREFABRICADOS DE PAJA. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE CASOS.

1. Cité Scolaire en St. Cirgues en Montagne
2. Ecole maternelle Les Boutours en Rosny-sous-Bois
3. Groupe scolaire Louise Michel en Ville d'Issy-Les-Moulineaux
4. Pole scolaire et medical en Salies-de-Béarn
5. Salle Polyvalente en Mazan
6. Siège d'Ecocert en L'Isle Jourdain
7. Residence Jules-Ferry en Saint-Dié-des-Vosges
8. LarixHaus en Collsuspina
9. Casa en Chiva

En este apartado se analizarán siete proyectos de carácter público o de grandes dimensiones basándose en los sistemas modulares con balas de paja. Todos los proyectos están ubicados en Francia, uno de los países europeos donde más se alienta a construir con nuevos métodos y donde más se está desarrollando esta nueva técnica y se está gozando de sus ventajas. Los edificios que a continuación se muestran tienen una gran diversidad en cuanto a forma, función y forma de construcción. Los hay que la construcción de los cerramientos se ha realizado in situ, mientras que otros se han preparado todos los bastidores en taller. También hay una gran variedad de módulos y forma de colocación. Con estos ejemplos se pretende mostrar la gran versatilidad que presenta este sistema constructivo y su validez para cualquier tipo de construcción.

Además, se analizarán dos edificios más en España. Ambos son viviendas con un marcado carácter ecológico. La primera es la Larixhaus, la primera vivienda en España galardonada con el certificado Passivhaus y la segunda es una casa ubicada en Chiva que se ha podido visitar de primera mano.

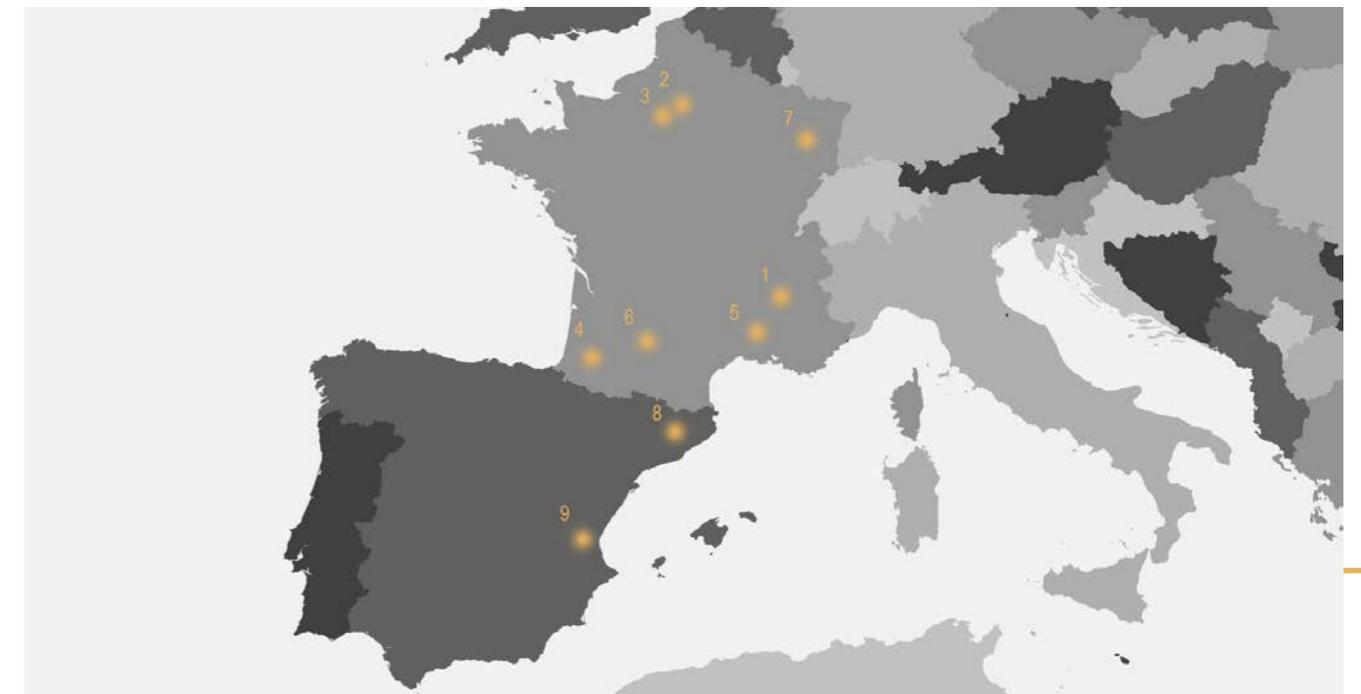


Fig. 29 Mapa de Europa

1. Cité Scolaire en St. Cirques en Montagne

Arquitectos: Agence d'architecture Charnay
Ubicación: St. Cirques en Montagne, Francia
Año proyecto: 2013
Año ejecución: 2014
Presupuesto: 6585000 €
Superficie total: 4439 m² ⁴¹
Coste metro cuadrado: 1483 €/m²

La ciudad escolar en St. Cirques en Montagne está situada a 1100 metros sobre el nivel de mar y con una superficie de 4439 m² es el primer edificio en Francia de energía positiva homologado por la HQE. ⁴² El principal objetivo del proyecto es facilitar la vida de los 200 estudiantes y las docenas de maestros que lo habitarán.

Para lograr la HQE el proyecto ha sido pensado al detalle. Orientado completamente a sur para captar la mayor cantidad de luz, el edificio se escalona para que todos los niveles puedan recibir la misma cantidad lumínica.

El edificio está cubierto por un cerramiento entero de bastidores de madera con aislamiento de balas de paja de 37 cm de espesor. El uso de la paja y la madera es un buen ejemplo de lógica constructiva para el medioambiente pues son materiales regionales por lo que se abarata mucho su coste. La única parte del edificio hecha con hormigón corresponde al restaurante del centro que además se usa como cortafuegos entre las residencias de los internos y el resto de la ciudad escolar. ⁴³

Las balas de paja tienen un tamaño de 37x47 cm colocados dentro de los bastidores de madera. El reducido tamaño hace que sea más fácil su manipulación y aporta mayor densidad al total del aislamiento creando, por ejemplo, un espacio mucho más seguro frente al fuego. ⁴⁴



Fig. 30 Exterior Cité Scolaire

Fig. 31 Proceso constructivo Cité Scolaire



Fig. 32 Exterior Cité Scolaire

⁴¹Guajardtechnologie scop: *Cité scolaire à Saint Cirques en montagne* <http://bet-gaujard.com/wp/portfolio/cite-scolaire-saint-cirques-en-montagne/> [Consulta: 15 de octubre de 2017]

⁴² El sistema de certificación de edificios HQE (Haute Qualité Environnementale)

⁴³ CHARBONNIER, V "Un groupe scolaire à énergie positive construit à 1000 m d'altitude" en *Le Moniteur Hebdo* (13/08/2014)

⁴⁴ CONSTRUCTION PAILLE Cité Scolaire de Saint Cirques <http://centre-valdeloire.constructionpaille.fr/panorama/construction/180/> [Consulta: 15 de octubre de 2017]

2. Eco-Ecole maternelle Les Boutours

Arquitectos: Emmanuel Pezres y Pierre-Jean Pouillard

Ubicación: Rosny-sous-Bois, Francia

Año proyecto: 2013

Año ejecución: 2014

Presupuesto: 6400000 €

Superficie total: 2400 m²

Coste metro cuadrado: 2666 €/m²

Este jardín de infantes alberga 8 clases, construida en paja y madera y cubierta ajardinada se distingue por varios puntos innovadores: su diseño arquitectónico, su vocación por abrirse a la ciudadanía y su carácter ecológico.

