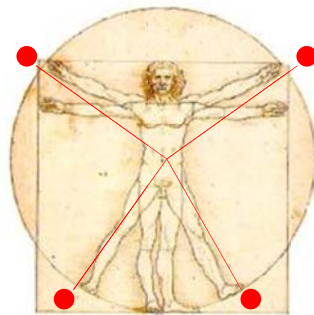


TECNOLOGÍ@ y *DESARROLLO*

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN XIV. AÑO 2016

SEPARATA



ESTRUCTURAS ENTRAMADAS PARA EDIFICACIÓN SOSTENIBLE MEDIANTE BLOQUES DE FIBRA VEGETAL COMPRIMIDA

Silvia Cenzano Gutiérrez



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Silvia Cenzano Gutiérrez

Mayo, 2016.

<http://www.uax.es/publicacion/carpinteria-de-armar-para-edificacion-sostenible-mediante-bloques-de-fibra.pdf>

© De la edición: *Revista Tecnol@ y desarrollo*

Escuela Politécnica Superior.

Universidad Alfonso X el Sabio.

28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).

ISSN: 1696-8085

Editor: Javier Morales Pérez – tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

ESTRUCTURAS ENTRAMADAS PARA EDIFICACIÓN SOSTENIBLE MEDIANTE BLOQUES DE FIBRA VEGETAL COMPRIMIDA

Silvia Cenzano Gutiérrez

Arquitecta Técnica. Ingeniera de Edificación.
Tf: 918109780 correo-e: scenzgut@uax.es
Escuela Politécnica Superior. Universidad Alfonso X El Sabio

RESUMEN:

El método original de construcción mediante balas de paja da lugar a sistemas autoportantes, con él se consiguen edificios de pequeña y mediana entidad. En combinación con los entramados de madera se consiguen mayores estructuras respetando los criterios de sostenibilidad y las amplias prestaciones de aislamiento térmico y acústico.

PALABRAS CLAVE:

Carpintería de armar, estructura, entramado, tecnología, construcción, madera.

ABSTRACT:

The original method of stawbale construction provides loadbearing systems which are used to build medium or small magnitude buildings. Combining loadbearing with framework it's possible to build bigger structures respecting the environment and thermic and acoustic insulation benefits.

KEY-WORDS:

Timber work, structure, framework, technology, construction, wood.

Agradecimientos: a Mónica Cebada y a Taller Karuna por su afán investigador y su generosidad en la divulgación del saber. A Celina Molina y a Eladio Martín por su incansable trabajo en la autoconstrucción sostenible.

SUMARIO: 1. Introducción 2. Metodología de estudio. 3. Sostenibilidad de los entramados de madera 4. Productos empleados. 5. Tipos de uniones 5. Protección de la estructura de madera frente a agentes bióticos y meteorológicos 6. Protección de la estructura de madera frente al caso de incendio. 7. Conclusiones 8. Bibliografía

1. INTRODUCCIÓN

El método original de construcción mediante balas de paja da lugar a sistemas autoportantes como el que se muestra en la figura 1. De esta manera se prescinde de estructuras entramadas, la propia paja es autoportante gracias a la compacidad que se le aporta al empaclarla.



Fig. 1: Simonton House, Nebraska 1908.

Fuente: Barbara Jones Amazonails (2007)

Actualmente se siguen ejecutando edificios por este método como se observa en la figura 2. Son edificios de pequeña y mediana entidad: viviendas unifamiliares y almacenes agrícolas entre otros.



Fig. 2: Muros de carga a base de balas de paja.

Fuente: Barbara Jones Amazonails (2007)

En los años veinte se construyeron edificios de estructura híbrida de muros de balas de paja combinados con estructura entramada de madera como se observa en la figura 3. Algunos de ellos se conservan actualmente.