El edificio se proyecta de modo tal que pueda captar la mayor cantidad posible de luz, además el uso de la vegetación está muy estudiado, pues se han plantado árboles de hoja caduca para protegerse en verano y dejar pasar el calor en invierno. La escuela tiene como objetivo ser una passivhaus y como tal fue el primero en su categoría en 2013 en las BEPOS/BEPAS de la ADEME.⁴⁵

Lo interesante de este proyecto fue la actuación por parte de la ciudadanía de la construcción del propio edificio. Haciendo así de un edificio público algo propio y creando un fuerte vínculo vecinal. El diseño y la construcción de la paja, la madera y el muro de tierra que forman parte del edificio ha sido llevado a cabo por voluntarios no profesionales en el marco de la participación ciudadana. De la misma manera que la creación e instalación de mosaicos en las escuelas ha sido realizado por niños. La construcción participativa de la pared circundante nació del deseo de coproducir el proyecto.



Fig. 33 Fachada principal de Eco-ecole



Fig. 34 Distintos espacios en Eco-ecole



Los edificios públicos, y particularmente la escuela comunal, son bienes comunes: bienes fabricados con energía común, dinero común y la voluntad común.⁴⁶

La estructura de la escuela de madera está hecha de armazones de madera prefabricados llenos de balas de paja en las partes comunes y algodón o lana de madera en las partes menos accesibles. El tamaño de las balas de paja en este proyecto también es reducido. El hecho de que así sea es para tener un fácil manejo con el producto, pues el edificio se concibe con un deseo de que la propia ciudadanía lo construya. Haciendo módulos pequeños para su puesta en obra, los ciudadanos pueden participar de forma más activa en el proyecto.

La vegetación elegida para este proyecto ha sido diseñada para permitir a los niños tener un verdadero huerto en el techo donde crecen las verduras y los frutos de la temporada.⁴⁷



Fig. 35 Patio de Eco-ecole

⁴⁶ Eco-Ecole maternelle Les Boutours <http://www.leoffdd.fr/fichiersprojets/ecoecolematernelledesboutours-creche-rosny.pdf.pdf>

⁴⁷ RUBNER Eco-Ecole maternelle Les Boutours <http://www.rubner.fr/construction-bois/referance/eco-ecole-maternelle-des-boutours-rosny-sous-bois/> [Consulta: 14 de octubre de 2017]

⁴⁵ BEPOS: Bâtiments à Energie POSitive edificios que producen más energía de la que consumen
BEPAS: Bâtiments à Energie PASsive edificios que producen la energía que consumen
ADEME: French Environment and Energy Management Agency

3. Groupe scolaire Louise Michel

Arquitectos: Sonia Cortesse

Ubicación: Ville d'Issy-Les-Moulineaux, Francia

Año Proyecto: 2007

Año ejecución: 2013 ⁴⁸

Presupuesto: 11085000 €

Superficie total: 5300 m²

Coste metro cuadrado: 2091,5 €/m²

El grupo escolar Louise Michel ubicado en Ville d'Issy-Les-Moulineaux se plantea como un grupo piloto de escuelas que utiliza las nuevas tecnologías para crear un edificio eficiente a nivel ambiental.

El proyecto se compone de dos cuerpos colocados paralelamente. El primero ocupa tres niveles y comunica a la calle, mientras que el segundo edificio ocupa un nivel; ambas edificaciones están separadas por un "foso", un espacio destinado a crear un microclima vegetal y lugar didáctico para los niños.⁴⁹ El grupo escolar consta de 14 clases, 9 pertenecientes a estudios primarios y 5 a parvularios.⁵⁰

La organización del proyecto responde a tres condicionantes. Un condicionante urbano, no olvidando la trama de la ciudad, el edificio se alinea a la calle para no crear un proyecto totalmente ajeno al lugar. La funcionalidad del proyecto es imprescindible y proyectar utilizando el espacio dado. Por último, y el que dota de mayor importancia al proyecto, es el condicionante energético. Se orientan los cuerpos a norte-sur para aprovechar las contribuciones solares a lo largo del día. Además se crean unas áreas de circulación bioclimática para llegar a los niveles de la BBC y pasivo para la calefacción.⁵¹ El edificio se ha construido con estructura de madera y aislamiento de balas de paja.



Fig. 36 Exterior de Louise Michel



Fig. 37 Proceso constructivo fachadas



Fig. 38 Aulas de Louise Michel

El aislamiento con 6000 balas de paja es una innovación para un edificio público de este tamaño en Francia porque la técnica se usa generalmente para edificios pequeños.⁵²

La construcción en este proyecto con balas de paja se hace de forma más industrial, llenando el bastidor de madera con balas de paja de gran tamaño y prensándolos en taller, para después llevar los cerramientos a obra listos para ser colocados. Al realizar el propio cerramiento, tanto horizontal como vertical, en taller, el proceso está mucho más controlado en cuanto a medidas de las piezas y a las características aislantes de la bala de paja utilizada.⁵³



Fig. 39 Patio de Louise Michel

⁴⁸ ICEB (Institut pour la Conception Écoresponsable du Bâti) *Groupe scolaire Louise Michel* <http://www.asso-iceb.org/projet/groupe-scolaire-louise-michel-issy-les-moulineaux/> [Consulta: 14 de octubre de 2017]

⁴⁹ CORTESSE, S (2017) *Architecture et développements* http://www.soniacortesse.eu/pdf/BOOK_Ecoles&Eqpmt_144dpi.pdf

⁵⁰ ISSY.COM (Site officiel Ville d'Issy-les-Moulineaux) *Une école en paille et en bois dans le Fort d'Issy (05-03-2013)* <http://www.issy.com/une-ecole-en-paille> [Consulta: 16 de octubre de 2017]

⁵¹ Ibídem

⁵² Ibídem

⁵³ YOUTUBE, *L'école Louise Michel en YouTube* https://www.youtube.com/watch?time_continue=261&v=YvfYPv4H9OY

4. Pole scolaire et medical à Salies-de-Béarn

Arquitectos: Luc Claverie

Ubicación: Salies-de-Béarn, Francia

Año proyecto: 2012

Año ejecución: 2013

Presupuesto: 1.524.568 €

Superficie total: 1071 m²

Coste metro cuadrado: 1 424 €/m² ⁵⁴

Le Hameau Bellevue en Salies-de-Béarn, en los Pirineos Atlánticos, es un conjunto edificatorio para dar cabida a sesenta jóvenes con diferentes dificultades motoras, en el corazón de un parque del balneario del siglo XIX de 8 hectáreas clasificadas como arboreas, incluyendo 15 edificios notables. La construcción del Pole scolaire et medical forma parte de un conjunto de cuatro proyectos destinados a mejorar las condiciones de acogida para los jóvenes dentro de la escuela. Se ha aumentado un 8% el área urbanizada dentro del parque pero se asocia con una disminución del 17% en el consumo de energía. Este nuevo edificio permite reunir en un solo lugar las diferentes actividades dirigidas a los jóvenes: escolarización, formación profesional, atención y rehabilitación. Además de la búsqueda de un lugar funcional y confortable, este edificio está diseñado respetando el medio ambiente y con un control de la energía en invierno y verano sin aire acondicionado. Cada habitación cuenta con luz natural y vistas enmarcadas al parque circundante.

Debido a su tamaño compacto y su simplicidad volumétrica, el edificio se adapta adecuadamente al contexto arquitectónico y paisajístico del parque del siglo XIX. Las alas laterales de una sola altura tienen una cubierta plana. Visibles desde la parte superior del parque, las terrazas se proyectan ajardinadas.



Fig. 40 Exterior de Pole scolaire et medical



Fig. 41 Proceso constructivo



Fig. 42 Proceso constructivo

La altura de la nave central es similar al volumen del edificio colindante. La cubierta de la nave tiene una pendiente pronunciada cubierta con unas tejas características de la arquitectura local. Así pues, el edificio adquiere una forma basilical que ayuda a las circulaciones y al confort térmico.

Los volúmenes laterales, recubiertos con cal de color claro, se perforan regularmente con ventanas de madera que siguen las proporciones verticales y rítmicas del bosque que hay alrededor. La base del edificio está asegurada por una banda de guijarros de color claro. Frente a la fachada sur, un árbol con vides vírgenes aportará sombra y frescura adicionales durante el período de verano.

El volumen central, una nave de mayor altura que las alas laterales, vincula las actividades del edificio. Las amplias circulaciones y los múltiples caminos ofrecen a los ocupantes varias posibilidades de apropiación del espacio. Sus volúmenes están abiertos el uno al otro.

Los cerramientos son de bastidores de maderas con aislante de balas de paja de 36 cm de espesor. En la cubierta también se utiliza el mismo aislante y el mismo espesor, creando un espacio compacto y resguardado frente a las variantes de temperatura del exterior.⁵⁵ Los paneles prefabricados se realizan en taller para ser luego previamente transportados a obra para su colocación. Son módulos de gran tamaño, alcanzando la altura total del cerramiento de las naves.⁵⁶

⁵⁴ CONSTRUCTION21 *Le Pôle Scolaire et Médical du Hameau Bellevue* <https://www.construction21.org/france/case-studies/fr/le-pole-scolaire-et-medical-du-hameau-bellevue-64.html> [Consulta: 15 de octubre de 2017]

⁵⁵ Prix National de la Construction Bois. *Le Pôle Scolaire et Médical du Hameau Bellevue* <http://www.prixnational-boisconstruction.org/panorama-des-realizations-en-bretagne/item/955-le-pole-scolaire-et-medical-du-hameau-bellevue> [Consulta: 15 de octubre de 2017]

⁵⁶ Le Hameau Bellevue. *Architecture/éco-construction* <http://www.hameau-bellevue.org/architectureeco-construction/> [Consulta: 15 de octubre de 2017]

5. Salle Polyvalente de Mazan

Arquitectos: De-So Architectes

Ubicación: Mazan, Francia

Año proyecto: 2012

Año ejecución: 2013

Presupuesto: 4200000 €

Superficie total: 1739 m²

Coste metro cuadrado: 2415 €/m²

Situado en un paisaje preservado, La Boiserie es una sala de espectáculos diseñada por la agencia De-So Architectes. Construido en madera de cedro, La Boiserie es un lugar de reunión versátil que puede albergar hasta 1000 personas. Lejos del centro de Mazan, una localidad de 6000 habitantes, emerge de un inmenso paisaje surcado de enredaderas, en medio de tierras agrícolas, al pie del Mont Ventoux.⁵⁷

La presencia dominante y magnética del pico más alto de Provenza le da un carácter mineral al paisaje, los tonos ocres de la tierra y la madera de la vid purpúrea, marcada por la intensidad del mistral y del sol.⁵⁸

El proyecto está fragmentado en dos partes, mitigando el impacto visual debido a su escala. En el frente, hay un pabellón acogedor que se encuentra horizontalmente. Las ventanas se abren en el gran paisaje y hacia la gran sala. Entre ambos cuerpos se alberga un patio con una vista panorámica sobre los viñedos y el Mont Ventoux. Detrás, emerge una gran pendiente inclinada de 12 metros de altura, es una doble piel que protege las paredes de yeso de la gran sala. Su leve inclinación es una referencia a las laderas del Mont Ventoux, dibujando una silueta que de inmediato le da al edificio un punto de referencia público para su uso.⁵⁹



Fig. 43 Exterior Salle Polyvalente

Fig. 44 Interior Salle Polyvalente



Fig. 45 Proceso constructivo



Fig. 46 Detalle constructivo de fachada

En cuanto a los materiales utilizados, la madera cruda compone la estructura. El yeso teñido en masa constituye el revestimiento vertical. La paja comprimida permite la inercia acústica necesaria para el teatro, y forma un excelente aislamiento térmico. Con el uso de materias primas, la agencia DE-SO busca evitar los productos industriales estandarizados, escapar de los ciclos rápidos de obsolescencia. Los arquitectos desarrollan un enfoque del proyecto que beneficia al medio ambiente y al productor local. Toda la estructura está hecha de madera de pino negro, el interior de la sala de pino enganchado, y la logia de cedro. Tres especies de madera que se encuentran en el bosque Mont Ventoux, que albergan una vegetación de coníferas.⁶⁰



Fig. 47 Exterior Salle Polyvalente

⁵⁷ ArchiDesignclub by muuz. *La Boiserie, Mazan* <http://www.archidesignclub.com/portfolio/item/12-culture/95-la-boiserie-mazan-04.html> [Consulta: 16 de octubre de 2017]

⁵⁸ Les architectes (2013) *La Boiserie, sala polivalente* en *D'ARCHITECTES*, 18 de marzo. <http://www.darchitectures.com/la-boiserie-salle-polyvalente-mazan-84-a-1797.html> [Consulta: 16 de octubre de 2017]

⁵⁹ op. cit. nota 55

⁶⁰ op. cit. nota 56

6. Siège d'Ecocert

Arquitectos: Agence COLLART architecte

Ubicación: L'Isle Jourdain

Año proyecto: 2010

Año ejecución: 2013

Presupuesto: 3044000 €

Superficie total: 2025 m²

Coste metro cuadrado: 1503 €/m²

El proyecto es un encargo de la compañía ECOCERT con la que la Agencia Collart ya había colaborado en 1997 con un primer edificio bioclimático. Después de años de fuerte crecimiento, la compañía decidió aumentar sus espacios creando así este edificio donde no sólo se albergue a 140 empleados sino que además sea un edificio con un gran rendimiento energético construido con materiales de baja huella ecológica.

El objetivo del proyecto era limitar los movimientos máximos de tierra para implantar el edificio y las nuevas carreteras y limitar el impacto en el paisaje. Se tuvo en cuenta las preexistencias y se eligió el lugar adecuado para construir las nuevas oficinas.

Las técnicas de construcción de este proyecto fueron seleccionadas para combinar: facilidad técnica y ambiental, viabilidad técnica, sostenibilidad y, por último, economía de proyectos.

Los forjados son de madera maciza ahuecada que tienen una serie de ventajas: espesor bajo para amplio rango, instalación del propio forjado en seco, prefabricación en el taller, inercia promedio y participación en el aislamiento acústico gracias a un agregado de dientes de sierra. Las fachadas se componen de bastidores de madera aisladas con paja.