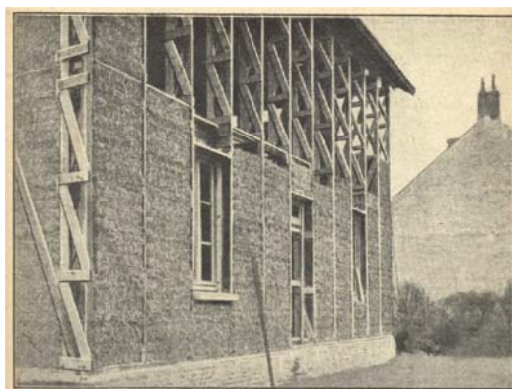


Fig. 3: Edificación híbrida de estructura de madera y paja. Francia.
Fuente: Revista *La science et la vie*, nº56 (mayo de 1921)

A partir de la década de los sesenta la construcción con balas de paja se extiende numérica y geográficamente. Se ejecutan tanto en modalidad de autoconstrucción como por empresas especializadas. Posteriormente se desarrollan diferentes variables como el sistema híbrido de marco ligero como se observa en la figura 4. Con estas combinaciones se aprovechan las principales ventajas de ambos sistemas: súper-aislamiento térmico y acústico, resolver estructuras para edificios de mayores dimensiones. El resultado es enormemente efectivo, a continuación se analizan las causas.



Fig. 4: Edificación híbrida, marco ligero, dos plantas mediano. Herefordshire 2001.
Fuente: Barbara Jones Amazonails (2007)

La madera es uno de los recursos naturales más antiguos que utiliza el hombre desde tiempos remotos. A lo largo de los tiempos las propiedades de este noble material no han cambiado y aún conservan secretos que la ciencia intenta desvelar. Con un avance continuo del desarrollo tecnológico y de la investigación científica, la madera es aprovechada íntegramente. La aplicación de madera para construcción de estructuras se debe fundamentalmente a sus altas resistencias mecánicas en relación con su peso.



Fig. 5: Ejemplo de estructura entramada de madera.

Fuente: LANIK



Fig. 6: Ejemplo de autoconstrucción, fase previa a cerramiento de balas de paja.

Fuente Silvia Cenzano.

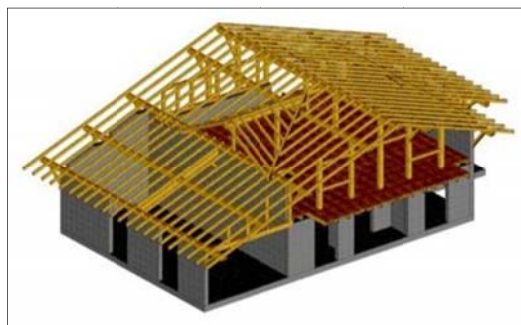


Fig 7: Ejemplo de entramado de madera combinado con muros de carga.

Fuente: AITIM

2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Se estudian diversas publicaciones, fundamentalmente las referidas en el apartado bibliografía. Se estudian varios proyectos de ejecución de edificios con este sistema híbrido, algunas obras en ejecución y se visitan algunos edificios terminados. Se asiste a varias conferencias y jornadas de puertas abiertas de talleres.

3. SOSTENIBILIDAD DE LOS ENTRAMADOS DE MADERA

La madera puede ser reutilizada y reciclada. Su producción y eliminación no contaminan. Sus características la convierten en el mejor material para una gran cantidad de usos en la construcción. Cuando la madera procede de un bosque bien gestionado y lleva un certificado forestal exigente como el FSC, la madera es sin duda el material más ecológico frente a otros cuyos procesos de fabricación y eliminación consume mucha energía y contaminan, como el cemento y el acero.

Utilizando madera se pueden conservar los bosques y proteger el medio ambiente. Cuando se gestionan los bosques de manera responsable: se promueve la mejora de los hábitat valiosos para especies de flora y fauna, se respetan los derechos indígenas y sus tierras y se mantienen los servicios que los bosques aportan: agua, aire limpio, paisaje, recreo, etcétera. Una parte importante del consumo de la madera en Europa procede de la deforestación. La construcción con madera procedente de la deforestación se puede evitar prescribiendo en los proyectos: maderas de origen controlado. Además es importante elegir correctamente el tipo de madera y limitar la distancia al lugar de producción. ¿Cómo se acredita ese origen controlado? Mediante los correspondientes certificados, como la certificación forestal FSC (Forest Stewardship Council).