Fig. 48 Exterior Siège d'Ecocert



Fig. 49 Proceso constructivo



Fig. 50 Detalle fachada

El aislamiento de paja se complementará con fibra de madera para evitar los puentes térmicos. Las balas de paja que se usan para la construcción representan un volumen de aproximadamente 250 m³. El espesor utilizado es de 36 cm en los cerramientos. Estas balas de paja, provienen de una granja de agricultura ecológica ubicada en Miremont. Previamente ya han sido suministradas y controladas todas sus características (humedad relativa de 10 a 13%, masa volumen de aproximadamente 75 kg/m³.⁶¹ El proceso constructivo en este proyecto se realiza in situ, los bastidores de madera se instalan en la obra y las balas de paja se colocan y se prensan en los bastidores una vez que estos estén fijados.⁶²



Fig. 51 Exterior Siège d'Ecocert

⁶¹ ECOCERT http://www.cercad.fr/IMG/pdf/presentation_ecocert.pdf

⁶² Prix National de la Construction Bois. *Equipements Publics et Bâtiments Tertiaires* <http://www.prixnational-boisconstruction.org/candidats/candidats-2014/item/7080-ecocert-batiment>

7. Residence Jules-Ferry

Arquitectos: Antoine Pagnoux de ASP Architecture

Ubicación: Saint-Dié-des-Vosges, Francia

Año proyecto: 2012

Año ejecución: 2013

Presupuesto: 4265000 €

Superficie construida: 2707 m²

Coste metro cuadrado: 1575,5 €/m²



Fig. 52 Exterior Residence Jules-Ferry



Fig. 53 Interior Residence Jules-Ferry



Fig. 54 Proceso constructivo

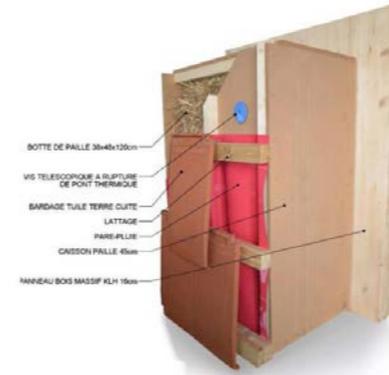


Fig. 55 Detalle constructivo de fachada

El proyecto ha sido premiado con la etiqueta Passivhaus y se ha convertido en un ejemplo en la región. Más allá de su interés ambiental y sanitario, este edificio ecológico permite reducir de manera muy significativa los gastos. Anualmente, el costo anual de las facturas (calefacción, agua caliente sanitaria, ventilación) no debe exceder de 132 € para un apartamento, lo cual es una reducción considerable.

Con este edificio ecológico y sus apartamentos de precios moderados se evidencia la prueba de que es posible conciliar el rendimiento energético, el hábitat ecológico y la vivienda social.⁶⁷



Fig. 56 Exterior Residence Jules-Ferry

⁶³ HLM: Piso de protección oficial

⁶⁴ LEON, S (2014) Habitat: un immeuble en bois et paille dans les Vosges! en *L'immobilier 100% entre Particuliers*, 17 de abril. <http://blog.partenaire-europeen.fr/2014/04/habitat-un-immeuble-en-bois-et-paille-dans-les-vosges/>

⁶⁵ op. cit. nota 53

⁶⁶ YOUTUBE, R+7 JULES FERRY à Saint Die des Vosges – KLH en *You Tube* <https://www.youtube.com/watch?v=yUrNZDjyr2Y>

⁶⁷ Éric (2014) Un immeuble de 7 étages, bois et bottes de paille, dans les Vosges en *COQUELI'CAUSSE*, 9 de enero. <https://coquelicausse.fr/un-immeuble-de-7-etages-bois-et-bottes-de-paille-dans-les-vosges/> [Consulta: 20 de octubre de 2017]

8. LarixHaus

Arquitectos: Nacho Martí Morera, Maria Molins, Oriol Martí

Ubicación: Collsuspina, España

Año proyecto: 2013

Año ejecución: 2013

Presupuesto: 113800 €

Superficie construida: 130 m²

Coste metro cuadrado: 1211€/m²

La Larixhaus es la primera casa pasiva prefabricada de paja en la Península Ibérica. Se trata de una vivienda distribuida en dos plantas, ubicada en la localidad de Collsuspina, a 70 km al norte de Barcelona, Calataunya, España. El diseño de esta se basa en un concepto muy sencillo: mejorar su 'piel' para minimizar las fugas de energía y maximizar el confort.⁶⁸

Diseñada y construida con criterios de bio-construcción y cumpliendo los requisitos del estándar Passivhaus, la Larixhaus cuenta con un sistema constructivo pre-fabricado de entramado de madera y paja.⁶⁹ Todo el entramado se ha realizado en taller, lo que ofrece tiempos de montaje muy cortos y una generación de residuos in-situ casi nulo, con todo el "pack" de la estructura, el aislamiento, y la estanqueidad resuelto. Esto facilita la consecución de una alta calidad en obra, imprescindible para edificios de muy bajo consumo energético y de alto confort.⁷⁰

El sistema que se ha utilizado para el diseño de los bastidores de madera es la total realización de los cerramientos continuos para evitar el mayor número posible de puentes térmicos. Así pues, se han realizado una a una todas las fachadas de ambos niveles para



Fig. 57 Exterior LarixHaus



Fig. 58 Proceso constructivo fachadas



Fig. 59 Colocación de las fachadas

su posterior transporte a la obra. Gracias a la idea de prefabricación y el grado de eficiencia y calidad de todas las piezas, la colocación de la estructura y de los muros se pudo realizar en tres días.

La Larixhaus fue la primera vivienda en España en otorgársele la etiqueta Passivhaus dado su diseño bioclimático. Este proyecto cuenta con un sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor. Esto es, usa el aire viciado que sale de la vivienda para precalentar el aire frío que entra. Además, una pequeña estufa de biomasa para calefacción y una bomba de calor aerotérmica completan los sistemas de energías renovables utilizados.⁷¹



Fig. 60 Proceso constructivo en el interior

⁶⁸ BUENO, J "Casa de paja que se anticipa a 2020" en *El Mundo* (28/01/2014)

⁶⁹ CONSTRUCTION21. *Larixhaus: Casa Pasiva de paja y madera* <https://www.construction21.org/espana/case-studies/es/larixhaus-ca-sa-pasiva-de-paja-y-madera.html> [Consulta: 22 de octubre de 2017]

⁷⁰ Plataforma PEP. *Larixhaus* <http://www.plataforma-pep.org/estandar/ejemplos-ph/10> [Consulta: 22 de octubre de 2017]

⁷¹ op. cit. nota 68

9. Casa en Chiva

Arquitectos: Phi Design SL. Emma Martínez Pérez de Nanclares y Juan Pablo Pellicer Casado

Ubicación: Chiva, España

Año proyecto: 2015

Año ejecución: 2015

Presupuesto: 96.292 €

Superficie construida: 102.73 m²

Coste metro cuadrado: 945 €/m²

La constructora Okambuva ha llevado a cabo en la Comunidad Valenciana la primera vivienda construida con paneles prefabricados de paja.

Situada en la localidad de Chiva, la edificación se ubica en un entorno rural; una parcela que comprende parte de montaña y zona de cultivos cuya superficie total es de 15.342m². Se trata de una vivienda unifamiliar aislada, además de un cobertizo que sirve de almacén y que alberga las instalaciones.