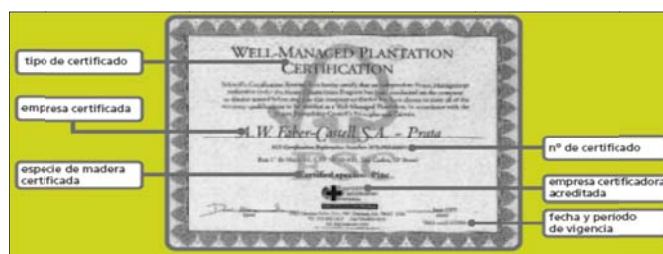


Fig. 8. Ejemplo de certificado de origen controlado.

Fuente: <http://www.fsc-info.org>

4. PRODUCTOS EMPLEADOS

Los productos contemplados por el Código Técnico de la Edificación para uso estructural en carpintería de armar son los siguientes: madera maciza, madera laminada encolada (MLE) madera microlaminada, tablero estructural y elementos de unión. Los más utilizados en edificación actualmente en nuestro país son la madera maciza y la MLE.

4.1. Madera maciza

Incluye tanto la madera aserrada como la madera de rollizo siendo aquélla más empleada que ésta. Existe una gran variedad de especies de la madera, de diferentes procedencias, clasificaciones y calidades. Por este motivo el CTE-DB-SE-M (anexo C) recurre al sistema de clases resistentes, para evitar una excesiva complejidad en la combinación de especies y calidades, reuniendo en un número limitado de grupos en forma conjunta especies y calidades con propiedades similares.

		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistencia (característica) en N/mm²													
- Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
- Tracción perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
- Cortante	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
Rigidez, en kN/mm²													
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	12	12	13	14	15	16
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil	$E_{0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{0,perp,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
- Módulo transversal medio	G_{medio}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad, en kg/m³													
- Densidad característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
- Densidad media	ρ_{medio}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Tabla 1: Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente para madera aserrada, especies de coníferas y chopo.

Fuente: Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural, familia Maderas

Propiedades		D30	D35	D40	D50	D60	D70
Resistencia (característica), en N/mm²							
- Flexión	$f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
- Tracción perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
- Compresión perpendicular.	$f_{c,90,k}$	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
- Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Rigidez, kN/mm²							
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	10	10	11	14	17	20
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil	$E_{0,k}$	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{0,perp,medio}$	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
- Módulo transversal medio	G_{medio}	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Densidad, kg/m³							
- Densidad característica	ρ_k	530	560	590	650	700	900
- Densidad media	ρ_{medio}	640	670	700	780	840	1080

Tabla 2: Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente para madera aserrada, especies frondosas.

Fuente: Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural, familia Maderas

4.2. Madera laminada encolada (MLE)

Son elementos estructurales formados por láminas de madera, encoladas en varias capas superpuestas hasta conseguir la altura (canto mecánico) en cada sección transversal del elemento proyectado. Puede ser combinada u homogénea. En el primer caso la sección transversal está constituida por láminas de diferente clase resistente, de tal forma que las láminas extremas son de clase superior a las internas. En el caso de las homogéneas todas las láminas serán de la misma clase resistente.

Propiedades	Clase resistente			
	GL24h	GL28h	GL32h	GL36h
Resistencia (característica), en N/mm²				
- Flexión $f_{m,2k}$	24	28	32	36
- Tracción paralela $f_{t,2k}$	16,5	19,5	22,5	26
- Tracción perpendicular $f_{t,2k,perp}$	0,4	0,45	0,5	0,6
- Compresión paralela $f_{c,2k}$	24	26,5	29	31
- Compresión perpendicular $f_{c,2k,perp}$	2,7	3,0	3,3	3,6
- Cortante $f_{v,2k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Rigidez, en kN/mm²				
- Módulo de elasticidad paralelo medio $E_{0,2,medio}$	11,6	12,6	13,7	14,7
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil $E_{0,2k}$	9,4	10,2	11,1	11,9
- Módulo de elasticidad perpendicular medio $E_{0,2,medio,perp}$	0,39	0,42	0,46	0,49
- Módulo transversal medio $G_{0,2,medio}$	0,72	0,78	0,85	0,91
Densidad, en kg/m³				
- Densidad característica ρ_{2k}	380	410	430	450

Tabla 3: Valores de las propiedades asociadas a Clase Resistente para MLE homogénea.

Fuente: Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural, familia Maderas

Propiedades	Clase resistente			
	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
Resistencia (característica), en N/mm²				
- Flexión $f_{m,2k}$	24	28	32	36
- Tracción paralela $f_{t,2k}$	14	16,5	19,5	22,5
- Tracción perpendicular $f_{t,2k,perp}$	0,35	0,4	0,45	0,5
- Compresión paralela $f_{c,2k}$	21	24	26,5	29
- Compresión perpendicular $f_{c,2k,perp}$	2,4	2,7	3,0	3,3
- Cortante $f_{v,2k}$	2,2	2,7	3,2	3,8
Rigidez, en kN/mm²				
- Módulo de elasticidad paralelo medio $E_{0,2,medio}$	11,6	12,6	13,7	14,7
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil $E_{0,2k}$	9,4	10,2	11,1	11,9
- Módulo de elasticidad perpendicular medio $E_{0,2,medio,perp}$	0,32	0,39	0,42	0,46
- Módulo transversal medio $G_{0,2,medio}$	0,59	0,72	0,78	0,85
Densidad, en kg/m³				
- Densidad característica ρ_{2k}	350	380	410	430

Tabla 4: Valores de las propiedades asociadas a Clase Resistente para MLE combinada.

Fuente: Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural, familia Maderas

Con este método se consiguen mayores secciones y mayores longitudes que con la madera aserrada, por tanto es muy utilizado para estructuras con grandes luces: polideportivos, centros comerciales, etc.



Fig. 9: Ejemplo de estructura de MLE.

Fuente: AITIM

4.3. Elementos de unión

Según sean estos elementos las uniones se clasifican en: uniones tradicionales, uniones con elementos mecánicos de fijación y uniones con colas y adhesivos.

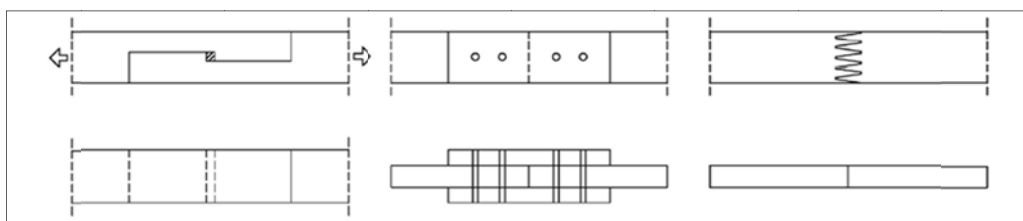


Fig. 10: Ejemplos de uniones: carpintera, mecánica y encolada

Fuente: Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural, familia Maderas.

Los elementos de unión para los nudos antiguos tienen la función de mantener la posición de las piezas. Los elementos de unión para los nudos modernos tienen la función de mantener la transmitir los esfuerzos.

Los elementos mecánicos de fijación según CTE se clasifican en: elementos de tipo clavija y conectores: de anillo, de placa y dentados. Los conectores reparten las cargas más uniformemente.

Existe gran variedad de conectores: anillos, placas, parrillas, etcétera. Los anillos partidos precisan preparación de las piezas (ranuras) Los anillos dentados no precisan preparación de las piezas. Se emplean para construcciones ligeras. Las placas dentadas no precisan preparar las piezas, pueden presentar dientes en una o las dos caras.

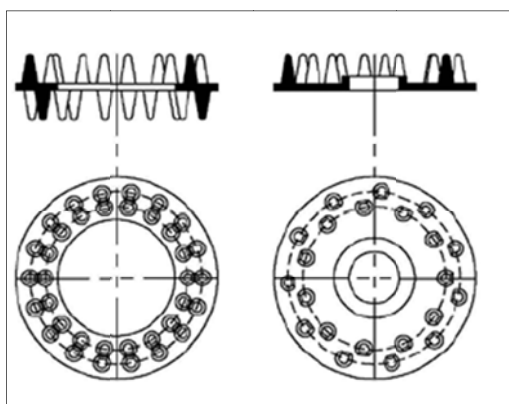


Fig. 11: Conectores de dientes cónicos

Fuente: Diseño u Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera. F. Arriaga Martitegui.