La cimentación de la vivienda se realiza mediante zapata corrida, la cual soporta la carga de los muros de sobrecimentación. Estos muretes están formados por dos fábricas de bloques de hormigón, separadas 10 cm y reforzadas en las esquinas con armadura vertical y relleno de alveolos. En el espacio entre ellos se colocan placas de 8 cm de XPS. Por otro lado, para los pilares del porche se proyectan 2 zapatas aisladas, unidas con la zapata corrida por medio de vigas de atado. La solera, que se encuentra sobre un enchado de grava, es de hormigón y cuenta con un espesor de 15 cm.

Los muros, los cuales soportan casi todo el peso de la cubierta, se realizan mediante entramados de balas de paja y listones de madera, de



Fig. 61 Exterior de la casa en Chiva



Fig. 62 Proceso constructivo



Fig. 63 Proceso constructivo



espesor 40 cm para encajar con los muretes de sobrecimentación, y alto y ancho variable. La madera utilizada para la fabricación de los módulos tiene resistencia C24 y es de sección 95x45 mm. Las balas, colocadas dentro de la estructura modular tienen una densidad mayor de 120 kg/m³. En este caso, los paneles prefabricados han sido previamente ejecutados en un taller próximo a la realización de la obra.

Para el acabado exterior, se realiza un enfoscado de mortero de arcilla + fibras de 30 mm de espesor con una parte de cal hidráulica natural por cada 5 partes de mortero. Se ejecutan dos capas de 1.5 cm, dejando entre ambas un tiempo de secado y colocando una malla de yute para impedir la aparición de fisuras por retracción. Finalmente, se coloca una capa de 5 mm de mortero de cal aérea en pasta.

En cuanto al acabo interior, exceptuando zonas húmedas, se efectúa también un enfoscado de mortero de arcilla + fibras de 30 mm colocado en dos capas y acabado de mortero de arcilla de 3 mm. Para su remate, se utiliza pintura de arcilla.⁷²

⁷² LLORENS I ALCAIDE, A (2016) *Seguimiento de obra: Vivienda unifamiliar aislada con muros de entramados de madera y balas de paja en Chiva*. Trabajo Final de Grado. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Tras la visita a la edificación, su propietaria Neu Forteza da su opinión después de habitar 2 años en una vivienda de este tipo. Su experiencia es muy positiva, llegando a contar que volvería a pasar por el proceso de construcción de una vivienda de módulos prefabricados de paja. En cuanto a aspectos positivos, la casa mantiene a lo largo de todo el año una temperatura constante de unos 20 grados aproximadamente, ayudándose en invierno de una pequeña chimenea de leña que la propietaria utiliza de forma anecdótica. La casa está proyectada de tal manera que cuenta con un buen asoleamiento, permitiendo el ingreso o la protección del sol en ambientes interiores o espacios exteriores para alcanzar el confort higrotérmico. Durante el verano, la cara sur está protegida del sol gracias al vuelo de la cubierta y en invierno, permite la entrada del sol al interior.

La humedad relativa en el interior de la vivienda oscila siempre en torno al 50%, lo cual determina un ambiente muy agradable. Gracias a estos factores, el consumo energético de la vivienda es prácticamente nulo.



Fig.64 En estas imágenes se compara, a fecha 17 de enero, la diferencia de temperatura exterior e interior sin el funcionamiento de la chimenea. En la fotografía de la derecha se aprecia una temperatura exterior de 1,5°, mientras que en el interior se goza de unos 21,6°C.



Fig. 65 (Arriba) Proceso constructivo
Fig. 66 (Abajo) Interior de la vivienda

Por otro lado, algunos de los inconvenientes que presenta la vivienda son los encuentros entre los distintos materiales empleados en la construcción. Por ejemplo, la fachada Este presenta fisuras en el encuentro entre el panel prefabricado y la sobrecimentación de hormigón, además de ser la cara más perjudicada por los vientos dominantes en esa dirección y la lluvia. En el interior, también se encuentran fisuras en el encuentro entre el muro portante y los distintos paramentos interiores. Otra de las dificultades que se plantean es el anclaje a los cerramientos, lo que se resuelve con la utilización de tacos de mayor longitud que lleguen a penetrar en la paja.

Además, uno de los problemas que plantea el uso de la paja es la diferencia existente entre la superficie construida y la superficie útil, debido a su espesor, se pierde espacio. Por el contrario, esto permite que las condiciones térmicas de la edificación sean excelentes.



Fig. 67 (Izq.) Detalle del encuentro entre sobrecimentación y fachada
Fig. 68 (Der.) Detalle de la cubierta



CONCLUSIÓN

Hoy en día, una de las principales cuestiones a la que se enfrenta un arquitecto es el respeto por el medio ambiente. Para ello, es de vital importancia tener en cuenta la orientación, un uso adecuado de los materiales de la zona, ser una construcción consecuente con el entorno y que todo el proceso genere el mínimo impacto ambiental.

Tras identificar e investigar los sistemas de construcción con balas de paja, se concluye que la bala de paja es un material del cual se está empezando a descubrir sus enormes posibilidades dentro del campo de la construcción debido a que es uno de los materiales ecológicos con mejores capacidades constructivas además de ser un excedente en muchísimos lugares, por lo que su uso no solo mejora la eficiencia energética de la vivienda si no que se reduce la emisión de CO2 provocada por su quema. El empleo de este material, no solo reduciría los niveles de contaminación sino que además le daría un nuevo uso a este residuo de la agricultura.

Tras realizar un análisis de casos, se concluye que el sistema prefabricado es un sistema desconocido en España a pesar de su gran desarrollo en Europa. Es por ello que considero importante darlo a conocer. Sus múltiples virtudes, constatadas en la evaluación contrastada con el sistema de balas de paja demuestran que este sistema es una nueva vía para una construcción contemporánea y respetuosa con nuestro planeta, como solución para alcanzar los objetivos europeos horizon2020. No se debe olvidar que en el año 2020, toda obra nueva deberá tener un consumo casi nulo dictado por la Unión Europea. Los varios ejemplos que se muestran en este trabajo dan buena cuenta de que es posible alcanzar este objetivo.

La información que en la actualidad se tiene sobre la construcción con este material es escasa y el presente trabajo constata que es preciso una mayor investigación de este sistema para lograr soluciones

innovadoras. En la sociedad española existe una visión hacia este tipo de construcción que se aleja de la realidad.

Sin embargo, poco a poco esta tipología constructiva se va infiltrando en nuestro país por medio de pequeñas construcciones, como la Larixhaus o la casa en Chiva. Después de su estudio y análisis, la intención es que la prefabricación con bala de paja no se tome como algo anecdótico sino como un material que puede tener un uso generalizado en todo tipo de construcciones. Tras mi experiencia en la vivienda de Chiva, se demuestra como con un sistema tan sencillo pueden conseguirse unas condiciones de temperatura y ambiente óptimas en el interior de las estancias. A pesar de que el coste final de una obra de este tipo no difiere mucho de una vivienda convencional, a la larga se ahorra en el gasto de la energía necesaria para acondicionar la vivienda.

En otros países europeos como Francia, existe una conciencia a nivel social e institucional muy potente. Se invierte en este tipo de construcciones y se facilita su desarrollo e investigación dando así edificios cada vez más sostenibles. La bioconstrucción con paja está asentándose como una verdadera solución para parte de los problemas del planeta en cuanto a recursos materiales y consumo energético. El levantamiento de escuelas y edificios públicos con este sistema no solo colabora con el respeto al medio ambiente. Además de crear espacios saludables, se crea una conciencia social de respeto hacia el entorno.

También se ha visto como históricamente ha habido un uso de la paja en la construcción, pero no ha sido hasta hace poco que se ha descubierto su uso en forma de bala de paja. Un uso revolucionario que ha permitido la realización de edificios y proyectos con unos resultados de confort interior y de ahorro de energía muy favorables en comparación con la construcción convencional.

Muy pocos países tienen una normativa específica sobre la construcción con balas de paja. España no posee dicha normativa, si bien es cierto que no prohíbe la construcción con este material, las instituciones no facilitan su uso a través de la divulgación. Por ende, es necesario una serie de reglas oficiales que salgan de los colegios de arquitectos donde se ayude y se regule este tipo de construcción, siendo ya una realidad en otros países y habiéndose contrastado de una forma más que satisfactoria sus múltiples virtudes.

Por lo tanto, se puede concluir que los objetivos marcados se han conseguido de manera satisfactoria.

Para finalizar, con este trabajo he aprendido la importancia de no dejar de lado las nuevas tendencias en la arquitectura como base para mi futuro profesional. En nuestra profesión, no debemos limitarnos a la hora de aprender sobre nuevas herramientas para proyectar espacios. A lo largo de la historia, el arquitecto se ha ido adaptando a las nuevas corrientes del momento aunando arte y técnica. La construcción con el sistema prefabricado con balas de paja nos ayuda en este proceso y nos da unas ventajas inimaginables que debemos aprovechar. Espero que esto sirva para avanzar hacia una arquitectura limpia, respetuosa, bella y saludable donde el cuidado del medio ambiente se convierta en la piedra angular de nuestros proyectos.



BIBLIOGRAFÍA

Libros

MINKE, GERNOT; MAHLKE, FRIEDEMANN. 2005. *Manual de construcción con fardos de paja*. Ed. Fin de siglo.

RED DE CONSTRUCCIÓN CON PAJA. 2012. *Reglas profesionales de construcción con paja*. Barcelona: Icaria

NITZKIN, RIKKI; TERMENS, MAREN. 2010. *Casas de paja, una guía para autoconstructores*. Ed. Ecohabitar.

Artículos

BUENO, J. 2014. Casa de paja que se anticipa a 2020. *El Mundo*.

CHARBONNIER, V. 2014. Un groupe scolaire à énergie positive construit à 1000 m d'altitude. *Le Moniteur Hebdo*.

Ponencias de congresos

LOPEZ ALTUNA, A; IBORRA LUCAS, M. 2015. "Paramentos y paneles modulares prefabricados con paja para la construcción de viviendas y rehabilitación energética de edificaciones" en *Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Ecoeficientes (2015)* MERCADER-MOYANO, P (coord.) Sevilla: Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. 818-842

Trabajo final de grado, Tesis

ARANEDA, L; MUÑOZ, A. 2010. *Análisis del comportamiento térmico del sistema constructivo de fardos de paja*. Trabajo final de Carrera. Valdivia: Universidad Austral de Chile.

CARRO CASTRO, F J. 2007. *Construcción con balas de paja. Estudio de las propiedades de la paja embalada y su utilización como material de construcción*. Proyecto fin de Carrera. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de A. Coruña.

LLORENS I ALCAIDE, A. 2016. *Seguimiento de obra: Vivienda unifamiliar aislada con muros de entramados de madera y balas de paja en Chiva*. Trabajo Final de Grado. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

ROMANS TORRES, I. 2014. *Estudio y análisis de la construcción con balas de paja. Comparación del sistema estructural CUT con la construcción convencional de H.A*. Trabajo Final de Grado. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

SIMANCAS YOVANE, K. 2003. *Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo*. Tesis. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

Referencias electrónicas

CORTESSE, S. 2017. *Architecture et développements* http://www.soniacortesse.eu/pdf/BOOK_Ecoles&Eqpmt_144dpi.pdf

Páginas web

ArchiDesignclub by muuuz

La Boiserie, Mazan <http://www.archidesignclub.com/portfolio/item/12-culture/95-la-boiserie-mazan-04.html>

CONSTRUCTION21

Larixhaus: Casa Pasiva de paja y madera <https://www.construction21.org/espana/case-studies/es/larixhaus-casa-pasiva-de-paja-y-madera.html>

Le Pôle Scolaire et Médical du Hameau Bellevue <https://www.construction21.org/france/case-studies/fr/le-pole-scolaire-et-medical-du-hameau-bellevue-64.html>

CONSTRUCTION PAILLE

Cité Scolaire de Saint Cirgues <http://centre-valdeloire.constructionpaille.fr/panorama/construction/180/>

ECOCERT

http://www.cercad.fr/IMG/pdf/presentation_ecocert.pdf

ECOCON

Tecnología de montaje <http://www.ecococon.it/spanish/paneles-de-paja/tecnologia-de-montaje/>

ECOFAB

<http://www.eco-fab.co.uk/ecofab-system.html>

ICEB (Institut pour la Conception Écoresponsable du Bâti)

Groupe scolaire Louise Michel <http://www.asso-iceb.org/projet/groupe-scolaire-louise-michel-issy-les-moulineaux/>

ISSY.COM (Site officiel Ville d'Issy-les-Moulineaux)

Une école en paille et en bois dans le Fort d'Issy (05-03-2013) <http://www.issy.com/une-ecole-en-paille>

Guajardtechnologie scop:

Cité scolaire à Saint Cirgues en montagne <http://bet-gaujard.com/wp/portfolio/cite-scolaire-saint-cirgues-en-montagne/>

META2020

Construcción con paja <http://www.meta2020arquitectos.com/construccion-con-paja/>

Le Hameau Bellevue

Architecture/éco-construction <http://www.hameau-bellevue.org/architectureeco-construction/>

Plataforma PEP

Larixhaus <http://www.plataforma-pep.org/estandar/ejemplos-ph/10>

Prix National de la Construction Bois

Le Pôle Scolaire et Médical du Hameau Bellevue <http://www.prixnational-boisconstruction.org/panorama-des-realizations-en-bretagne/item/955-le-pole-scolaire-et-medical-du-hameau-bellevue>

Equipements Publics et Bâtiments Tertiaires <http://www.prixnational-boisconstruction.org/candidats/candidats-2014/item/7080-ecocert-batiment>

RUBNER

Eco-Ecole maternelle Les Boutours <http://www.rubner.fr/construction-bois/reference/eco-ecole-maternelle-des-boutours-rosny-sous-bois/>

Blogs

Admin. 2016. Techos de paja y junco. Breve historia en *ARQUITECTURA de CASAS*, 19 de mayo. <http://www.arquitecturadecasas.info/techos-de-paja-y-junco-breve-historia/>

Éric. 2014. Un immeuble de 7 étages, bois et bottes de paille, dans les Vosges en *COQUELI'CAUSSE*, 9 de enero. <https://coquelicausse.fr/un-immeuble-de-7-etages-bois-et-bottes-de-paille-dans-les-vosges/>

Les architectes. 2013. La Boiserie, sala polivalente en *D'ARCHITECTES*, 18 de marzo. <http://www.darchitectures.com/la-boiserie-salle-polyvalente-mazan-84-a1797.html>