5. TIPOS DE UNIONES EN ESTRUCTURAS DE MADERA

Una vez definido el material de la estructura y dimensionados los elementos se decide la forma de unir las piezas. Las uniones se clasifican según la posición de sus piezas en ensambles, empalmes y acoplamientos. Los principales condicionantes que deben cumplir son:

- Equilibrio mecánico, para conseguirlo se deben situar las piezas de manera que los todos ejes de los centros de gravedad de sus secciones concurren en un solo punto.
- Las uniones deben ser fáciles de ejecutar, seguras y económicas.
- No debe limitarse la contracción y dilatación de las piezas.

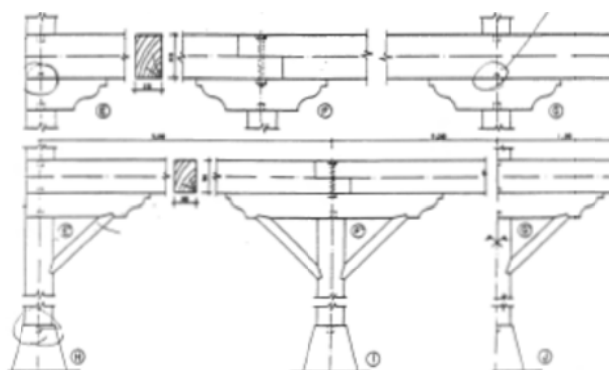


Fig. 12. Ejemplo de pódico resuelto mediante uniones antiguas

Fuente: Ejercicios resueltos de Construcción de Estructuras J:M: del Río.

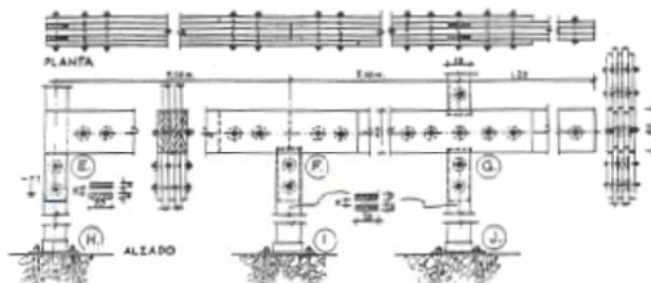


Fig. 13: Ejemplo de pórtico resuelto mediante uniones modernas.

Fuente: Ejercicios resueltos de Construcción de Estructuras J:M: del Río.

6. PROTECCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE MADERA FRENTE A AGENTES BIÓTICOS Y METEOROLÓGICOS

Los elementos estructurales de madera deben estar protegidos de acuerdo con la clase de riesgo biológico a la que pertenecen. Las clases de riesgo se refieren a la probabilidad que tiene el elemento estructural de ser atacado por agentes bióticos, lo cual es función principalmente del grado de humedad que pueda adquirir la pieza de madera. Las clases de riesgo varían de uno a cinco por orden de menor a mayor riesgo.

Los protectores de la madera: para mayor resistencia al ataque biótico y en algunos casos también frente a agentes atmosféricos. Los protectores de la madera se clasifican en grupos: protectores hidrosolubles, protectores hidrodispersables, protectores en disolvente orgánico y protectores orgánicos naturales.

Los tipos de protección exigidos en función de la clase de riesgo son:

- Clase de riesgo 1: protección: ninguna (conveniente: p. superficial)
- Clase de riesgo 2: protección superficial (conveniente: p. media)
- Clase de riesgo 3: protección media (conveniente: p profunda)
- Clase de riesgo 4 y 5: protección profunda.

En las obras de rehabilitación estructural en las que se hubieran detectado ataques previos por xilófagos, se aplicará como mínimo:

- a los nuevos elementos: tratamiento superficial

- a los elementos existentes: P. media en clase de riesgo 1 y 2, y P. profunda en clases de riesgo 3 y superiores.

La mejor protección de la madera es el diseño constructivo, se describen en el CTE las buenas prácticas de diseño constructivo para prolongar la durabilidad de las estructuras de macera.

7. PROTECCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE MADERA FRENTE AL CASO DE INCENDIO

Cuando la madera se encuentra expuesta a un incendio en fase de pleno desarrollo, presenta un comportamiento con características muy favorables. Inicialmente se produce una combustión rápida de la superficie de la madera y se origina una capa carbonizada. Debajo de esta capa existe otra en la que se produce la pirólisis de la madera y finalmente aparece la madera sin afectar por el fuego. La madera es un buen aislante térmico y la capa carbonizada resulta todavía más eficaz (6 veces más aislante). De esta forma el interior de la pieza se mantiene frío y con sus propiedades físico-mecánicas constantes. Calculando esa sección eficaz y añadiendo el espesor adicional necesario para esa pirolización se puede proteger la madera para el caso de incendio. Existen otros métodos como la “ignifugación” la cual puede realizarse en profundidad (inmersión o autoclave) o superficialmente (barnices, pinturas o sales).

COMPROBACIÓN ESTRUCTURAL DE VIGAS DE MADERA MACIZA Y LAMINADA SOMETIDAS A CARGA DE FUEGO		
Flexión simple y compuesta		
Obra:		
Tipo de pieza:		
Clase de madera:	C24	CONÍFERA
$f_{m,k}$ =	24.0 N/mm ²	Resistencia característica a flexión
$f_{v,k}$ =	4.0 N/mm ²	Resistencia característica a cortante
E_m =	11.0 kN/mm ²	Módulo elasticidad medio
ρ_m =	4.2 kN/m ³	Densidad media
Resist. al fuego:	R-30	
D_{ef} =	31.0 mm	
Caras expuestas:	Inferior y laterales	
Clase de servicio:	CS 1	Interior seco (Temp > 20°, Humedad < 65%)
Propiedades de la sección		
B =	16 cm	
H =	26 cm	
Área =	416.0 cm ²	
Peso =	0.17 kN/m	
I =	23.435 cm ⁴	Momento de inercia (de la sección completa)
W =	1.803 cm ³	Momento resistente (de la sección completa)

1 - PROFUNDIDAD DE CARBONIZACIÓN
2 - SECCIÓN EFICAZ

Tabla 5: Ejemplo de cálculo frente a incendio. Fuente: *Cálculo de estructuras: Vigas y Pilares de Madera Maciza y Laminada*, de Ángel M. Cea Suberviola – MaaB Arquitectura

8 CONCLUSIONES

A la vista de la documentación estudiada, de las conferencias recibidas y demás investigaciones se observa que la solución de muros de carga sigue empleándose ya que es perfectamente válida y más sencilla de proyectar y de ejecutar lo cual favorece la modalidad de autoconstrucción.

Por otra parte la solución híbrida de combinación con estructura de madera también tiene gran aceptación. En este sentido se aprecian diferentes causas:

- Es totalmente compatible con los niveles de sostenibilidad medioambiental y social que alcanzan las balas de paja.
- La ejecución de entramados ligeros mediante las denominadas uniones modernas es sencilla.
- Esta sencillez favorece la autoconstrucción.
- La misma sencillez lógicamente permite reducir costes en la modalidad de construcción especializada.
- Como consecuencia de esa sencillez se eleva el nivel de calidad en la ejecución.
- La estructura de madera ofrece más confianza a gran parte de los usuarios y técnicos.
- Facilita las posibles reparaciones o sustituciones de los muros de balas de paja.



Fig. 14: Sworders Salerooms 1100 m2. Stansted Mountfitchet 2007
Fuente: Barbara Jones Amazonails (2007)

9. BIBLIOGRAFÍA

- ARGÜELLES ÁLVAREZ, Ramón, Francisco ARRIAGA MARTITEGUI (2000): *Estructuras de madera, diseño y cálculo*, Madrid, AITIM
- ARREDONDO VERDÚ, Francisco (1980): *Estudio de materiales. Madera y corcho* (tomo 8), Madrid, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja-CSIC
- ARRIAGA MARTITEGUI, Francisco, Guillermo ÍÑIGUEZ GONZÁLEZ, Miguel ESTEBAN HERRERO, Ramón ARGÜELLES ÁLVAREZ y José Luis FERNÁNDEZ CABO (2011): *Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera* (documento de aplicación del CTE), Madrid, Sociedad Española de la Madera
- AVENDAÑO PAISÁN, Ramiro (1989): *Construcción I*, Madrid, Escuela Técnica Superior de Edificación
- Del RÍO ZULOAGA, Manuel (1991): *La construcción en las estructuras*, Madrid, COPYCOM
- HANONO, Miguel (2004): *Construcción en madera*, Buenos Aires, CIMA
- VV. AA. (2006): *Código Técnico de la Edificación*, Documento Básico de Seguridad Estructural, apartado “Maderas”, Navarra, Aranzadi