LEON, S (2014) Habitat: un immeuble en bois et paille dans les Vosges! en *L'immobilier 100% entre Particuliers*, 17 de abril. <http://blog.partenaire-europeen.fr/2014/04/habitat-un-immeuble-en-bois-et-paille-dans-les-vosges/>

PFENNIGER, F (2013) Prefabricación modular y sustentabilidad en *arquitectura+acero*. <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/prefabricacion-modular-y-sustentabilidad>

Vídeos de Internet

YOUTUBE, Une école en paille à Issy : l'école Louise Michel en *YouTube* https://www.youtube.com/watch?time_continue=261&v=YvYYPv4H9OY

YOUTUBE, R+7 JULES FERRY à Saint Die des Vosges – KLH en *YouTube* <https://www.youtube.com/watch?v=yUrNZDJyr2Y>

YOUTUBE, Производство соломенных панелей в Одессе en *YouTube* <https://www.youtube.com/watch?v=GSsu0JTpKI0>

YOUTUBE, Ecoseno.ru - соломенные стеновые панели и их производство en *YouTube* <https://www.youtube.com/watch?v=cgXcQQ7aiuw>

YOUTUBE, Crowdfunding project: straw panel production en *YouTube* <https://www.youtube.com/watch?v=Rn2-MLtHP-w&list=PLI2vPgbmYlqdSCJvI2-LZUqunfv85ZeGR>

YOUTUBE, Ecococon assembly. Foundation en *YouTube* <https://www.youtube.com/watch?v=agN7rXHFkT4>

YOUTUBE Ecococon assembly. Walls en *YouTube* <https://www.youtube.com/watch?v=C4iE-rtZxRw>

74 YOUTUBE Ecococon assembly. Roof en *YouTube* <https://www.youtube.com/watch?v=VJw4Rjjicrs>

YOUTUBE ECOPAJA Bioconstrucción modular estructura de madera con aislamiento de paja y acabado en barro en *YouTube* <https://www.youtube.com/watch?v=qOqfDvcE8Go>



CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS

- Fig. 1 <https://orientaguia.files.wordpress.com/2011/05/barraca-2.jpg?w=1400>
- Fig. 2 <http://www.prairiefirenewspaper.com/files/200911-building-solomon-butcher.jpg>
- Fig. 3 https://rvmirror.files.wordpress.com/2013/04/img_1726.jpg
- Fig. 4 <http://cncp-feuillette.fr/wp-content/uploads/2014/01/cncp-bandeaux-rubrique-maison-feuillette.jpg>
- Fig. 5 http://www.floriberia.com/2529-large_default/bala-paja-.jpg
- Fig. 6 <http://www.nonsprecare.it/wp-content/uploads/2012/09/vantaggi-case-paglia-risparmio-energetico-4.jpg>
<https://i.pinimg.com/736x/be/1c/06/be1c0621f4a961b18273ca4522548f84--green-architecture-architecture-design.jpg>
<https://www.baunetzwissen.de/imgs/2/0/0/8/6/9/0/2-055ff1f8867003a9.jpg>
- Fig. 7 https://construpajaargentina.files.wordpress.com/2015/05/1000962_10152263379446694_428392363_n.jpg?w=608&h=406
- Fig. 8 http://www.casapasiva.es/nuevaweb/wp-content/uploads/2017/05/corbera_greb_07-1024x576.jpg
- Fig. 9 http://www.casapasiva.es/nuevaweb/wp-content/uploads/2017/05/vilanova_CUT_18-1024x576.jpg
- Fig. 10 http://www.baubiologie.at/system/bilder/433/big/projekt_StroHotelAalshof_5467.jpg
- Fig. 11 <http://www.houseplanninghelp.com/wp-content/uploads/2014/11/insulating-with-straw-bales.jpg>
- Fig. 12 <https://4.bp.blogspot.com/-boOo21I4iwA/Vjng8pFMcdI/AAAAAAAAAWj8/uiQsI-0Z8VI/s1600/Blakcfeet-Blackfoot-Indian-tribe-tipi-art-Alberta-Canada.jpg>
- Fig. 13 <http://gpi-blog.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2014/02/YURTA.jpg>
- Fig. 14 http://www.agrozes.cz/obrazky-soubory/lb_434r_c12_041-39148-0f418.jpg
- Fig. 15-16 <http://www.okambuva.coop/frontpage/alfawall-modulos-prefabricados-de-paja/>
- Fig. 17-28 Dibujos propios
- Fig. 29 Plano modificado por el propio autor
- Fig. 30 https://www.ardeche-guide.com/sites/default/files/sit/data/media/images/406361/cite_scolaire-944838.jpg
- Fig. 31 http://bet-gaujard.com/wp/wp-content/uploads/2014/02/IMG_9217.jpg
http://bet-gaujard.com/wp/wp-content/uploads/2014/02/IMG_9133.jpg
- Fig. 32 <https://www.moulin-charpente.fr/uploads/2016/06/2013-College-St-Cirgues-1024x768.jpg>
http://www.issy.com/sites/default/files/louise_michel_2.jpg
- Fig. 33 http://www.vegetal-e.com/visuels/1475065758_Eco-cole_des_Boutours_03_zoom.jpg

Fig. 34 <http://blog.pages-energie.com/wp-content/uploads/2015/04/eco-les-mater-boutours.png>
[http://www.vegetal-e.com/visuels/1475065788 Eco-cole des Boutours 04 zoom.jpg](http://www.vegetal-e.com/visuels/1475065788_Eco-cole_des_Boutours_04_zoom.jpg)

Fig. 35 http://bet-gaujard.com/wp/wp-content/uploads/2014/11/IMG_9412.jpg

Fig. 36 [http://www.vegetal-e.com/visuels/1457517952 Ecole L Michel Dufournet Corte415 redresse REDUII zoom.jpg](http://www.vegetal-e.com/visuels/1457517952_Ecole_L_Michel_Dufournet_Corte415_redresse_REDUII_zoom.jpg)

Fig. 37 [http://www.vegetal-e.com/visuels/1457518018 Construction Paille Ecole Sonia Cortesse zoom.jpg](http://www.vegetal-e.com/visuels/1457518018_Construction_Paille_Ecole_Sonia_Cortesse_zoom.jpg)
<http://esbg2015.eu/wp-content/uploads/2014/11/issy-de-moulineux1-1024x659.jpg>

Fig. 38 [http://www.vegetal-e.com/visuels/1457518664 Ecole paille Sonia Cortesse.jpg](http://www.vegetal-e.com/visuels/1457518664_Ecole_paille_Sonia_Cortesse.jpg)

Fig. 39 [http://www.vegetal-e.com/visuels/1457518352 Ecole paille Ecologique Louise Michel zoom.jpg](http://www.vegetal-e.com/visuels/1457518352_Ecole_paille_Ecologique_Louise_Michel_zoom.jpg)

Fig. 40 <https://www.construction21.org/france/case-studies/fr/le-pole-scolaire-et-medical-du-hameau-bellevue-64.html>

Fig. 41-42 <https://enercoconseils.wordpress.com/pole-scolaire-medical-salies-de-bearn-64/#jp-carousel-249>

Fig. 43 http://www.darchitectures.com/images/articles/680x460/01797_000_216B5176.jpg

Fig. 44 <http://deso-architecture.com/wp-content/uploads/DE-SO-Mazan-Boiserie-spectacle-int01-580x387.jpg>

Fig. 45 http://www.darchitectures.com/images/articles/680x460/01797_000_FFFFFFFFAFE7E11F.jpg

Fig. 46 http://www.darchitectures.com/images/articles/680x460/01797_000_327B12C4.jpg

Fig. 47 http://www.darchitectures.com/images/articles/680x460/01797_000_FFFFFFFFD892F745.jpg

Fig. 48 http://www.collart-archi.com/wp-content/uploads/2017/04/Ecocert_vue_entree.jpg

Fig. 49 http://www.prixnational-boisconstruction.org/images/stories/flexicontent/l_a1396532962sd_ecocert-photo-12-0-21-017.jpg
http://www.prixnational-boisconstruction.org/images/stories/flexicontent/l_a1396531896sd_ecocert-photo-12-07-12-100.jpg

Fig. 50 http://www.collart-archi.com/wp-content/uploads/2017/04/Ecocert_facade_nord.jpg

Fig. 51 <http://www.ecocert.fr/sites/www.ecocert.fr/files/batiment-ecocert.JPG>

Fig. 52 <https://www.construction21.org/france/data/sources/users/2791/02-dsc2780.jpg>

Fig. 53 <https://www.construction21.org/case-studies/fr/timberstraw-passive-residence-jules-ferry.html>

Fig. 54 <https://www.construction21.org/france/data/sources/users/2548/r7-saint-die-klh.jpg>

Fig. 55 <https://www.construction21.org/france/data/sources/users/2548/caissonboispaille.jpg>

Fig. 56 <http://photo.capital.fr/les-immeubles-en-bois-envahissent-nos-villes-19092#la-residence-hlm-jules-ferry-a-saint-die-des-vosges-341458>

Fig. 57 <http://farhaus.com/wp-content/uploads/2016/03/DSC03623-1612x1209.jpg>

Fig. 58 <http://farhaus.com/wp-content/uploads/2016/03/DSC03430-1612x1209.jpg>

Fig. 59 <https://www.construction21.org/espana/data/sources/users/468/Larixhaus/04---wind-membrane.jpg>

Fig. 60 http://farhaus.com/wp-content/uploads/2016/03/20131114_colluspina_10.jpg

Fig. 61-63 Fotografías extraídas del Trabajo Final de Grado de LLORENS I ALCAIDE, A (2016) *Seguimiento de obra: Vivienda unifamiliar aislada con muros de entramados de madera y balas de paja en Chiva.*

Fig. 64 Imágenes facilitadas por la dueña de la Casa en Chiva

Fig. 65 Fotografías extraídas del Trabajo Final de Grado de LLORENS I ALCAIDE, A (2016) *Seguimiento de obra: Vivienda unifamiliar aislada con muros de entramados de madera y balas de paja en Chiva.*

Fig. 66-68 Fotografías tomadas por el propio autor



ANEXO



Pol. Lasao, Área Anardi nº 5
Apartado 134 P.O. Box
20730 Azeitia (Gulpúzcoa) SPAIN
Tel. +34 943816800
Fax +34 943816074
Email: cidemco@cidemco.es
www.cidemco.es



Nº INFORME: 18607- 2. Hoja 1 de 4

INFORME DE CLASIFICACIÓN DE RESISTENCIA AL FUEGO

CLIENTE: **EXPO ZARAGOZA 2008**
SOLICITANTE: **EXPO ZARAGOZA 2008**
DIRECCIÓN: **Pº Independencia 34, entlo. 50 004 Zaragoza**

MATERIAL ENSAYADO: **División no portante REF. «ExpoZaragoza»**

OBJETO DE LA PETICIÓN: **CLASIFICACIÓN SEGÚN UNE-EN 13501-2:2004**

FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME: **13.05.2008**

La clasificación que se facilita en este informe sólo se refiere al material recibido y sometido a ensayo en este Centro de Investigación en las fechas indicadas y no tiene validez si no va acompañado del informe nº 18607-1.

Este Informe consta de cuatro (4) páginas y no podrá ser reproducido sin la autorización expresa de CIDEMCO, excepto cuando lo sea de forma íntegra.

Iosu Mordillo
Técnico Área Ingeniería del fuego
Dpto. Construcción

Izaskun Martínez
Resp. Área Ingeniería del fuego
Dpto. Construcción

Asier Maiztegi
Director Dpto. Construcción

1.- OBJETIVO DEL INFORME

El objetivo del presente informe es definir la clasificación de la Resistencia al fuego obtenida por un trasdosado instalado sobre un muro de bloque de hormigón referenciado como «ExpoZaragoza» de acuerdo con la norma EN 13501-2:2004 "Clasificación del comportamiento al fuego de productos y materiales de la construcción. Parte 2: Clasificación usando datos procedentes de ensayos de Resistencia al fuego".

NOTA: Este informe no representa ningún tipo de aprobación o certificación del producto ensayado.

2.- DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA OBJETO DE CLASIFICACIÓN

La muestra «ExpoZaragoza» se define como una pared no portante definidos en la norma EN 13501-2:2004.

En el anexo 3 del informe 18607-1 se adjunta la ficha técnica de dicha muestra.

3.- INFORME EN EL QUE SE BASA LA CLASIFICACIÓN

LABORATORIO EMISOR	CIDEMCO Bº Lasao, Área Anardi 5 20730 Azpeitia (Guipúzcoa)
MUESTRA ENSAYADA REFERENCIA COMERCIAL	Pared no portante formada por pacas de paja «ExpoZaragoza»
SOLICITANTE DEL ENSAYO	Pº Independencia 34, entlo. 50 004 Zaragoza
Nº INFORME DE ENSAYO	18607-1
FECHA DE EMISIÓN	13 de mayo de 2008
ENSAYO REALIZADO	Una muestra expuesta por una cara a la curva según norma UNE-EN 1364-1:2000

RESULTADOS DEL ENSAYO

INTEGRIDAD:	91 minutos
AISLAMIENTO:	91 minutos

4.- CLASIFICACIÓN

De acuerdo con la norma EN 13501-2:2004, la pared no portante «ExpoZaragoza» recibida en CIDEMCO el 17 de abril de 2008 recibe la siguiente clasificación:

CLASIFICACIÓN: EI 90 E 90

5.- CAMPO DE APLICACIÓN DIRECTA

El campo de aplicación directa de los resultados del ensayo, se refiere a aquellos cambios que se pueden efectuar sobre una muestra tras un ensayo de resistencia al fuego de resultado conforme. Estas variaciones pueden ser introducidas automáticamente sin necesidad por parte del solicitante de obtener evaluación, cálculo o aprobación adicionales.

5.1 Variaciones de medida permitidas

5.1.1 Generalidades

Los resultados de ensayo al fuego se aplican directamente a las construcciones similares cuando una o varias de las modificaciones siguientes han tenido lugar y siempre que la construcción continúe siendo conforme al código de diseño correspondiente, desde el punto de vista de su rigidez y de su estabilidad.

Para la muestra ensayada, se permite:

- disminución de la altura
- aumento del espesor de la pared
- aumento del espesor de los materiales constituyentes
- disminución de las medidas lineales de los paneles o placas, pero no de su espesor.
- disminución de la distancia entre montantes
- disminución de la distancia entre los centros de las fijaciones.

Aquellas modificaciones que no consten expresamente en los anteriores apartados no se consideran objeto de posible cambio sin aprobaciones expresas adicionales.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA