

EL TABLERO CONTRALAMINADO.
Actualidad de una alternativa para la media altura.



EL TABLERO CONTRALAMINADO.

Actualidad de una alternativa para la media altura.

Máster oficial universitario “Tecnología en la arquitectura”, línea de construcción y nuevas tecnologías. . Universidad Politécnica de Catalunya.

Trabajo final de máster.

Autor: Umberto Viotto.

Director Tesina: Jaume Avellaneda Diaz-Grande.

Barcelona, Septiembre 2013

AUTORIZACIÓN DE LECTURA Y DEFENSA DE TFM

Nombre del alumno: Umberto Viotto

Contacto del alumno: umberto@nugarch.com

Curso: 2012/2013

Director del TFM: Jaume Avellaneda Diaz Grande

Título del TFM: EL TABLERO CONTRALAMINADO:
Actualidad de una alternativa para la media altura.

El Director de este TFM considera que, a fecha de hoy, este TFM ya está preparado para su lectura y defensa.

Barcelona, 8 de Septiembre de 2013

Jaume Avellaneda Diaz Grande

AUTORITZACIÓ PER LA PUBLICACIÓ DEL TFM

Autor de TFM: Umberto Viotto

Contacto del autor: umberto@nugarch.com

Curso: 2012/2013

Director del TFM: Jaume Avellaneda Diaz Grande

Título del TFM: EL TABLERO CONTRALAMINADO:
Actualidad de una alternativa para la media altura.

Umberto Viotto, como autor del TFM, autoriza a la publicación del trabajo tanto en la Web del máster como en el depósito UPCommons.

Barcelona, 8 de Septiembre de 2013

Umberto Viotto

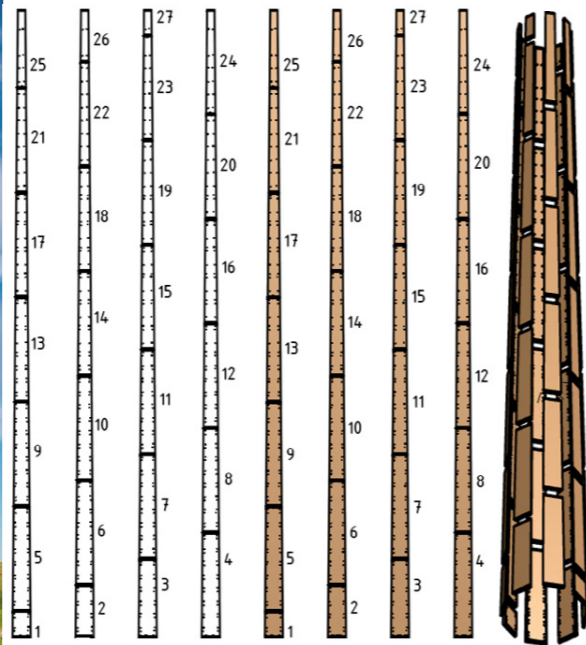
ÍNDICE

1. Objetivos.	11
2. Definición del producto.	19
2.1. Introducción. Nuevo sistema constructivo.	21
2.2. Como se produce.	41
3. Situación de la Industria.	65
4. Requerimientos Básicos	91
4.1. Propiedades Estructurales.	92
4.2. Comportamiento a Sismo.	106
4.3. Sistema de Fijación (Uniones)	132
4.4. Comportamiento a Fuego.	176
4.5. Rendimiento Acústico.	192
4.6. Participación en la Envoltente Térmica.	212
5. Coste del sistema. (Tiempo/Euros).	222
6. Conclusiones.	237
7. Referencias.	251

1. OBJETIVOS.



“Lend Lease, empresa inmobiliaria australiana, ha desarrollado lo que ellos llaman “el edificio de viviendas de madera más alto del mundo”, en el puerto de Victoria, en Melbourne, Australia...
 ...El edificio Forté Apartments se compone de 10 pisos, con 23 departamentos residenciales...
 Forté es el primer edificio de departamentos de gran altura en Australia que se construye usando madera laminada CLT...” (2013)



Timber Tower. Molino de viento en TCL, con alturas de 100 a 150m en lugar de los 50 o 75 usuales.

OBJETIVOS.

Este trabajo nace de la necesidad de profundizar y agrupar toda una serie de información sobre un “novedoso” sistema constructivo. Un sistema constructivo que a mi manera de ver puede llegar a ser una **alternativa real** a los métodos constructivos actuales o tradicionales.

La construcción a partir de Tablero Contralaminado implica la utilización de un sistema prefabricado suficientemente abierto para permitir que sea un producto no encorsetado y con un cierto grado de libertad en todos los sentidos.

Es un sistema que aun a día de hoy funciona mediante “patentes” y la información independiente casi no existe. La información que encontramos es sobretodo de las empresas que lo producen y venden y de algunos centros de investigación y desarrollo relacionados con la industria maderera. Se puede decir que no hay información libre y que el producto ha ido legalizándose a partir de certificaciones ETA (European Technical Approval) u otros certificados más locales. Es un producto estructural que no se contempla dentro de las normativas (Eurocódigo 5) por lo cual el esfuerzo de la industria es conseguir el reconocimiento del producto por parte de las entidades de control.

Es un sistema que ha demostrado de forma empírica, que es una realidad y que funciona, se han realizado todo tipo de construcciones desde unifamiliares a pabellones o bloques de hasta 10 plantas de altura e incluso ahora se está exportando el sistema a otras edificaciones como los molinos de viento, por ser una alternativa a los problemas que provocan el acero, tanto en la producción como en el momento del transporte y montaje.



Murray Grove. 29 apartamentos - 30 m altura - 9 plantas
Producido por KLH, arquitectos: Waugh y Anthony Thistleton.



Almacén de logística de Salinen Austria. 2.420 m² - 25m altura - 13 plantas,
producido por MM Kaufmann Holz, arquitectos: Dr. Shebl and Partners.

Es una realidad que en Europa cuesta que haga el salto a la media altura, posiblemente por razones más culturales que racionales y que lo demuestra lo noticable que ha llegado a ser la construcción de un bloque en Inglaterra con Tablero Contraminado,

“El Edificio de Madera, Más Alto del Mundo.

La estructura diseñada por los arquitectos Andrew Waugh y Anthony Thistleton, de 30 metros de altura y ciento por ciento reciclable, es un estupendo ejemplo de las posibilidades que ofrece la madera laminada para el diseño y la construcción; con este material se pueden concebir proyectos exigentes, económicamente competitivos y en muy poco tiempo.”

o de un almacén en Austria con 13 alturas.

“Un almacén para sal de 13 alturas.

El productor de sal Salinen Austria ha reorganizado así su logística de mercancías. por medio de un almacén en altura realizado completamente con madera, tanto laminada como con tablero contralaminado....

....Corazón de madera

Se diseñó y construyó este almacén con pórticos de 25 m de altura, Hasta ahora se había utilizado el acero pero había experiencias negativas: la sal ataca al acero a pesar de las cuatro capas de pintura de protección que llevan, provocando corrosiones continuas. Por eso se acudió a la madera....”

La necesidad de profundizar nace desde el inicio de un viaje que empezó en septiembre de 2010 con el comienzo del master “Tecnología en la Arquitectura” que de forma involuntaria durante los semestres me fueron introduciendo, paulatinamente en el mundo de la madera y de la prefabricación, llegando al TCL.

El primer contacto se da en la asignatura de “Visión actual de los materiales de construcción” con la profesora Lucía Fernández Carrasco, donde empecé escogiendo la madera como trabajo de curso, después, con las asignaturas impartidas por Jaume Avellaneda, “Técnicas y Sistemas de construcción Industrializada. Ampliación” o con la asignatura de “Arquitectura extrema” acabé sucumbiendo en el mundo del Contralaminado.

Pero a la vez, desde asignaturas como la de “Gestión y valoración Económica” de J.Bernat y M.Seguí, entendí como era de fundamental la industrialización y a la vez la prefabricación de los sistemas dentro del proceso constructivo y como el Contralaminado pertenecía a este nuevo mundo de construcción de “alta gestión” o desde la asignatura de “Sostenibilidad” de los profesores J. Avellaneda, J.M^a. González y K. Mrkonjic, comprendí la necesidad de trabajar con sistemas prefabricados de ciclos de vida cerrados.

A sido un viaje que desde cualquier asignatura (proyectos con F.J.Ramos, construcción interior con J.L.Zamora , coordinación con I. Paricio) me han ido empujando a los brazos del Sistema Estructural de Tablero Contralaminado y creo sinceramente que este trabajo es un resumen de estos años de estudio bajo la excusa de los SETCL (Sistema Estructural de Tablero Contralaminado).

Tengo que decir que el nombre de “Tablero Contralaminado” lo he adoptado por ser como lo denomina “Aitim” (Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera) pero podría ser “Panel” o como dice Gerd Grohe, en un artículo publicado en el Tectónica 13 y traducido por Mónica Pérez Groh, “Placa de Madera Alistonada Contraplacada” que es más explícito a pesar que no se usarían listones para producirlo.

En el mundo anglosajón lo denominan **CLT** como acrónimo de **Cross Laminated Timber** por lo que me he tomado la libertad de llamarlo **TCL** o **SETCL**, para no olvidar que estamos hablando siempre de un **Sistema**.

Aun ahora no está muy claro cual podría ser su nombre o si acaba como las marcas lo han patentado, BBS, Leno, MIBSP, etc... pero lo que si está claro es que, si acaba siendo una **alternativa real** a los métodos actuales habrá que “bautizarlo” y regularizarlo para que sea un sistema aceptado como nuevo, innovador sistema constructivo.



Incluso la casa de piedra era en realidad de estructura de madera.

2. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO.

2.1. INTRODUCCIÓN AL TCL.



Plantación



Transporte de troncos en el río Negro (Brasil). Consumo controlado.

NUEVO SISTEMA CONSTRUCTIVO.

La necesidad de innovación y de nuevas tecnologías a partir de iniciativas privadas en la búsqueda de dar salida e incentivar el consumo de la madera como materia prima en la construcción, provocó, sobre los años 90, que la industria maderera de la zona de Austria se uniera con distintos centros tecnológicos para desarrollar un nuevo producto que respondiera a las necesidades de los promotores.

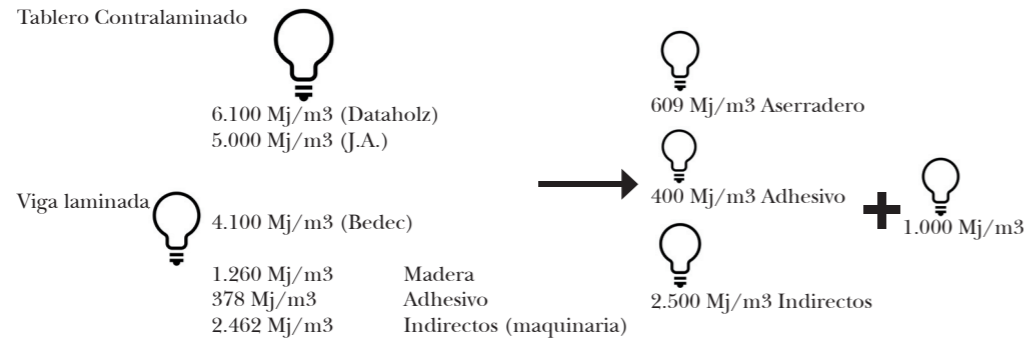
Los promotores de esta iniciativa (hay que pensar que fue la industria maderera de la zona de Austria y sur de Alemania) a partir de años de silvicultura han llegado a tener una fructífera industria de cultivo de madera. La silvicultura como ciencia que se ocupa del cuidado de bosques y montes y de las técnicas a aplicar a las masa forestales para obtener de ellas una producción continua y sostenible, provoca que la Madera se pueda considerar la principal **materia prima que se auto-regenera** y que es por tanto **inagotable dentro de un escenario de consumo controlado**.

En Austria encontramos la asociación Austriaca de Industrias de la madera (Fachverband der Holzindustrie Österreichs) que unidos formaron ProHolz que su objetivo es dar a conocer las ventajas de la madera en Austria y más allá de sus fronteras, mediante marketing, publicidad e información sobre el tema. La industria con sus posibilidades y potencial se unieron en la década de los 90 a centros de investigación como la universidad de Graz, Graz University of Technology, con su Institute of Timber Engineering and Wood Technology y desarrollaron lo que hoy en día llamamos **Tablero Contralaminado (TCL)**, **Cross Laminated Timber (CLT)**, **X-Lam**, **Panneaux de Bois Massif** o **Brettspertholz (BSP)**.

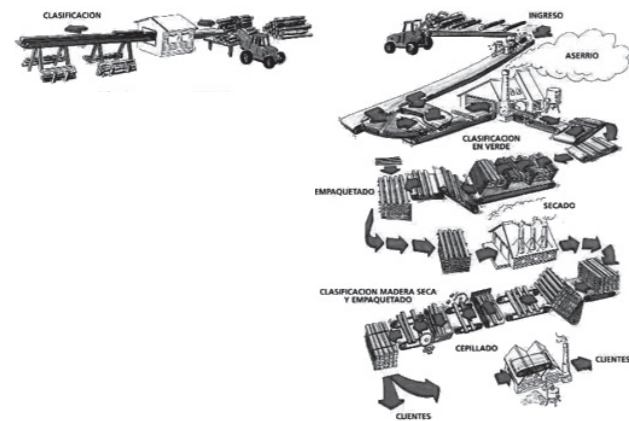
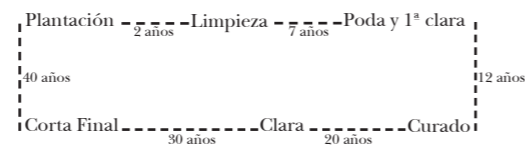
Lo que consiguieron fue un producto que a pesar de ser una gran innovación en el mundo de la construcción a la vez era perfecto para las aspiraciones de la industria maderera en como colocar su producción. Lo que propusieron era lo mismo que la técnica para los contrachapados llevarlo a la escala estructural para la edificación y generar tableros de gran formato estructurales, dando como resultado **Estructuras Superficiales**.

Analizando el producto final, vemos como encaja con los intereses de la industria/promotor en distintos puntos:

1. Baja energía para producirlo. (6.160 Mj/m³ (datos de www.dataholz.com))
2. De madera de conifera
3. Elaborado a partir de tablas
4. Elaborado de madera estructural incluyendo de segunda
5. Gran volumen de madera en el producto final.
6. Sistema competitivo.



Ciclo de silvicultura, Pino radiata



Vs



1. Baja energía para producirlo. (6.160 MJ/m³ (datos de www.dataholz.com))

Es un producto que se fabrica a partir de madera de aserradero sin más y el consumo energético hasta la planta manufacturadora es muy bajo, del orden 609 MJ/m³ (1.30 MJ/Kg) (Madera aserrada de conífera), después para la producción del tablero implica un gasto de 1.260 MJ/m³ (si lo asemejamos a la producción de estructuras laminadas (Bedec)) y si le restamos la parte de las colas ronda unos 1.000 MJ/m³.

2. De madera de conifera

Madera conifera refleja su condición de recurso renovable a partir de cultivo de especies de rápido crecimiento. La madera de cultivo, la madera auto-regenerable debe ser de crecimiento rápido (30 años), también llamadas maderas blandas, son maderas ligeras (500 kg/m³).

3. Elaborado a partir de tablas

La materia prima para elaborar los tablero son las tablas estándar que suministran los aserraderos una vez secadas, sin más, incluso sin cepillar porque el cepillado se realizaría a posteriori, esto hace que el producto base del sistema exista en el mercado.

4. Elaborado de madera estructural incluyendo de segunda

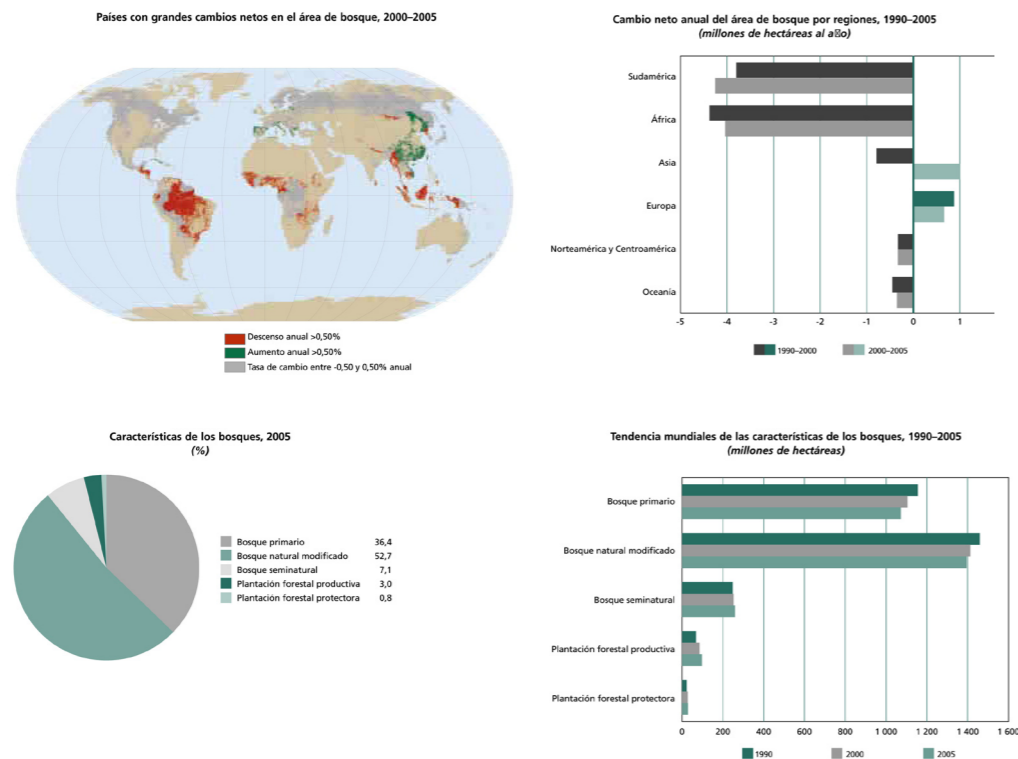
Es un producto que permite todo tipo de madera que sea para uso estructural (En España fijado por la norma UNE) porque su condición estructural vendrá conformado a posteriori. Esto permite una fácil selección y gran aprovechamiento de la explotación forestal. **Revalorización de la madera.** Además de mejorar sus cualidades de resistencia y rigidez, permite aumentar el valor añadido que esta misma madera aportaría en otros productos tradicionales.

5. Gran volumen de madera en el producto final.

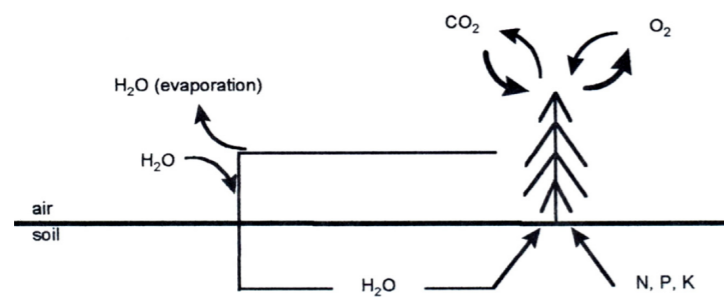
Los paneles son de madera maciza y a pesar de ser un tablero conformado el 99,4% es madera y el 0,6% son colas (datos de Binderholz BBS). Se puede decir que la industria promotora ya tiene el 99,4% de la materia.

6. Sistema competitivo.

La innovación del sistema justamente es que es competitivo con el hormigón y el acero en lo que son la mayoría de construcciones de mediana altura (8/10 plantas).



Datos de FAO sobre los bosques en el mundo



Esquema del intercambio de un árbol con su entorno

A pesar de las razones con una visión más **económica** hay que pensar también que esta nueva tecnología lleva consigo valores de gran importancia por el hecho de ser de madera y ser un sistema prefabricado.

El hecho de generar un interés por la madera nos lleva a un interés por las masa forestales y su gestión, la gestión de los montes.

Datos de la FAO, nos indican que la tendencia es que los únicos bosques que crecen en el mundo son los bosques secundarios o artificiales, es decir, los bosques con plantación productiva (Estudio FAO: Montes 147, Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005, Hacia la ordenación forestal sostenible, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Rome, 2006) y sólo se da este crecimiento en Europa y en la parte este de Asia. Es decir, solo habrá un cuidado de los bosques si hay un interés por lo que produce.

De este **interés** se recogerán **producción directa** (madera en tablas, etc...) y **producción indirecta**, que es lo que aporta valor en términos de sostenibilidad que se debería sumar al producto final.

De **forma indirecta** se genera un cuidado por la biodiversidad de los bosques, se favorece a la regulación del ciclo hidrológico y un factor muy importante que sería la **fijación de carbono**.

El árbol a través de la fotosíntesis absorbe CO₂ atmosférico y lo transforma en materia orgánica.

El bosque actúa como sumidero de CO₂.

1 Tn de madera genera / 1.07 Tn de O₂ y absorbe 1.47 Tn de CO₂.

Finalmente, lo que la industria maderera y los centros tecnológicos de Austria desarrollaron fue, un sistema estructural prefabricado a partir de elementos planos o superficiales que seguía con una línea de criterios de sostenibilidad que la misma industria siempre había alardeado y a la vez cubría con creces sus necesidades de dar salida y fortalecer su producto.

Viendo la investigación titulada “Estudio del impacto ambiental de la madera como material de construcción de viviendas plurifamiliares de varias plantas” realizada por Humberto Arreaza Rubín, está claro que el sistema TCL tiene un impacto mucho menor que los sistemas tradicionales tanto en peso, emisiones como en energía incorporada.



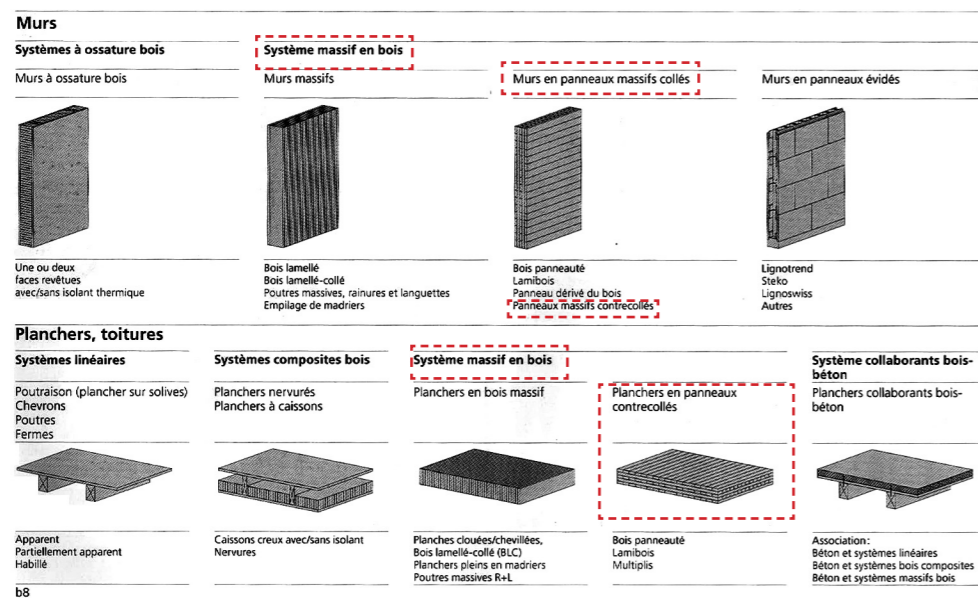
Situación de las principales productoras, variación de producción

Desde la década de los noventa su uso ha ido creciendo como sistema prefabricado, sobretodo en construcciones residenciales. Este crecimiento viene dado por su facilidad de puesta en obra, como también por su alto grado de prefabricación, especialmente en mediana altura como son entre 5 y 8 plantas, a la vez por su **comportamiento a nivel térmico**, su buen **aislamiento acústico** y su **comportamiento ante el fuego**. Estas han sido razones para su aceptación.

Datos del Cross Laminated Timber Symposium realizado en Vancouver, Canada, 8 th February 2011, en la presentación realizada por Dr.techn. Gerhard Schickhofer del Institute for Timber Engineering and Wood Technology de Graz, nos decía que la previsión de la producción en Europa de TCL era que se duplicara o triplicara para el 2015 pasando a 600.000m³ o 1.000.000m³, expandiéndose a EUA y Canadá y a la vez a Australia apoyado por su gran **comportamiento a sismo**.

El crecimiento de producción en los principales países productores son:

Alemania (datos de las 6 principales productoras de TCL)			
2010:	~87.500 m³	2011/12:	~153.000 m³ (>)
Suiza (datos de las 2 principales productoras de TCL)			
2010:	~18.000 m³	2011/12:	~21.000 m³ (<)
Republica Checa (datos del principal productor de TCL)			
2010:	~12.000 m³	2011/12:	~14.000 m³ (>)
Austria (datos de los 5 principales productores de TCL)			
2010:	~214.000 m³	2011/12:	~364.000 m³ (<)
Italia (datos del principal productor de TCL)			
2010:	~7.000 m³	2011/12:	~8.000 m³ (>)



Sistemas en madera ("Bois, système constructifs" de Josef Kolb)

Para clasificar el sistema de Contralaminado vemos como en el libro "Bois, système constructifs" de Josef Kolb, vendría clasificado como no lineal, es decir **superficial**, y dentro de los sistemas superficiales del grupo de los **macizos** y no de los paneles compuestos.

Dentro de los sistemas de tableros superficiales macizos, la colocación de las tablas genera su particularidad, no son laminados ni yuxtapuestos sino son **Tableros Contralaminados**.



pro:Holz

¿QUE ES EL TCL?

Para AITIM (ES) es :

*“**Tablero estructural** formado por al menos 3 capas de tablas de **madera de coníferas** encoladas generalmente sólo en sus caras, y en algunas ocasiones también por sus cantos, de forma que las tablas de **capas sucesivas sean perpendiculares entre sí**, excepto en casos particulares con capas dobladas. Todas las tablas que componen cada capa del tablero deben estar clasificadas estructuralmente.*

En español se denominan con las siglas TCL, tableros contralaminados, en inglés “Cross Laminated Timber, CLT o X Lam, en francés Panneaux de Bois Massif y en alemán como Brettsperrholz (BSP).

Los tableros contralaminados se diferencian de los tableros de madera maciza de tipo alistonado o tricapa (SWP, solid wood panels) por sus dimensiones muy superiores, tanto en espesor como en longitud, lo que implica técnicas de fabricación diferentes, y unas prestaciones estructurales diferentes....”

Para Pro-Holz (A) es :

“Producto superficial - Tableros Contra laminados

*Son primos de las vigas laminadas pero desarrollados en **formato plano** en lugar del lineal. Son en sí mismos tableros macizos, pero con tales dimensiones que hay que encastrarlo en una escala diferente. Si bien todos los tableros que hemos visto hasta el momento tienen que trabajar en conjunción con elementos lineales para formar estructuras rígidas, estos tableros pueden **funcionar a modo de losas** debido a su variedad de espesores que pueden ir desde los 7 u 8 centímetros hasta los 50 centímetros. Existen diferentes formatos pero todos ellos pueden ser utilizados como losa para suelos, muros de carga, techos, etc. Se presenta en una gran variedad de formatos y calidades según el fabricante. El tamaño de las piezas varía desde los 2,5 metros por 18, hasta el tamaño deseado. Su estabilidad geométrica es destacable, pero lo más importante es la **rapidez de montaje** que permite este producto.”*

*“El material de partida para la fabricación de los tableros contralaminados (tcl) lo constituyen tablas de madera **sin cepillar**, obtenidas mediante el aserrado del tronco, aprovechando las zonas próximas a los costeros dando lugar a una madera de baja calidad o “**de segunda**“, según la industria del aserrado.*

*El aprovechamiento de esta madera de segunda para la fabricación de tableros contralaminados, además de mejorar sus cualidades de resistencia y rigidez, permite **aumentar el valor añadido** que esta misma madera aportaría en otros productos tradicionales.*

*La anchura de las tablas para los tableros contrachapados oscilan normalmente entre 80 y 240 mm, el espesor entre 10 y 35 mm. La relación entre la anchura y el espesor de las tablas debe ser superior o igual a 4. En la actualidad se trabaja con las especies de coníferas picea, pino, alerce y abeto, seguidas de frondosas como el **fresno y el haya**.*

*La estructura típica de un TCL se realiza mediante capas de tablas o tableros de una sola capa cuya dirección de la fibra forma un ángulo de 90° con la capa siguiente. En algunos casos también es posible orientar las capas de tablas formando un **ángulo de 45°**. ”*



Para KLH Massivholz GmbH (A) es :

*“Placa de madera maciza de tamaño grande de **planchas encoladas cruzadas**.*

*Los tableros contralaminados (KLH) están compuestos por capas de tablas de **madera de coníferas** cruzadas que se **encolan bajo presión** para convertirse en elementos de madera maciza de gran formato. Otras descripciones del producto para tableros contralaminados son “paneles de madera maciza de KLH”, “madera contrachapeada en tablas”, “X-Lam”, “CLT” (cross laminated timber) o “Dickholz” (madera gruesa), por ejemplo.*

*Gracias a la disposición cruzada de las láminas longitudinales y transversales, **el alabeo y la contracción de la madera en la superficie del tablero se reducen a un mínimo insignificante y aumentan considerablemente la resistencia estática**, así como la rigidez.*

Para descartar la presencia de parásitos, hongos e insectos, siguiendo la homologación técnica europea, se emplea madera seca con una humedad de la madera del 12% (+/- 2%) para la producción de paneles de madera maciza de KLH. Todas las láminas de madera son sometidas a un control de calidad antes de ser utilizadas.”

Para Metsä Wood (Finnforest Merk GmbH) (EU) es :

“Leno-Cross laminated timber panel:

*Tableros de **abeto** con técnica de secado en fábricas modernas y **pegadas entre sí transversalmente** con un **mínimo de tres capas**. El núcleo de madera es completamente resistente a la torsión, de larga duración y debido al alto grado de secado, que también es resistente a los ataques de plagas y hongos.*

*Es una garantía de un clima excelente interior, **difusión de la humedad y excelentes propiedades de aislamiento**.*

*Como es posible lograr un excelente aislamiento térmico y valores de almacenamiento, incluso con paredes delgadas, es posible obtener hasta un **15% adicional de espacio útil** en comparación con las construcciones convencionales sólidas con un área de construcción idéntica.”*

Para Binder Holzbausysteme GmbH (A) es :

MADERA CONTRALAMILADA BBS de binderholz

*BBS (binderholz-bausysteme) es multicapa, de estructura maciza, fabricada **completamente en madera**. El encolado de capas longitudinales y transversales **reduce el “alabeo” de la madera a un nivel inapreciable**.*

*Esta característica satisface todos los requisitos de los modernos materiales de construcción. BBS es un elemento prefabricado de madera maciza que aísla el calor y al mismo tiempo es capaz de soportar elevadas cargas. con **buenas propiedades de resistencia al fuego e insonorización**.*

*Que permite un **rápido montaje en seco** y posee efectos positivos sobre el bienestar de las personas.*

99,4 % de madera y 0,6 % de cola, esto es BBS, un material de construcción monolítico. o sea, un pedazo de madera. Esto permite simplificar la planificación y construcción. cualquier detalle puede resolverse sin complicaciones. las características físicas deseadas de la construcción son fáciles de conseguir en la práctica y sencillos de verificar. Muchos proyectistas coinciden en señalar que ésta es una de las mayores ventajas del sistema de construcción BBS. Se acabaron las estructuras compuestas. Se acabaron las láminas de material sintético. Sin detalles complicados. la planificación resulta tan sencilla como la construcción y la supervisión del edificio no presenta ninguna dificultad.”



Para Kaufmann Holz (A) es:

*“El panel MI BSP crossplan es un elemento de madera macizo, con **función estática y a la vez de división de los espacios**. Gracias a sus dimensiones flexibles i a sus excelentes propiedades físicas, este panel es apto para cualquier exigencia constructiva.*

*La **estructura a lamas cruzadas** realizados con materiales de elevada calidad y encoladas de modo permanente garantiza una absoluta estabilidad dimensional y una excelente rigidez.*

*La particular estabilidad estática y las notables propiedades de sostenibilidad del panel MI BSP crossplan son garantía de certificaciones nacionales e internacionales. El panel MI BSP crossplan es un **panel de madera macizo multicapa de gran formato con los estratos entrecruzados.**”*

Para Stora Enso Timber OYLTD (FIN) es:

“CLT - Elementos de madera maciza: Elementos de madera maciza CLT de Stora Enso para construir y realizar proyectos con la fuerza de la innovación: gracias a los materiales de gran calidad, sus numerosas posibilidades de aplicación, una fabricación respetuosa con el medio ambiente y un procesamiento realmente sencillo. Así es como se llevan a cabo proyectos de construcción que cumplen con las más elevadas exigencias.

*Los elementos CLT están fabricados de **paneles monocapa encolados en cruz**. Este sistema aporta ventajas desde el punto de vista constructivo y asegura la conexión sin problemas de los sistemas de unión.*

En la estructura a partir paneles monocapa prefabricados todas las juntas están perfectamente adheridas, alcanzándose así mejores propiedades de hermeticidad al aire, transmisión térmica y difusión de vapor.

*Los elementos se unen **con adhesivos ecológicos y sin formaldehído**.*

*La **estabilidad dimensional** de los elementos CLT está asegurada por las láminas longitudinales y transversales entrecruzadas. Esta disposición reduce al mínimo la dilatación y contracción de la madera.*

*El material CLT se emplea principalmente para las paredes, techos (forjados) y como elementos de la cubierta. En función del fin previsto, los elementos CLT pueden montarse a la vista o cubiertos. **Todos se suministran con un acabado lijado.***

*Nuestras unidades de gran formato (con unas dimensiones máximas de 2,95 x 16 m) permiten un **montaje rápido** y menos ensambladuras entre elementos. Los componentes se preparan en planta individualmente para el montaje y luego se despachan del modo más idóneo para su ubicación inmediata.”*

Para Haas Fertigbau GmbH (GER) es:

*“Panel de **gran formato de madera maciza** de varias capas, capas en cruz para estructura.*

*De las viviendas unifamiliares a edificios de varios pisos comerciales, de una cochera simple a compleja ingenierías - CLT ofrece opciones ilimitadas para la construcción en madera. Hoy en día, Timbory CLT se utiliza en aplicaciones de paredes y suelos, así como para construcciones de techo. **El alto grado de compatibilidad con otros sistemas** de construcción es una de las principales ventajas que ofrece CLT Timbory.*

Conocido como “Cross Laminated Timber”(CLT), el producto está hecho de pre-fabricados de una sola capa.

*Las capas longitudinales y transversales están dispuestas en sentido transversal, y pegadas con formaldehído libre de pegamento, lo que garantiza una alta estabilidad dimensional y **estanqueidad al aire** (ya con 3 capas). La hinchazón y la contracción se reducen también a mínimos. Y por último, el producto ofrecer altas propiedades estáticas a los diseñadores y arquitectos y nuevas posibilidades en sus diseños.”*



Para Egoín (Es) es:

*“Paneles formados por tablas de madera encoladas por capas y cruzadas entre las mismas, siempre en número impar. Se forman planchadas de tablas del espesor que corresponda, **juntadas con presión lateral sin cola**. Se extiende una lámina de cola en toda la superficie de la madera, se vuelve a colocar una segunda planchada en sentido transversal (90º respecto a la precedente), se vuelve a extender una nueva lámina de cola y se vuelve a colocar una nueva capa de madera. Una vez colocadas todas las capas de madera se procede al prensado. El número de planchadas de madera es de tres, cinco o siete, pero pueden ampliarse hasta formar el panel completo del espesor definido en el proyecto.”*

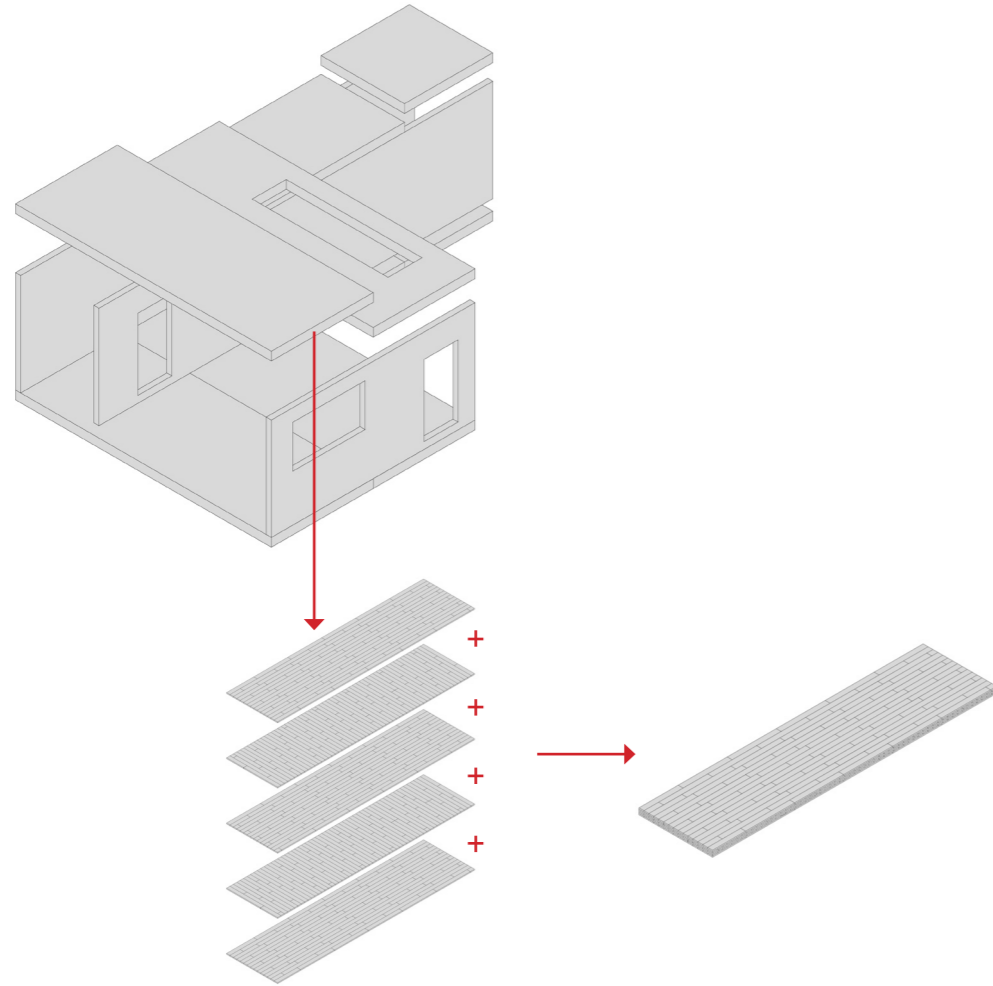
Para FPInnovations (Can) es:

*“Los tableros CLT se componen de **varias capas de placas apiladas transversalmente** (típicamente a 90 grados) y pegados juntos en su cara ancha y, a veces, en las caras estrechas. Una sección transversal de un elemento de CLT tiene al menos tres capas encoladas de tablas colocadas ortogonalmente alternando la orientación de las capas vecinas. En una configuración especial, **capas consecutivas puede ser colocado en la misma dirección**, dando una capa doble (por ejemplo, capas dobles longitudinales en las caras exteriores y capas adicionales dobles en el núcleo del panel) para obtener las capacidades específicas estructurales. CLT son generalmente fabricados de tres a siete capas o aún más en algunos casos.”*

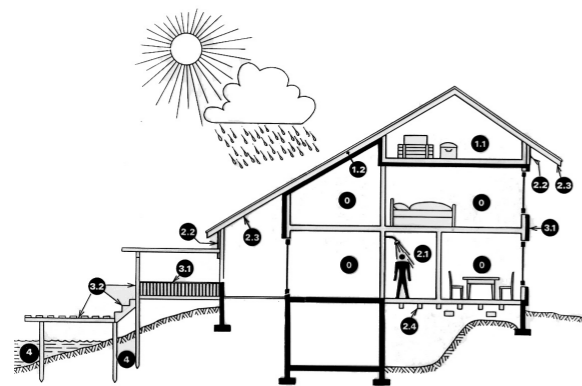
Para Sustainable Building Resources PTYLTD (Aut) es:

*“SBR elementos masivos de madera están hechos de placas de **gran formato de madera maciza**. Los componentes están hechos de paneles de **madera de abeto laminado cruzado**. Grande componentes sólidos de construcción de madera se pueden producir con dimensiones de hasta 4,80m x 20m con espesores de entre 50 y 300 mm. Los paneles de madera laminado cruzado se pegan con una unión adhesiva duradera asegurando que los componentes de construcción son dimensionalmente estables y resistentes a la deformación.*

*Las construcciones físicas muy sencillas, gran precisión en los **prefabricados**, listos para el montaje, kit de construcción de edificios enteros.”*



Sistemas prefabricado TCL



Esquema de Clases de Servicios

DEFINICIÓN.

Es decir SETCL es, un sistema estructural prefabricado a partir de elementos superficiales compuestos de capas de tablas de madera conifera suministradas directas del aserradero sin cepillar que se disponen, una al lado de otra sin necesidad de ir encoladas pero sí alternando la dirección de las vetas de su testa, hasta formar una gran placa o capa y que se dispondrá encolada sobre otra capa de forma ortogonal, cruzando la dirección de las fibras a 90° o 45°.

Con un mínimo de 3 capas se van encolando en cruz entre ellas con el fin de conseguir un elemento estructural de gran formato monolítico (4 x 20 mts) de madera macizo.

Sistema prefabricado altamente compatible con otros sistemas y de gran sencillez en los elementos que lo componen, de recurso renovable y que el aprovechamiento de esta madera incluso de “segunda” además de mejorar sus cualidades de resistencia y rigidez, permite aumentar el valor añadido que esta misma madera aportaría en otros productos.

La configuración del tablero mayoritariamente es a partir de un número impar de capas de tablas por lo que el conjunto siempre trabajará mejor en una de sus direcciones y siempre será la dirección de las fibras de las capas exteriores. A pesar de este mejor comportamiento en uno de los sentidos no quita que justamente la diferencia del contralaminado al laminado, es su característica de poder trabajar como una losa, en los dos sentidos.

Se puede entender que hay capas que trabajan para los esfuerzos directos por las cargas y otras capas que trabajan como traba del conjunto que une y consolidan y a la vez minimiza los movimientos internos de la madera. Esto hace que los espesores de las capas puedan ser distintos según los requerimientos estructurales que se tengan.

Brad Wang, Ciprian Pirvu y Conroy Lum en el Cross Laminated Timber Symposium realizado en Vancouver, comentan la posibilidad que las capas no consideradas para trabajar estructuralmente pueden ser de otro material como OSB, generando tableros híbridos.

Las capas compuestas por tablas pueden tener un espesor de entre 10mm hasta 50mm y el conjunto de las capas puede ir de 70mm hasta 500mm, las dimensiones del tablero van entre anchos de 60cm, 1,20m o 3m incluso hasta 5 metros y de largo hasta 18 o 20 metros (SBR) y gruesos máximos hasta 80 cm., todo esto dependiendo sobretodo del transporte.

Debe tenerse en cuenta, que el uso de TCL está limitado a las clases de servicio 1 (ambiente interior) y 2 (exterior bajo cubierta), por lo que no se autoriza su uso en la clase de servicio 3 (ambiente exterior)

2.2. **COMO SE PRODUCE.**

COMO SE PRODUCE UN TABLERO CONTRALAMINADO (TCL)?

Para la producción de un Tablero Contralaminado hay que ir pasando por una serie de pasos, cada uno de ellos fundamentales y que a la vez nos explican o definen como es este producto:

1. Plantación y gestión de los cultivos de árboles (silvicultura)
2. Corte de rollizos y tablas (aserradero) y secado.
3. Selección de tablas.
4. Colocación o disposición de las tablas.
5. Lijado del conjunto de las tablas para igualar espesores.
6. Aplicación del adhesivo
7. Colocación de la siguiente capa de tablas con la dirección de fibras ortogonal a la anterior
8. Presión
9. Corte del tablero
10. Marcado y empaquetado.

Este producto que fue impulsado por la industria maderera (manipuladores de madera) y la industria forestal no tendría sentido que estuviera desvinculado de ambas industrias para la producción de un producto masivo en madera. Los volúmenes de madera son grandes y los costes de transporte son elevados (datos de la FAO nos señala que uno de los costes más elevado de las explotaciones madereras viene por el transporte) por lo que las fábricas manipuladoras deberían localizarse cerca de los cultivos.

Los bosques o cultivos siempre son de coníferas pero cada industrial se nutre del tipo de árbol que hay mas cerca, por lo cual cada una te ofrece ciertas diferencias según donde se encuentren.

Por ejemplo,

KLH produce los Tableros CLT con Píceas (pino, abeto, pino cembro y otros tipos de madera a petición).

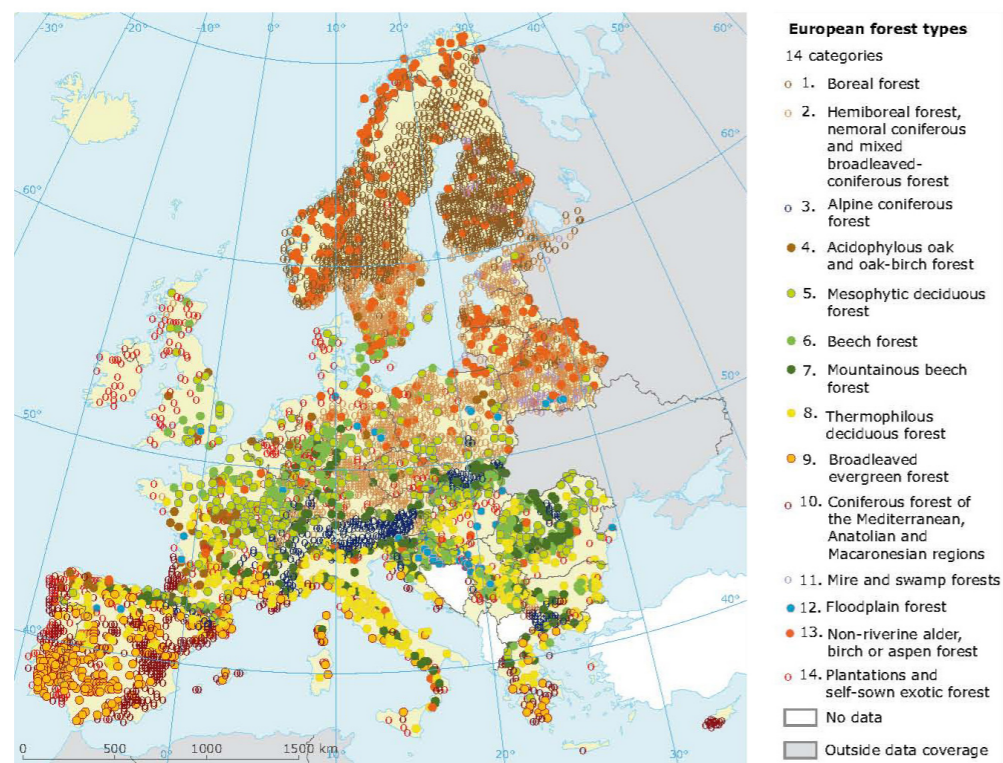
Stora Enso con abeto (pino o alerce previa petición).

Binderholz (BBS) abeto rojo, alerce, abeto blanco, abeto de Douglas y pino cembro.

Metsa Wood (Finnforest) con abeto.

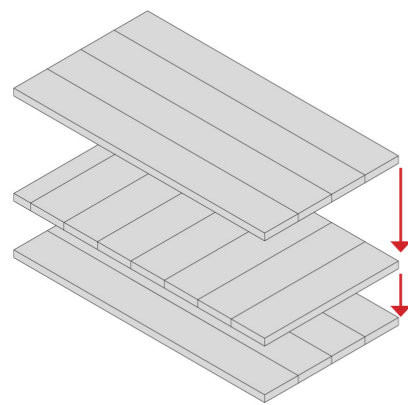
MM Kaufmann con abeto rojo. (*Picea abies*) “*da boschi austriaci; altri tipi di legno su richiesta*”

Egoin con pino insignis, abeto rojo, abeto Douglas, alerce europeo



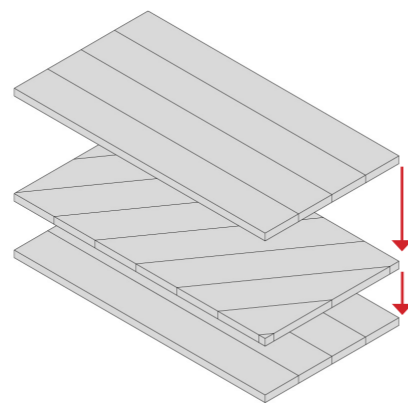
Situación de los bosques en Europa.

EEA Report No 3/2008 (European Environment Agency)

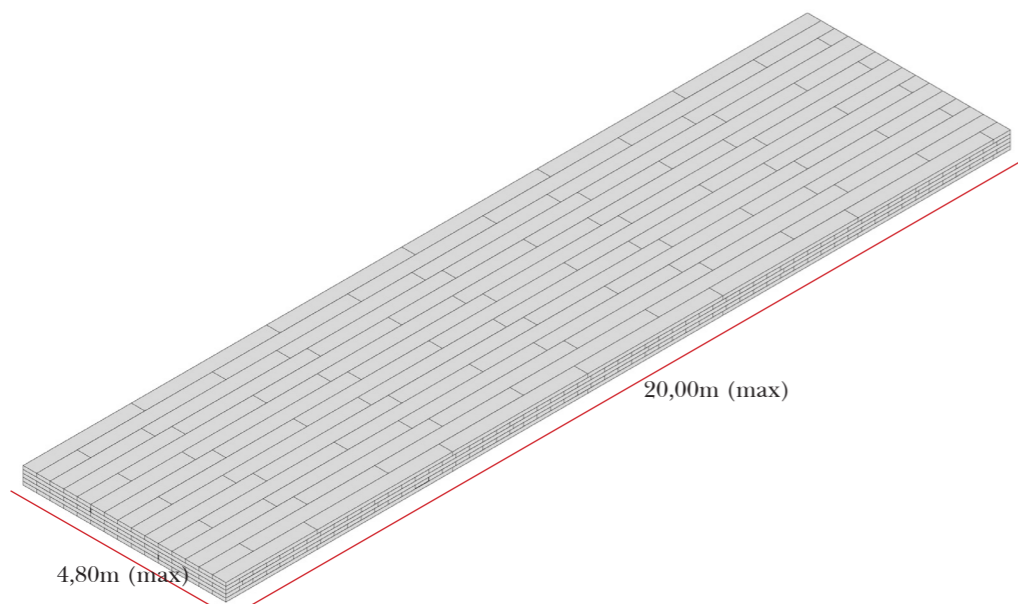


superposición a 90°

Tipologías de configuraciones



superposición a 45°



Dimensiones máximas que existen en el mercado (Australia)

ProHolz nos hablan en un prontuario publicado agosto 2009 que también se usan frondosas como el fresno y el haya pero la realidad es que los industriales hablan de coníferas. A pesar de la teoría de la necesidad de tener la industria manipuladora cerca de los centros de extracción, la realidad es que vemos que bajo pedido, las empresas suministran los tableros de madera de cualquier punto de Europa.

Para la producción de los tableros se define la sección de estos a partir de las solicitaciones estructurales y según sea para muro o forjado, a partir de 3 o mas capas de diferentes medidas entre ellas, cruzadas 90° (o 45° en algunos casos según Proholz).

Esta disposición genera una gran estabilidad dimensional provocando mínimas deformaciones del conjunto y a la vez genera, que el tablero trabaje en los dos sentidos de carga como si fuese una losa.

Los espesores que vendrán definidos por su requerimiento estructural serán de dimensiones de tablas que suministran los mercados, como 19, 25, 38, 50mm.

Normalmente los tableros se componen simétricos por su razón estructural pero se pueden encontrar asimétricos respondiendo a otros requerimientos, encontrando que las capas exteriores se han colocado para responder a exigencias de acabado o para cálculo de fuego, y si esto sucede en una de las caras, genera que sean asimétricos.

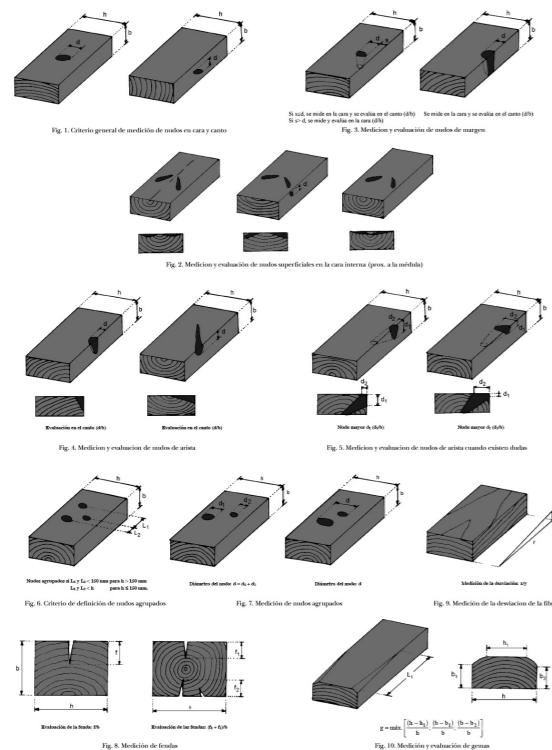
Todas las empresas hablan del acabado y si se entregan lijadas o no, incluso diferenciando tipos de tablero, según acabado, como hace KLH que dispone de tres acabados: el NSI, ISI, WSI. Esto se consigue con la selección de las tablas que se van a disponer el “out-layer” o con la adición de una capa más de acabado sin que ésta entre dentro del cálculo estructural, dejando la posibilidad de encargar tableros de acabados vistos o no (porque después se trasdosarán).

Metsa Wood en el catalogo de mayo 2011, (Finnforest) ofrecía 5 tipos de acabados, el standard llamado “Industrial quality” y dentro de “SPECIAL SURFACE” Industrial visible surface, Solid wood panel, Kerto Finesline Premium, Oak veneer.

Los dos últimos acabados (Kerto Finesline Premium, Oak veneer) se consiguen con la adición de una capa como un chapado cualquiera.

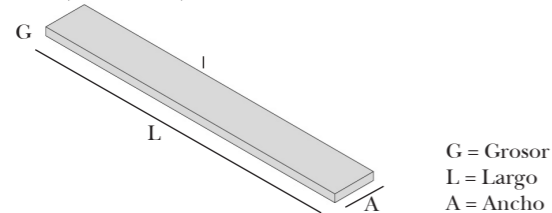
Los largos y anchos de los tableros vienen determinados por la prensa que tenga cada industrial, que ronda los 18 metros de largo. Stora Enso ofrece 16m pero SBR de Australia habla de 20m con anchos de 4,80m de SBR, 2,95 de Stora Enso o KLH que ofrece los anchos estándar de 2,4, 2,5, 2,72, o 2,95 m.

A pesar de las dimensiones y tipos de maderas, lo que compone todo TCL son las tablas y las colas. Para su realización, el como se aplican las colas y con que presión se aplica sobre el tablero es tanto o más importante.



Criterios de valoración visual UNE 56544.

ESCUADRÍA	GROSOR (mm)	ANCHO (mm)
LISTÓN	10 – 40	10 – 40
TABLILLA	10 – 30	50 – 90
TABLA	20 – 40	100 – 200
TABLÓN	50 – 100	100 – 300
VIGA (construcción)	150 – 400	150 – 400



G = Grosor
L = Largo
A = Ancho

ESCUADRÍA	GROSOR (mm)	ANCHO (mm)
LISTÓN	10 – 20 – 30 – 40	10 – 20 – 30 – 40
TABLILLA	10 – 15 – 20 – 25 – 30	50 – 70 – 90
TABLA	20 – 30 – 40	100 – 120 – 150 – 180 – 200
TABLÓN	50 – 75 – 100	100 – 120 – 150 – 200 – 250 – 300
VIGA (para construcción)	150 – 200 – 250 – 300 – 350 – 400	150 – 200 – 250 – 300 – 350 – 400

Estandarización de medidas y clasificaciones de madera aserrada de coníferas

LA TABLA.

La tabla debe ser del tipo de madera definida como estructural en el Eurocódigo 5 pudiendo ser de segunda ME-2 según UNE 56544.

Las dimensiones son las estandarizadas por los aserraderos que encontramos definidas en el documento del Ministerio de Agricultura y Pesca y Confemadera “Estandarización de medidas y clasificaciones de madera aserrada de coníferas” donde vemos que lo que se usaría serían tanto tablas como tablones para la conformación de las capas.

“Al analizar las medidas más demandadas para los productos de los aserraderos, se ha observado que se pueden identificar cinco subgrupos según las dimensiones de su testa:

Pequeñas escuadrías: Listón y tablilla.

Escuadrías medias: Tabla.

Grandes escuadrías: Tablón.

Madera aserrada para construcción: Vigas.

A partir de los datos recogidos en el estudio, se han deducido las medidas más habituales para cada escuadría, que se reflejan en la Tabla 1.

A la vista de las dimensiones más empleadas, se puede proponer la relación de anchos y grosores estándar para los productos más comunes de madera aserrada que figuran en la Tabla 2.

....El largo de las piezas de madera aserrada para cualquier uso también es una es una dimensión muy variable, a la par que fácil de ajustar; tanto en el aserradero como en la industria de destino, con una simple sierra circular; por lo que no se proponen medidas estándar para esta dimensión. En cualquier caso, las medidas más recomendadas son las compatibles con las dimensiones de la caja del camión en el que se transportarán los paquetes de madera, para minimizar los gastos de transporte.” Extracto del documento de “Estandarización de medidas y clasificaciones de madera aserrada de coníferas” .

LAS COLAS.

Las colas son el producto donde se está avanzado más para mejorar el producto final en términos de sostenibilidad, son al final la razón de que un producto que es en su 99,4% reciclable no lo sea en su 100%, este 0,6% hace que el 100% no sea reciclable. El esfuerzo se centra en encontrar una cola que sea respetuoso con el entorno.

Existen Tableros Contralaminados como vemos en “Bois: Systèmes constructifs” que la ligazón entre capas se hace con pasadores “chevilles” o incluso con clavos, por eso en francés vemos la utilización de los términos Panneaux de bois massif contrecolle o, panneaux a lames croisées chevilles, los dos son contralaminados, pero, uno es contra-pegado y el otro remachado.

Los dos serían buenos trabajando para muros pero para forjados seguramente habría problemas, donde se usó, como forjado sin colas, fue de madera maciza pero no contralaminada sino yuxtapuesta y en vez de encolarla el arquitecto Joseph Bunyecs las clavó.

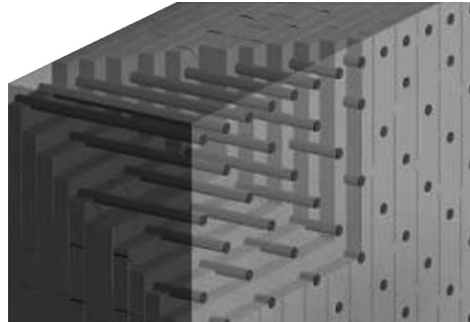
Las colas mejoran su comportamiento en todas las circunstancias y sobretodo en su **productividad** y por esta razón (la productividad) se prefiere el uso de colas “cold-jet”.

Finalmente la elección de la cola específica vendrá marcada por razones visuales en la línea de unión de las capas.

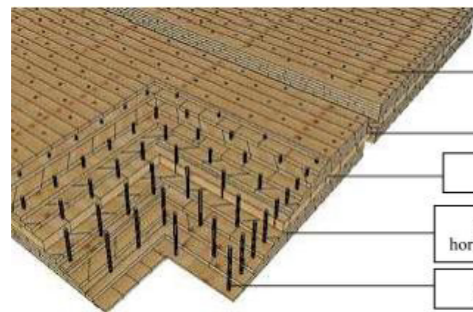
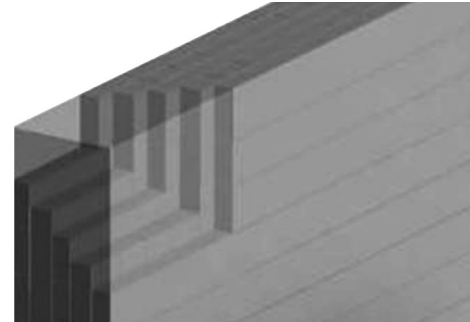
Según Aitim, se pueden utilizar adhesivos estructurales certificados de los siguientes tipos:

- fenólicos y aminoplásticos. (PRF)
- poliuretanos de un componente. (PUR)
- emulsiones de polímeros de isocianato. (EPI)

El PRF es una cola común para las maderas laminadas, EPI se usa para madera de vigas laminadas y PUR es la que de forma común se usa en Europa para producir TCL. Las colas de fenólicos PRF son de color oscuro igual que las EPI y los PUR son blancas. Las PUR son de un componente y reacciona con la humedad de la madera formando cierta espuma en le momento del encolado.



TCL remachada y encolado



Parements constitués de planches verticales

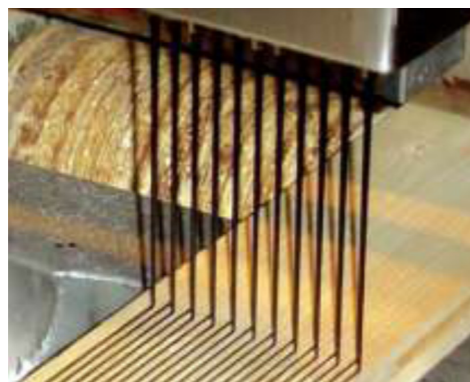
Assemblage bouveté (rainure – languette)

Cœur porteur (poteaux disposés dans le sens vertical)

Couches rigidifiantes composées de planches verticales, horizontales et diagonales

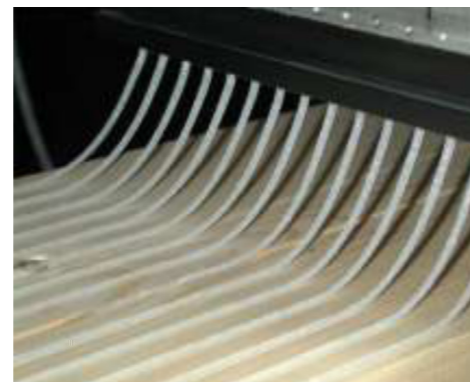
Chevilles en bois

Remaches de acero o de madera. Jean-François Ploteau



PRF, color oscuro

Color de las diferentes colas



PUR, color blanco

Item	Units	Adhesive		
		PRF*	EPI**	PUR***
Cured adhesive colour		Dark	Light	Light
Component		Liquid, two components	Liquid, two components	Liquid, single component (isocyanate pre-polymer)
Solids content	(%)	50	43	100
Wood moisture content (MC)	(%)	6 - 15%	6 - 15%	> 8% optimal 12%
Target application rate (single spread)	(g/m ²)	375 - 400 (75 - 80 lb/msf)	275 - 325 (55 - 65 lb/msf)	100 - 180 (20 - 35 lb/msf)
Assembly time	(min)	40	20	45
Pressing time	(min)	420 - 540	60	120
Applied pressure	(psi)	120	120	120 - 200
Cost ****	(\$/lb)	2.0	3.5	4.8

Características de las colas más usadas para los TCL (FPInnovations).

KLH usa como cola el PUR que no contiene solventes ni formaldehídos según DIN 68141 y su porcentaje es de 0,2 Kg/m² (Bayer).

Metsa Wood usa para su producto Leno, resina de melanina que como especifican es un producto orgánico. Melamine resin adhesives (MF/MUF).

Para la elección de las colas, a pesar del color, también hay otros parámetros que serían temas de producción, como es; **tiempo y duración del proceso**. Cada cola tiene unas necesidades de **presión, tiempo de presión y tiempo de secado**.

La empresa Purbond AG, con sede en Suiza, en un informe (propagandístico) titulado “Evaluación con respecto a la ecología y la salud” nos habla de las bondades de usar sus colas PUR tanto por la no emisión de formaldehídos ni de compuestos orgánicos volátiles (COV) lo que valida a las maderas encoladas con PUR a el reciclaje para su uso como partículas para conformar otro tipos de tableros de partículas o para combustión para la generación de energía.

Analizando la información entre coste, tiempos de secado, tiempo de prensado, color, emisiones, método de aplicación, presión necesaria, etc, sería lógico entender porqué en Europa la cola más usada son las PUR.

Adhesive system	Aesthetics (joints)	Formaldehyde emissions
	☹☹ = dark ☺ = clear	☹ = weak ☹☹ = sizable ☺ = none
Melamine resin adhesives	☺	☹☹
Phenol resorcinol adhesives	☹☹	☹
Polyurethane adhesives	☺	☺

Comparación de PURBON de los adhesivos para maderas

HUMEDAD(%)	ESTADO DE LA MADERA	MEDIO
>70	Madera empapada	Sumergida en agua
30-70	Madera verde	En pié o cortada en monte
30	Madera saturada	Atmosfera saturada
23-30	Madera semi-seca	Al serrar
18-22	Madera comercialmente seca	Al aire
13-17	Madera seca al aire	Bajo cubierta
<13	Madera muy seca	Secada en cámara
0	Madera anhidra	Secada en estufa

Denominaciones del contenido de humedad de la madera (UNE 56-540)

USO	PORCENTAJE%
Obras hidráulicas	30
Medios muy húmedos	25-30
Expuesta a la humedad (no cubiertas)	18-25
Obras cubiertas, pero abiertas	16-20
Obras cubiertas y cerradas	13-17
En local cerrado y calefactado	12-14
En local con calefacción continua	10-12

Contenido de humedad de la madera adecuado a cada situación (Guía de la madera- Aitim)



Comparación entre el sacado natural (izquierda) con el secado "artificial" (derecha)

LA SELECCIÓN DE TABLAS.

Una vez que la madera es del tipo estructural la selección de las tablas depende del producto que se quiere. En la industria se ofrecen dos o tres tipos de TCL, el puramente **estructural** y los con **acabado visto** con un grado de apariencia, dentro de estos últimos hay muchos tipos.

Esto genera una clasificación de las tablas por su apariencia y posteriormente se pasa al cepillado de éstas para regularizar los espesores, si se quiere acabado visto de las capas exteriores y no se quiere separaciones entre tablas también se cepillan los cantos para dejarla escuadría perfecta, es lo que se llama cepillado a 4 caras.

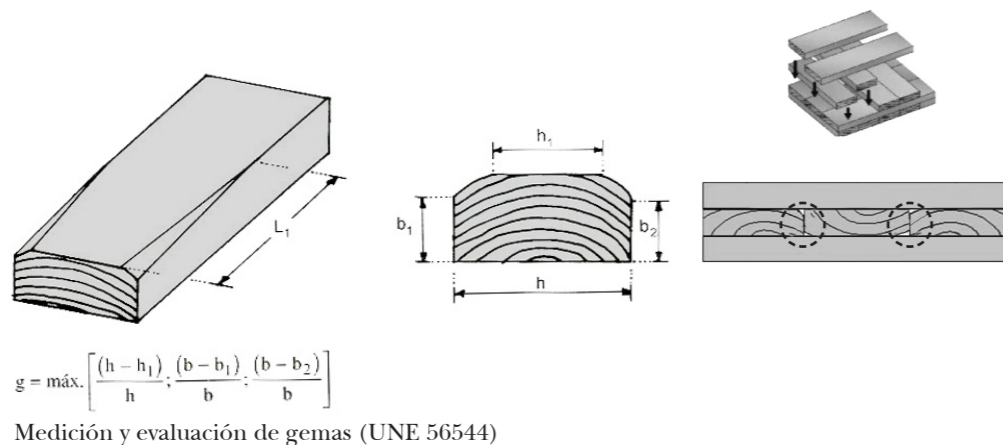
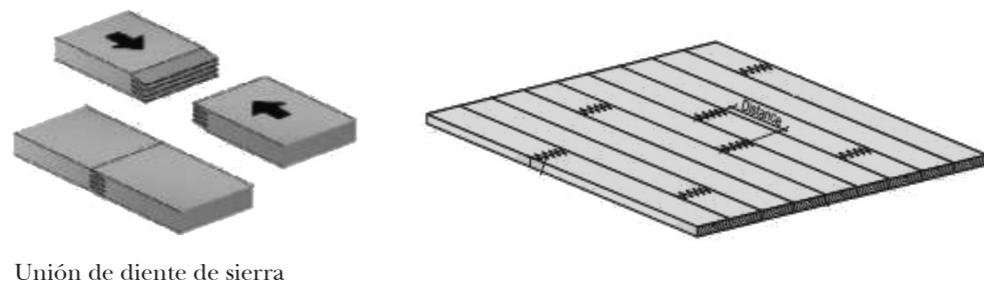
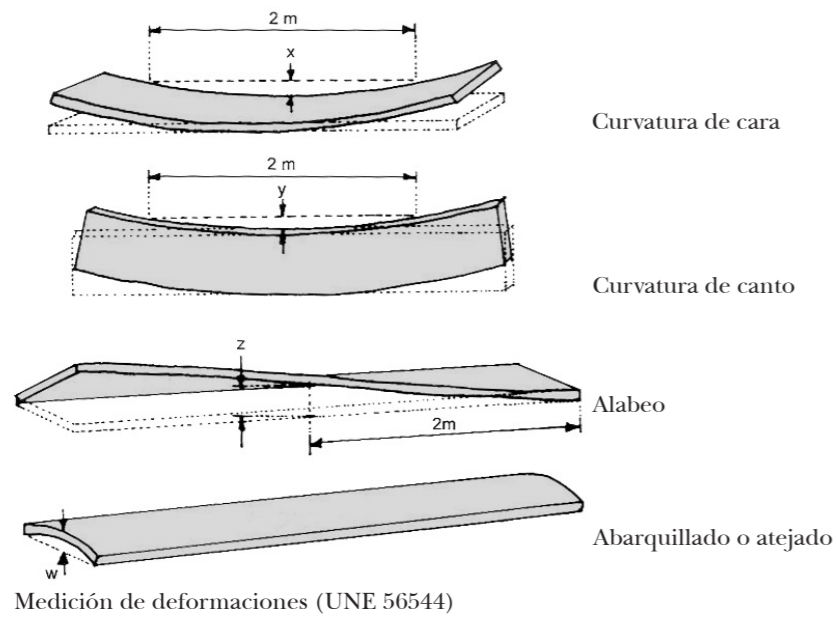
La madera recién cortada tiene un contenido de humedad alrededor del 50% y el 110%, reduciéndose a valores entre 16 y 18% a partir de secado al aire libre. Para conseguir contenidos de humedad inferiores a 16-18% hay que recurrir al secado artificial de las maderas. La norma UNE 56-540 define la madera según su contenido de humedad por lo que la madera usada para TCL se clasifica como **madera muy seca**, secada en cámara.

Stora Enso entrega los tableros a 12% \pm 2%, igual que KLH, MM Kaufmann, los austrianos SBR y Binderholz lo fija la 12% en cambio Egoim marca la entrega con humedad de entre el 10% y el 14%, o los de Metsa Wood que fija el 10% \pm 2% a la entrega.

Las tablas suministradas por los aserraderos pueden tener una humedad relativa superior, por las necesidades de las colas, al implicar la humedad en el proceso de encolado, se considera que la humedad para el encolado ronda 12%.

Se debe tener una misma humedad entre las tablas que conforman un conjunto para que así no hayan movimientos diferenciales por su cualidad de higroscopicidad de la madera, a la vez se deben colocar con la misma orientación de fibras y de la misma especie. Se recomienda que la diferencias entre tablas no exceda de 5 puntos porcentuales.

En la "Guía de la madera en la construcción", editado por Aitim, se recogen los valores medios de contenido de humedad de la madera para humedades relativas y temperaturas determinadas y nos dice que en locales cerrados y calefactados la humedad de equilibrio estaría entre 12-14% o en locales con calefacción continua ronda 10-12%. Lo que nos hace pensar que el producto vendido en la zona nórdica realmente se piensa para espacios que siempre estén calefactados.



La temperatura de la madera afecta a las colas, a la junta de unión y se debe seguir las recomendaciones de las empresas suministradores de los adhesivos. En general, se recomienda una temperatura ambiente en la zona del encolado no inferior a 15°.

A pesar de la temperatura y la humedad, hay otras causas que afectan a la junta de unión entre tablas.

- 1 La **presión**
- 2 La **deformación** de las tablas
- 3 La pérdida de **superficie de encolado**

Como ya hemos comentado antes, cada cola necesita de una presión y de un tiempo de presionado específico.

La deformación de las tablas como curvatura de la cara o canto, alabeo o abarquillamineto o atejamiento, afectan al encolado. Lo aconsejable para evitar grandes deformaciones y compensar movimientos internos es la de alternar las tablas, colocar las tablas con la dirección de los anillo alternados.

También para evitar las deformaciones exageradas se puede limitar la deformación limitando el largo de las tablas y uniéndolas con unión de diente de sierra. Limitando su largo conseguimos que los movimientos provocados por la esbeltez de la pieza se reduzcan.

Estas uniones a testa son de gran importancia y sobretodo la relación de distancia entre uniones en una misma cara, nunca haciendo que coincidan juntas las uniones sino poniéndolas a rompe-juntas.

También la existencia de gemas o al no cepillar los cantos, provoca que la superficie de encolado se pueda ver reducida, se recomienda que la superficie no sea inferior a un 80% de la superficie teórica de contacto. A pesar de que se permita a nivel estructural una pérdida de superficie de un 20%, a nivel visual no sería aceptable y lo que se hace es reordenar las tablas de las capas exteriores.

AGRUPACIÓN DE LAS TABLAS Y APLICACIÓN DE LAS COLAS.

Agrupación de las tablas.

Para generar las diferentes capas que se superpondrán de forma cruzada hay que ordenar las tablas que irán en las capas para la dirección principal y las secundarias. Sobretodo las tablas de las capas deben ser de las mismas características y propiedades. En las capas externas (out-lay), los requerimientos de apariencia, además generarán otra selección. Lo deseable sería, ya que hay una selección pormenorizada, detectar las tablas de alta calidad y colocarlas en las zonas donde se conoce que irán los puntos de unión o las zonas donde se conoce que va a haber mayores solicitaciones.

Hecha la selección de las tablas, se pasa al cepillado o aplanado de las capas, este lijado se hace para **reactivar** la superficie de la madera y así mejorar el encolado (PUR reacciona con la humedad de la madera). Para tener una mejor coordinación dimensional se debe hacer cepillado a 4 caras o en muchos casos solo la rectificación de la cara y el dorso es suficiente dentro de la tolerancia que se permita en los cantos porque estos normalmente no van encolados, el rectificadado suele ser de unos 2,5mm y 4mm del grueso.

Estas manipulaciones pueden alterar la humedad de las tablas en sus superficies de encolado por lo que se debe controlar y si fuera necesario rectificar.

Una vez organizadas las tablas para formar las capas se pasa al apilamiento de éstas.

Aplicación de las colas

Como ya se ha dicho, el adhesivo más común es el PUR y también el PRF, la proporción y el modo de aplicación de las colas viene muy relacionado con cual se escoge.

A pesar del tipo de colas, las caras de unión deben estar limpias (serrines) y libres de agentes repelentes como aceites, grasas que provocarían que bajara la calidad de la unión. El mismo cepillado es una buena limpieza.



Probeta para las pruebas y test de la UBC

PANELADO Y PRENSADO.

Para formar el tablero se adicionan las capas, una sobre otra, de forma ortogonal a las fibras de la anterior, consiguiendo que la superficie de contacto entre capa no sea menor del 80%, este valor podría variar según las demandas estructurales. Como ya se ha dicho, en un documento de ProHolz se comenta la posibilidad de cruzar las capas no a 90° sino a 45°, pero no se ha encontrado, en la práctica, ningún ejemplo que lo haga.

La unión de las capas y sobretudo el tiempo de unión, es un valor importante en el proceso de producción. Para la unión se pueden utilizar dos técnicas: El método por vaciado o el método por prensa hidráulica.

Por vaciado la presión que se ejerce una presión teórica que llegaría a 0,1 MPa, esta presión es tan baja que posiblemente no sería suficiente para corregir las deformaciones de las tablas o irregularidades y conseguir el contacto continuo de las caras.

La prensa hidráulica da más presión que por vaciado llegando a prensas verticales que pueden dar hasta 6 MPa.

El rango de presión necesaria para minimizar brechas o separaciones de capas ronda entre los 0,28MPa y 0,55MPa.

Esta tensión o presión sobre las capas, genera estrés interno de las tablas al ir perdiendo humedad y al sufrir tanta compactación, que se alivia haciendo unas hendiduras a lo largo de la tabla para permitir los movimientos.

A veces es necesario aplicar una presión lateral para asegurar que no hay separación de las tablas entre ellas dentro de una misma capa, el margen de separación entre ellas debe estar controlado.

Los tiempos de los procesos son importantes en lo que a la producción depende, tiempo de montaje + tiempo de prensado.

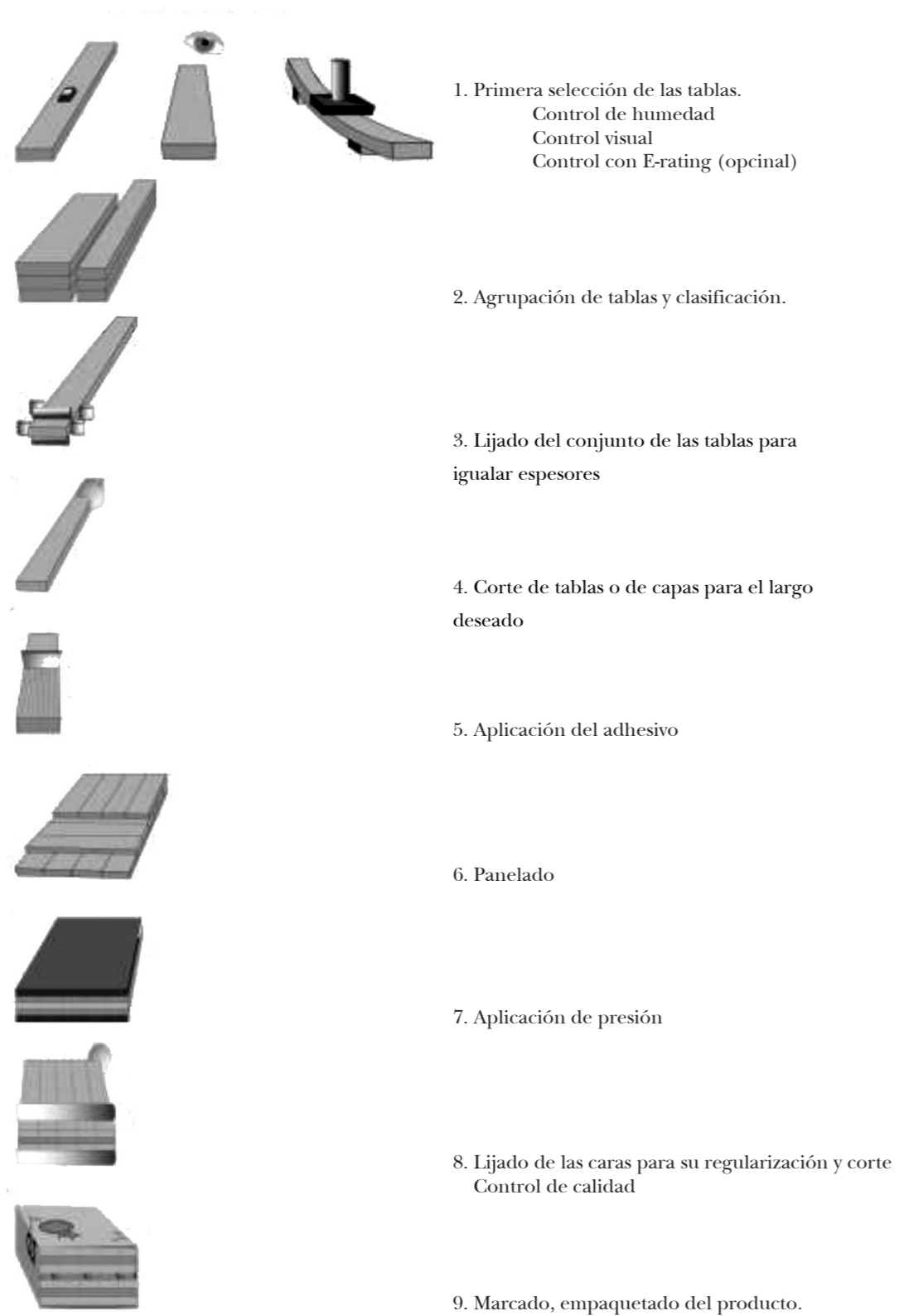
La temperatura durante el proceso de prensado debería no ser inferior a 15 ° porque hay colas que a temperaturas bajas tardan más en secarse.



Imágenes de fases de producción de KLH



Endaduras para aliviar las presiones internas



El control de calidad del tablero viene fijado por el control de forma automatizada de la humedad del tablón y de una comprobación visual del tablero, después se pasa al lijado donde se le da un acabado con una tolerancia de 1mm a una velocidad de 2m/min. y una vez lijado se pasa a hacer los cortes que el proyecto exige al tablero con maquinaria de control numérico.

Fases de producción de un TCL (FPInnovations)



La última fase sería el **marcado, empaquetado y transporte**, y no es menos importante, como se ha dicho, el tablero lo hemos definido como Sistema Estructural Prefabricado y la información, en el marcado del tablero, hará que el proceso hasta la colocación del tablero en obra sea óptimo.

La información que deberíamos encontrar sería: las características del tablero, la especie, grosores para conocer la capacidad, la clase de colas usadas, límite de humedad a la que puede estar expuesto, resistencia al calor de las colas, la dirección de cómo se plantea que trabaje estructuralmente y marcas dónde recibir los conectores.

Además, todo el proceso de colocación del tablero en obra, genera que se deban pensar bien los puntos de cuelgue de los tableros para las grúas. Los tableros deben estar protegidos para que siempre estén en condiciones de sequedad durante el transporte y almacenamiento o puesta en obra en el emplazamiento.



3. **SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA.**



La compañía Stora Enso Wood Products

LA INDUSTRIA.

El sistema prefabricado a partir de Tablero Contralaminado, como ya se ha dicho en capítulos anteriores, no hubiera sido posible sin la industria maderera. Es un producto que nace a partir de la industria y es un producto, que como casi todo sistema prefabricado, no se puede construir sin ir de la mano de ella.

Son ellas (las industrias) y sus departamentos técnicos los que, normalmente, redibujan todo el proyecto para adaptarlo a sus software y para ajustarlo al sistema de TCL.

La industria de TCL, que nació con fuerza en Europa, se está fijando más en otros mercados con más potencial, por su tradición, como son el norte de América o Australia, a pesar de que en Europa poco a poco va avanzando.

La industria europea se concentra, con mucha fuerza, en el centro de Europa aunque se va extendiendo y por su condición de subcontrata en las obras (o proyectos) es importante conocer donde están y qué ofrecen cada una porque finalmente son un consultor más dentro del proceso de elaboración del proyecto.

En un documento presentado por Tristan Wallwork, Associate Director de Buildings and Design de Ramboll en el Cross-Laminated Timber Symposium, Vancouver, Canada, habla de la existencia de aproximadamente de 12 industria en Europa con 6 de ellas bien diferenciada por su producción.

KLH	700,000m ²
Stora Enso	500,000m ²
Mayr Melnhof-Kaufmann	500,000m ²
Binderholz	400,000m ²
Merk Finnforest	200,000m ²
Schilliger	200,000m ²

Llegando a un total de unos 3.000.000m² de producción en Europa.

CLT DESIGN (overview)

Approx 12 no. CLT panel manufacturers (Europe)

6no. 'major' manufacturers:

KLH	700,000m ²	
Stora Enso	500,000m ²	
Mayr Melnhof-Kaufmann	500,000m ²	
Binderholz	400,000m ²	
Merk Finnforest	200,000m ²	
Schilliger	200,000m ²	

.....total combined output approx. **3,000,000m²**

Diapositiva presentada por Tristan Wallwork

En el mismo Simposium (febrero 2011), Gerhard Schickhofer en nombre de “Institute for Timber Engineering and Wood Technology, Graz University of Technology” (Lignum) da más datos de empresas europeas:

Austria:

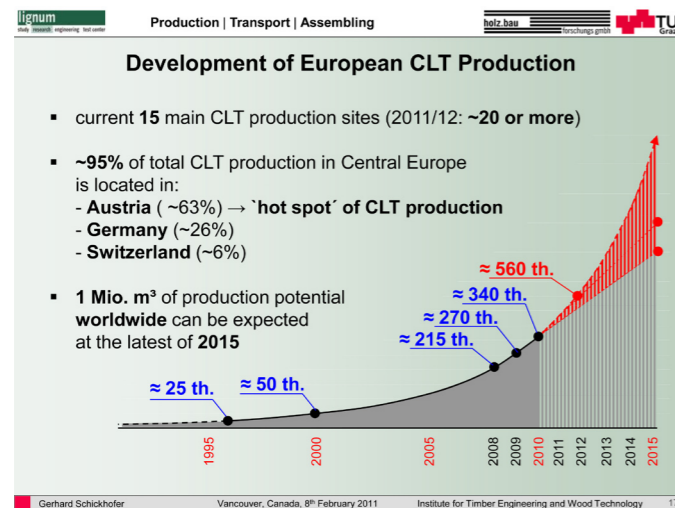
Stora Enso Timber II	2011/12:	~50.000 m ³
Mayr-Melnhof Kaufmann GmbH	2010:	~36.000 m ³
	2011/12:	~85.000 m ³ (I+II)
Binderholz Bausysteme GmbH	2010:	~60.000 m ³
	2011/12:	~85.000 m ³ (I+II)
KLH Massivholz GmbH	2010:	~63.000 m ³
	2011/12:	~76.000 m ³
Stora Enso Timber I	2010:	~40.000 m ³
	2011/12:	~50.000 m ³
Ing. E. Roth GmbH		
Holzbauwerke / WIGO-Haus	2010:	~15.000 m ³
	2011/12:	~18.000 m ³

Alemania:

Benken Wood Gardelegen GmbH	2011/12:	~40.000 m ³
Holzleimbau Derix W. u. J. Derix GmbH & Co.	2010:	~7.500 m ³
	2011/12:	~16.000 m ³
HMS Bausysteme GmbH	2010:	~15.000 m ³
	2011/12:	~17.000 m ³
Eugen Decker Holzindustrie KG	2010:	~10.000 m ³
	2011/12:	~15.000 m ³
Paul Stephan Holz GmbH + Co. KG	2010:	~6.000 m ³
	2011/12:	~7.000 m ³
LIGNOTREND Produktions GmbH	2010:	~25.000 m ³
	2011/12:	~30.000 m ³
Finnforest Merk GmbH	2010:	~24.000 m ³
	2011/12:	~28.000 m ³

Suiza:

Pius Schuler AG	2010:	~5.000 m ³
	2011/12:	~6.000 m ³
Schilliger Holz AG	2010:	~13.000 m ³
	2011/12:	~15.000 m ³



Diapositiva presentada por Gerhard Schickhofer



Stock y transporte de la producción

Republica Checa

Haas Group	2010:	~12.000 m ³
	2011/12:	~15.000 m ³

Italia

Moser Holzbau GMBH	2010:	~7.000 m ³
	2011/12:	~8.000 m ³

Llegando a la conclusión que; analizadas unas 15 empresas productoras de unas 20 existentes en europa (2011/2012) se sabe que el 95% de la producción de TCL se da en el centro de Europa

- Austria (~63%) "hot spot" of CLT production
- Germany (~26%)
- Switzerland (~6%)

"1 Mio. m³ of production potential worldwide can be expected at the latest of 2015"

Tanto los datos de Lignum como los de Ramboll, a pesar de se bien distintos, nos da una idea de que la producción en Europa se concentra donde nació el producto, Austria y alrededores.

Las empresas que producen y ofrecen en sus catálogos el TCL en Europa, ofrecen diferentes servicios.

Como las que simplemente venden el producto, hasta las que ofrecen servicios de asesoramiento e incluso montaje en obra.

También empresas que son productoras de la materia prima (madera) y otras que simplemente son manipuladoras de la materia prima (simplemente compran las tablas y confectonan el producto).



ELENCO EUROPEO.

AGEKA

Francia Alpes. Se encargan de todo, su lema es:
un solo encargo, un proveedor, una entrega.
 Fabricantes de gran gama de productos de madera o derivados.

Explotación forestal:	NO
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Técnico:	SI
Desarrollo:	SI
Construcción o Montaje:	SI

AMATEX

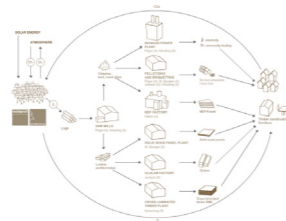
España, Soria.
 Fabricantes de gran gama de productos de madera o derivados.
 Control de todo el proceso (aserradero)

Explotación forestal:	SI
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Técnico:	SI
Desarrollo:	SI
Construcción o Montaje:	SI

BENKEN WOOD GARDELEGEN GMBH

Alemania, Hamburg.
 con una producción de 40.000 m³ (2011/12)

Explotación forestal:	-
Fabricante:	-
Venta:	SI
Asesoramiento:	-
Departamento Técnico:	-
Desarrollo:	-
Construcción o Montaje:	-



BINDERHOLZ BAUSYSTEME GMBH

Alemania - Austria. Fabricantes con control de todo el proceso desde silvicultura, no monta ni construye solo vende.

Explotación forestal:	SI
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Tecnico:	SI
Desarrollo:	SI
Construcción o Montaje:	NO



DERIX GROUP

Alemania (Producción), Niederkrüchten y Westerkappeln.
Oficinas en Holanda, Alemania, Polonia y Rumanía.
Fabricantes de material laminado

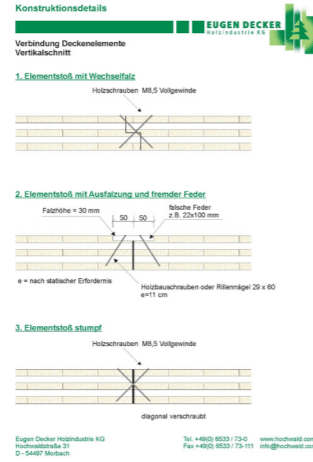
Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	-
Departamento Tecnico:	-
Desarrollo:	-
Construcción o Montaje:	NO



EGOIN S.A.

España (Vizcaya)
Fabricantes de paneles de madera, con departamento técnico y asesoramiento.

Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Tecnico:	SI
Desarrollo:	NO
Construcción o Montaje:	SI



EUGEN DECKER HOLZINDUSTRIE KG

Alemania, Morbach.
Fabricante de productos en todo tipo de maderas.

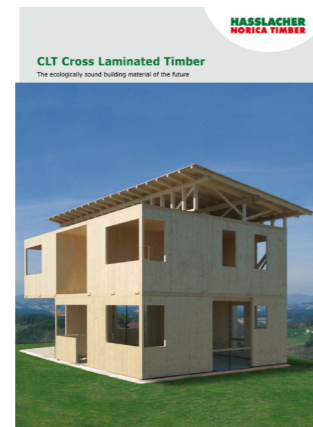
Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	-
Departamento Tecnico:	-
Desarrollo:	NO
Construcción o Montaje:	NO



HASS GROUP (TIMBORY)

Alemania, Falkenberg.
Gran grupo de productos de madera.

Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Tecnico:	SI
Desarrollo:	-
Construcción o Montaje:	SI



HASSLACHER NORICA TIMBER

Austria
Fabricantes de muchos productos en madera.

Explotación forestal:	NO
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	-
Departamento Tecnico:	-
Desarrollo:	-
Construcción o Montaje:	-



HMS BAUSYSTEME GMBH

Belgica, Manhay.

Fabricantes hasta la obra con asesoramiento técnico.

Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Tecnico:	SI
Desarrollo:	SI
Construcción o Montaje:	SI



HOLZBAUWERKE

Austria, Feldkirchen in Kärnten .

Fabricante de distintos productos, incluso casas prefabricadas.

Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Tecnico:	SI
Desarrollo:	-
Construcción o Montaje:	SI



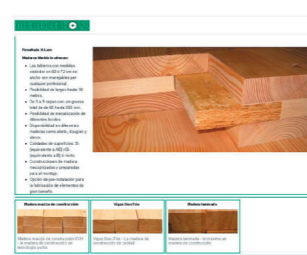
KLH MASSIVHOLZ GMBH

Austria

Fabricante referente de TCL.

“Nuestra oferta de servicios va desde la asesoría técnica y estática, pasando por el desarrollo de detalles específicos del proyecto, hasta la producción y entrega de los elementos a medida.”

Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Tecnico:	SI
Desarrollo:	SI
Construcción o Montaje:	SI



LIGNOTREND PRODUKTIONS

Alemania, Weilheim-Bannholz.
Fabricantes con productos más específicos.

Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	-
Departamento Tecnico:	-
Desarrollo:	-
Construcción o Montaje:	-

MASSIF BOIS

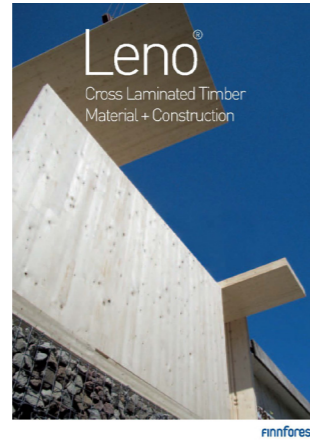
Francia, Dunières.
Fabricante de muros contralaminados (chevilles).

Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Tecnico:	SI
Desarrollo:	SI
Construcción o Montaje:	SI

MERKLE HOLZ GMBH

Alemania, Nersingen-Oberfahlheim.
Fabricantes de diferentes productos.

Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	-
Departamento Tecnico:	-
Desarrollo:	-
Construcción o Montaje:	-



METSÄ GROUP (METSÄWOOD)

Empresa europea.
 Gran grupo con todo tipo de productos derivados de la madera.
 Su contralaminado se llama Leno.

Explotación forestal:	SI
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Técnico:	SI
Desarrollo:	SI
Construcción o Montaje:	SI



MAYR-MELNHOF KAUFMANN

Austria y Alemania.
 Fabricantes de gran variedad de productos con seguimiento de principio a fin.
 Unos de los edificios mas altos a sido producido por ellos.

Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Técnico:	SI
Desarrollo:	SI
Construcción o Montaje:	SI



MOSER HOLZBAU

Italia, Taisten/Welsberg
 Fabricantes y constructores de productos de madera.

Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Técnico:	SI
Desarrollo:	SI
Construcción o Montaje:	SI



Produkt	Produktbeschreibung	Produkttyp	Produktgröße	Produktgewicht	Produktfarbe
1	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000
2	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000
3	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000
4	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000
5	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000
6	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000
7	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000
8	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000
9	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000
10	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000	1000x1000x1000



PIUS SCHULER

Suiza, Rothenthurm.

Fabricantes de diferentes productos de tableros tanto macizos como compuestos.

Explotación forestal:	SI
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Tecnico:	SI
Desarrollo:	SI
Construcción o Montaje:	SI

SBM (SYSTEME BOIS MASSIF)

Francia, Lorraine.

Fabricantes de ciertos productos pero a la vez importador de BBS de Binderholz Bausysteme.

Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	-
Departamento Tecnico:	-
Desarrollo:	-
Construcción o Montaje:	-

SCHILLIGER HOLZ AG

Suiza, Küsnacht am Rigi

Empresa maderera con aserraderos y productores de diferentes productos.

Explotación forestal:	SI
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Tecnico:	SI
Desarrollo:	SI
Construcción o Montaje:	SI



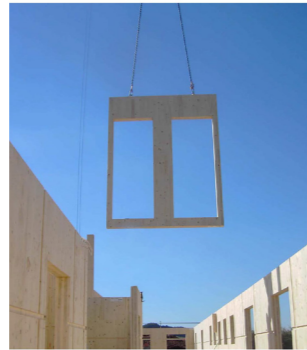
STEPHAN FLEXcross® Massivholzelemente – für sichere Statik

Made in Germany.



STORA ENSO

CLT - Madera contralaminada
Building innovation. Building life.



Tableros de madera maciza de 3 capas
madera de coníferas. TILLY
März 2005

Generalidades

Los tableros de madera maciza TILLY son tableros de madera maciza de varias capas que tienen encoladas dos capas superiores en paralelo con una capa intermedia que forma un ángulo de 90° respecto de ellas. Las áreas del frente y del fondo de los paneles longitudinales se logran con la ayuda de tirantes de fijación individuales, cortados en diagonal a 45°. El acabado de las capas superiores y la fijación a ellas son de madera natural. Los tableros de madera maciza TILLY de tres capas se fabrican según la norma EN 13363. A menos de modificaciones debidas a la producción.

Características técnicas

Humedad en el momento de recepción: 10 % máx según DIN 6840
Clase de madera: pino, abeto, pino azul
Dimensiones de los tableros:
Opciones estándar: 18, 25 mm
Medidas longitudinales: 3000 mm (4000mm máx. - 4000mm en pino)
Medidas de anchura: 1200, 2050 mm
Corte a medida sobre demanda a partir de una superficie total de 300 m²
Grosor de capas inferiores: 8,5 mm
Anchura de la capa superior: 91 - 142 mm
Especificación: en estado natural, fijado con un graso de grano K 60
Categoría por emisiones de formaldehído: E1
Categoría por comportamiento al fuego: D-s2,d1 según norma EN 13501, utilizando juntas ignífugas adecuadas puede elevarse la categoría por comportamiento al fuego.

Calidades / clasificaciones

Para una selección por ejemplo: selección, corte para trabajar (se recomienda básicamente la calidad de una sola veta ABC). La categoría de calidad AB ofrece, además de una estructura de madera maciza con mayor resistencia a aperturas, también un mejor aspecto visual.

Descripción de las categorías de calidad:

Para un estándar AB (según la categoría de aspecto de cara A según norma EN 13051-1) que permite un grado de selección más alto y también una capa superior ligeramente más gruesa, también se permite un grado de selección más alto. Para un estándar AB (según la categoría de aspecto de cara A según norma EN 13051-1) que permite un grado de selección más alto y también una capa superior ligeramente más gruesa, también se permite un grado de selección más alto. Para un estándar AB (según la categoría de aspecto de cara A según norma EN 13051-1) que permite un grado de selección más alto y también una capa superior ligeramente más gruesa, también se permite un grado de selección más alto.



STEPHAN (PAUL STEPHAN HOLZ GMBH)

Alemania, Gaildorf.

Grupo con productos derivados de la madera con el STEPHAN FLEXcross como contralaminado.

Explotación forestal:	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Técnico:	SI
Desarrollo:	SI
Construcción o Montaje:	SI

STORA ENSO GROUP

Finlandia, Suecia.

Fabricantes de diferentes productos de madera.

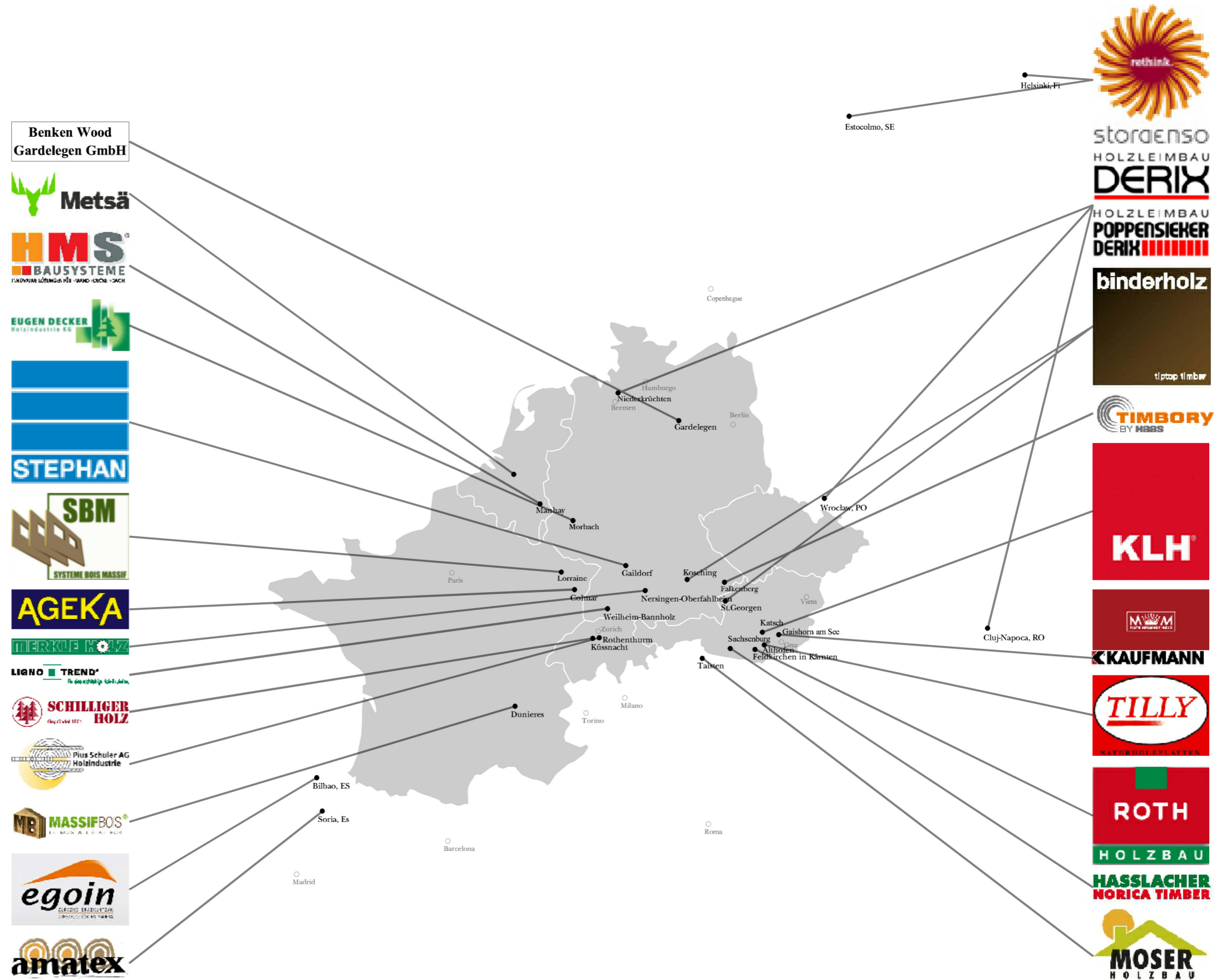
Explotación forestal (Silvicultura):	-
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	SI
Departamento Técnico:	SI
Desarrollo:	SI
Construcción o Montaje:	SI

TILLY HOLZINDUSTRIE

Austria, Althofen.

Empresa forestal, productora de material macizo y laminado.

Explotación forestal (Silvicultura):	SI
Fabricante:	SI
Venta:	SI
Asesoramiento:	-
Departamento Técnico:	-
Desarrollo:	-
Construcción o Montaje:	-



4. REQUERIMIENTOS BÁSICOS.

4.1. PROPIEDADES ESTRUCTURALES.

PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE LOS TABLEROS.

Como ya se ha dicho, no tiene sentido hablar de TCL sino está dentro de un conjunto que conforma un sistema estructural y para esto hay que conocer los límites estructurales a los que nos permite llegar esta nueva tecnología.

Al ser un producto totalmente industrializado, son las mismas empresas que lo suministran, las que facilitan las tablas para hacer predimensionados o software para resolver cálculos básicos para avanzar en el diseño, o incluso las empresas se ofrecen a acompañar al diseñador durante el proceso proyectual.

El Tablero Contralaminado (TCL) como se ha descrito está compuesto de capas, siempre de forma simétrica, que se van cruzando el sentido de las fibras hasta conformar un tablero, pudiendo ser de 3 capas hasta incluso 11 capas. Esta configuración simétrica es fundamental para su estabilidad dimensional y provoca, sobretudo, un comportamiento simétrico respecto su eje (muy valorada esta condición para los cálculos teóricos). También le otorga al panel una condición anisótropa, una condición de carga de forma distinta según la dirección de los apoyos.

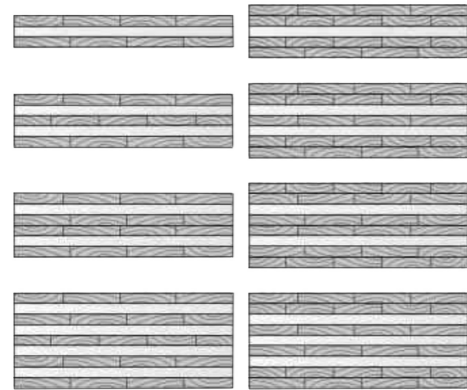
El hecho de pensar el material como unidireccional y que el material en dirección ortogonal a los esfuerzos sólo está para el mantenimiento del conjunto de forma monolítica, hace que se encuentren caso de doblados de capas en una dirección y de esta forma aumentar el comportamiento portante en esa dirección.

En un tablero de 5 capas, se podría decir que hay una vez y media más material en una dirección que en la otra (ortogonal).

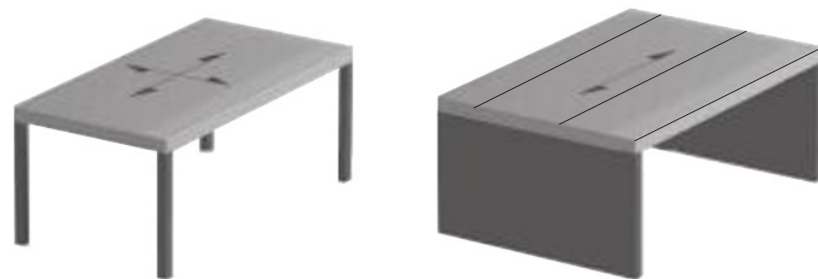
Esta condición anisótropa no quiere decir que el tablero solo pueda trabajar de forma unidireccional sino que justamente una de sus características es la posibilidad de trabajar de forma bidireccional, tanto como forjado como en muros (razón de su buen comportamiento a sismo), igual como lo haría una losa de hormigón.

Esta condición, la de trabajar como una losa, genera que las capas se deformen produciendo la aparición de esfuerzos cortantes entre ellas, que tanto las colas como las mismas tablas deben soportar, y que a nivel de cálculo se debe conocer y ver de que forma o con que método se puede calcular.

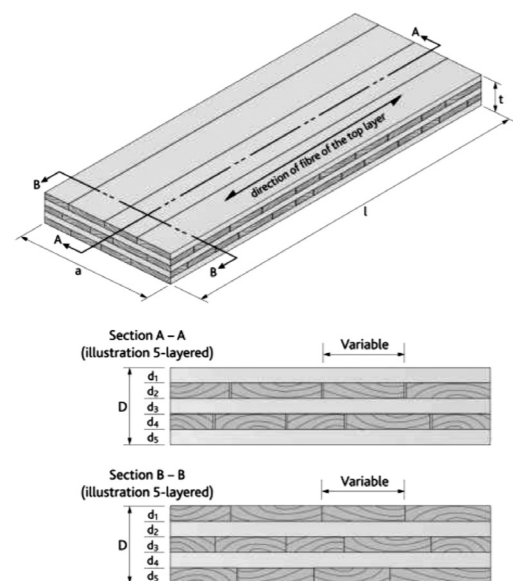
“Lógicamente”, como nos encontramos en el campo del cálculo teórico, la norma no contempla que ningún modelo se pueda utilizar para la justificación de TCL clavados o fijados con pernos, sólo se contempla la posibilidad de la realización de TCL encolados.



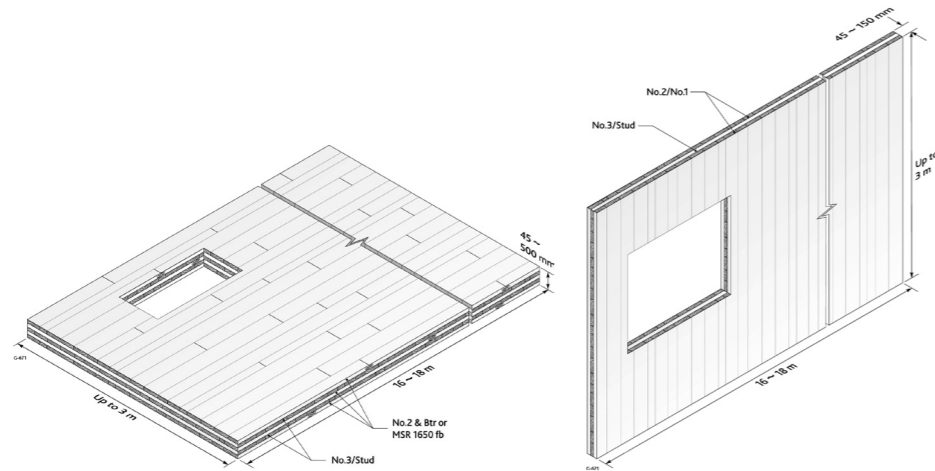
Configuraciones de TCL



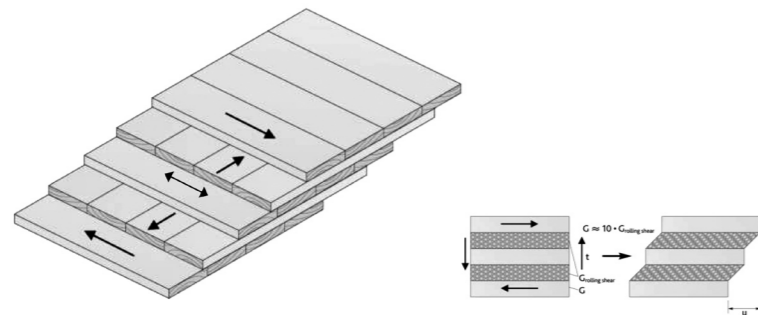
Condición de bidireccionalidad según apoyos



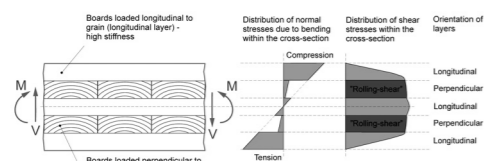
Configuración de un TCL



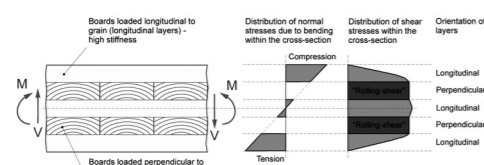
Configuración de forjado y pared. La dirección de la capa exterior marca su dirección óptima.



Esfuerzos internos de un TGL



Distribución del estrés en TGL con capas encoladas



Distribución del estrés en TGL con capas sin encolar

Distribución del estrés interno según se considere encolado o no encolado la unión entre capas (Temtis)

KLH en un informe titulado “Información detallada para la medición de elementos de construcción de KLH”, nos hace una introducción a la problemática de los diferentes métodos de cálculo que se están utilizando y a la vez nos recoge los aceptados, reconocidos o recogidos dentro de las normas DIN 1052 y Eurocódigo 5.

FPIInnovation, (siguiendo las pautas de KLH) nos explica de modo más extenso los diferentes métodos y sus características.

Como métodos utilizados, se puede hablar de experimentales o analíticos, o métodos que involucran tanto una parte experimental como otra analítica.

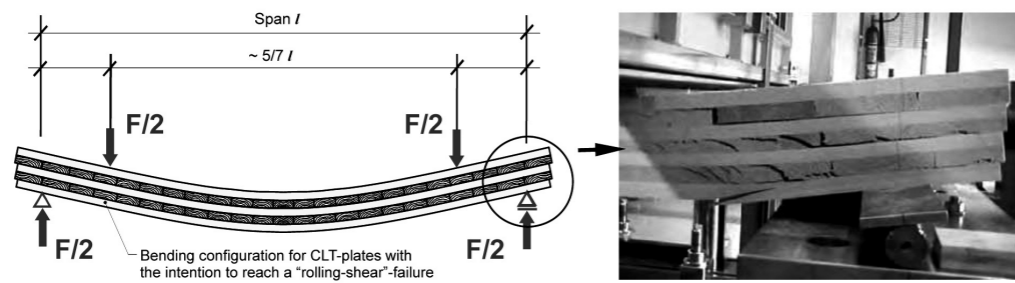
La problemática con los métodos experimentales es la composición de un TLC, que cada tablero, o incluso cada capa de cada tablero, pueden tener características diferentes o son de especies diferentes por lo que nunca se acabaría de hacer test.

Los métodos analíticos, una vez comprobados con los test necesarios, son más generales y los costes hacen que sean una alternativa real. Los métodos analíticos pueden calcular la rigidez como su deformabilidad a partir de las propiedades del material que componen las capas.

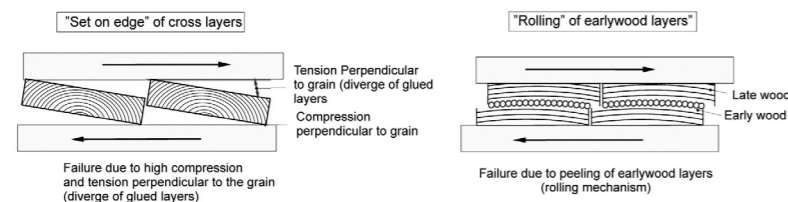
El llamado “Método analógico de cizallamiento” (Kreuzinger, 1999) es considerado como el método exacto para el cálculo de madera contralaminada. La metodología tiene en cuenta la deformación por cizallamiento de las capas longitudinales (deformación por desplazamiento) y transversales (deformación por rodadura) del tablero y no está limitada por el número de capas. La problemática, como dice KLH, es el coste del método, que su aplicación es costosa.

Por esta razón el método usado comunmente es el “Metodo γ ”. Un método aproximativo que fue desarrollado para vigas laminadas. Llamado la teoría de “Mechanically Jointed Beams” o “Gamma”, es un método suficientemente exacto para la construcción, aceptado tanto en la norma DIN 1052 como en el Eurocódigo 5 (anexo2). El método se basa en introducir un factor de corrección “ γ ” a la teórica rigidez efectiva de la sección, siendo “ γ ” un factor de eficiencia de conexión de las capas y así valorar la deformación que sufren las capas internas por el cortante, siendo $\gamma = 1$ en el caso de capas totalmente enganchadas y siendo $\gamma = 0$ para las capas no conectadas. Es decir, se usarían los momentos de inercia netos con un coeficiente reductor.

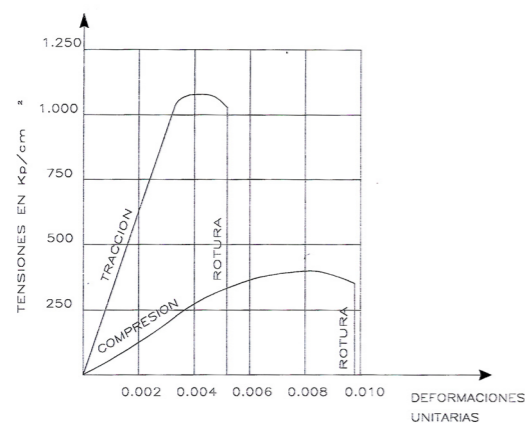
“ $\gamma = 1$ for rigid connection and $\gamma = 0$ for no connection. But typically γ varies from 0.85 to 0.99” (symposium Vancouver 8 febrero 2011)



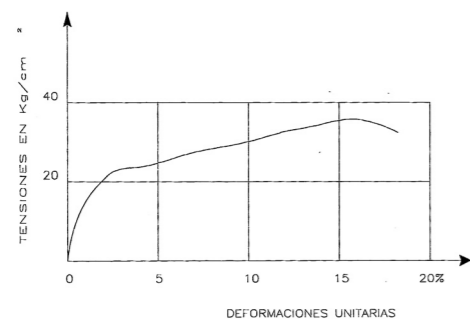
Fallo en las capas transversales de un TCL. (sin colas entre tablas)



Esquema de fallo en las capas transversales de un TCL.



Relación entre tensión y deformación paralelas a fibras



Relación entre tensión y deformación perpendicular a fibras

Otro método sería el Método “K” o “Composite Theory”, es un método que nació para el cálculo de paneles contrachapados. En su origen, el método no tenía en cuenta la deformabilidad de las capas ortogonales o transversales, en el cálculo de las propiedades a flexión.

Este método se ha adaptado para los TCL y queda nulo el método para relaciones de luces entre cantos mayores o iguales a 30 y a la vez se asume que la rigidez de las capas transversales son del orden de 30 veces menor.

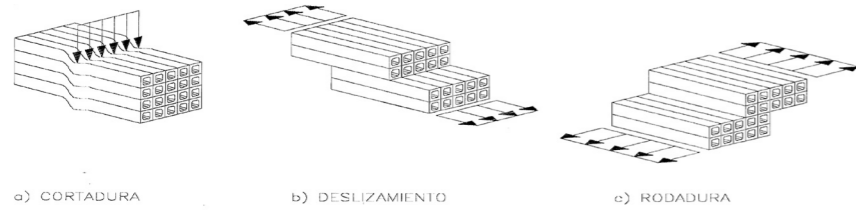
A pesar de los métodos existentes y de los valores que nos den, lo que hay que tener claro es que la madera es un materia anisótropo y tiene un comportamiento distinto de tracción como a compresión y que a la vez es también distinto su comportamiento según la dirección de las fibras.

Lo complejo del análisis de los tableros compuestos con tablas en dos direcciones, es que puede trabajar muy bien en una dirección, pero la “deformación válida” que sufre esta capa le puede estar provocando un esfuerzo a la capa inferior, justamente en la dirección mas débil, que no puede soportar. Por esta razón, se debe conocer las propiedades mecánicas de un simple tablón para entender tanto los puntos fuertes como los débiles de los tableros TCL.

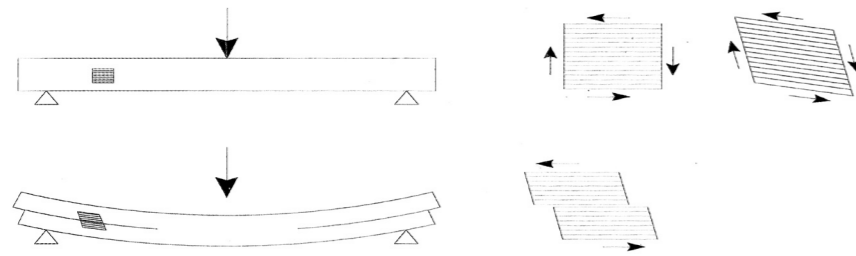
En la “Guía de la madera en la construcción” de Aitim nos habla de las propiedades de la madera y dice que la resistencia a flexión es muy elevada, en comparación a su densidad y que en el caso de las “coníferas” ronda entre los 140 y 300 Kp/cm² (14 y 30 N/mm²), la tracción paralela a fibras, en madera clasificada, nos habla de valores entre 80 y 180 Kp/cm² y esta misma pero perpendicular a fibras, del orden de 30 a 70 veces menos, entre 3 y 4 Kp/cm².

Este bajo comportamiento en la dirección perpendicular, lo denominan “economía de medios”, por la reducida necesidades resistentes en esta dirección (de un árbol).

Para esfuerzos de compresión paralelos a fibras, los valores que alcanzaría, sería entre 160 y 230Kp/cm², teniendo en cuenta su bajo módulo de elasticidad que hace que la resistencia a compresión dependa de la esbeltez de la pieza. La compresión perpendicular rondan entre los 43 y los 57Kp/cm², siendo ¼ parte de la resistencia paralelo a fibras.



Cortante. (Esquemas de la Guía de la madera de Aitim)



Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante. (Esquemas de la Guía de la madera de Aitim)

De las propiedades a cortante de la madera, lo que debemos conocer, son los tipos de tensiones tangenciales que se pueden dar según orientación de fibras en relación al esfuerzo.

- 1- Tensiones tangenciales de cortadura, cuando las fibras son cortadas transversalmente por el esfuerzo. Fallo = Aplastamiento
- 2- Tensiones tangenciales de deslizamiento
- 3- Tensiones tangenciales por rodadura y el fallo se daría por rodadura de las fibras sobre las otras.

Los valores característicos de resistencia a cortante (por deslizamiento) ronda entre 17 y 30 Kp/cm² pero los valores para rodadura son del orden de 20 o 30% menos.

Las propiedades de los tableros TCL varían según el productor. Los más importantes productores califican su producto como C24 (o S10 respecto Din). A la vez se encuentran casos que utilizan calidades C18 y C16 para capas internas o transversales o sobretodo para la fabricación de muros.

KLH da: Clase resistente, C 24 según EN 338, está permitido un porcentaje de máx. 10% C16 (comparar con ETA-06/0138).

MM Kaufman nos informa que su producto M1 BSP Crossplan tiene una clase de resistencia de: C 24 según EN 338 (corresponde a S 10 según DIN 4074) está permitido un porcentaje de máx del 10 % de C 16 (cfr. ETA-09 / 0036)

Derix, nos ofrece como clase resistente simplemente C24.

Stora enso nos da: C 24 (otras clases de resistencia previa petición)

Meetsa Wood ofrece C24

Binderholz de su producto BBS no ofrece información de la clase resistente a pesar de dar toda la información de predimensionados.

Schillinger Holz da C24

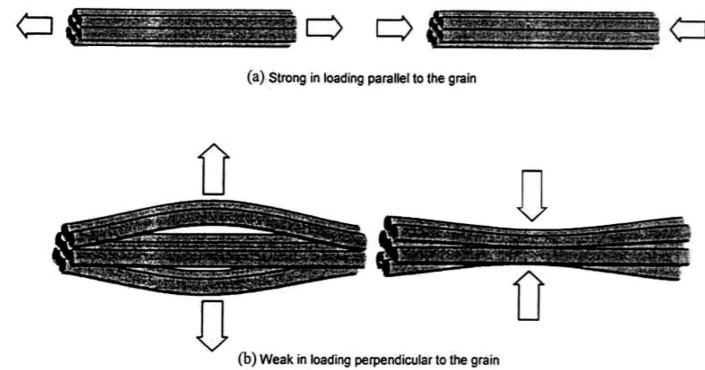
Y Egoín nos dice: “Las láminas y tablas que utilizamos en la formación de los paneles corresponden a la clase resistente C-24 según EN 338, o S10 según DIN 4074, lo que significa una resistencia flexión de 240 daN/cm² y un Módulo de Elasticidad de 11.000 N/mm².

Las clases resistentes C-16 y C-18 se reservan para las planchadas intermedias en paneles que trabajan en una sola dirección.”

Tabla 1
Clases resistentes. Valores característicos

	Especies de coníferas y chopo										Especies frondosas						
	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40		D30	D35	D40	D50	D60	D70	
Propiedades resistentes en N/mm ²																	
Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30	35	40		30	35	40	50	60	70
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	13	14	16	18	21	24		18	21	24	30	36	42
Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26		23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3		8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Cortante	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8		3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Propiedades de rigidez en kN/mm ²																	
Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	7	8	9	10	11	12	12	13	14		10	10	11	14	17	20
Módulo de elasticidad paralelo 5º percentil	$E_{0,5}$	4,7	5,4	6,0	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4		8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47		0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Módulo de cortante medio	G_{medio}	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88		0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Densidad en Kg/m ³																	
Densidad	ρ_k	290	310	320	340	350	370	380	400	420		530	560	590	650	700	900
Densidad media	ρ_{medio}	350	370	380	410	420	450	460	480	500		640	670	700	780	840	1 080

Clases resistentes. Valores característicos. (UNE-EN-338)



Realidad anisotropa (Temtis)

La deformabilidad por deslizamiento y por rodadura y su resistencia a estos cortantes, es lo más importante a tener en cuenta para los TCL, tanto para techos/ forjados como para paredes. La característica del contralaminado hace que un mismo esfuerzo provoque tanto deslizamiento como rodadura según la capa que estemos analizando.

La realidad anisótropa de la madera hace que debamos analizar los dos tipos de efectos por cortante. Lo que está claro es que la rigidez o las propiedades resistentes a flexión del panel depende de la resistencia de las capas transversales tienen al cortante, la resistencia a la deformación a la rodadura.

Esta resistencia a la rodadura se denomina o se le otorga un valor llamado “módulo de rodadura”. Este valor depende de la especie de madera, de la densidad de la capa transversal, del espesor de la lama (tabla), de la humedad, de la configuración de la tabla (orientación de los anillos) y de la geometría de la tablas de las capas transversales.

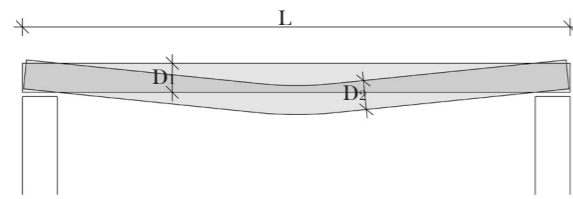
La determinación del valor del módulo no es sencilla y los métodos existentes para la obtención de un valor, tampoco son aceptados por todo el mundo. En la norma, el módulo establecido, llamado Gr, se asume que es 1/10 parte del módulo a cortante en el sentido de fibras.

Parece que como convenio, los productores se refieren al European Technical Approval, ETA N°03.04/06, que otorga un valor de 50Mpa para Gr, lo que hace que el módulo a cortante es de unos 500Mpa.

KLH en su ETA 06/0138 donde pone a prueba o evalúa y homologa su producto “solid wood slab” y donde da los resultados de resistencia y estabilidad, habla de “shear modul” en paralelo le otorga 690Mpa y en cambio el Gr lo fija en 50Mpa refiriéndose a CUAP 03.04/06.

Influencing parameters on the “rolling shear” properties	positive \longrightarrow negative
Board dimensions of the cross layer	1 8 1 4 1 2
Position of the boards in the log (sawing pattern)	Half-radial sawing Radial sawing Tangential sawing
Annual ring width and density (Ratio earlywood : latewood)	1 mm 2 mm 4 mm
Production Pressure Type of adhesive	Glue-line High pressure ($\geq 0.6 \text{ N/mm}^2$) Groove Gaps Low pressure (e.g. 0.1 N/mm^2)
Type of loading	Shear with compression stresses perpendicular to grain Shear with tensile stresses perpendicular to grain

Parámetros para valorar la rodadura por cizallamiento (Temtis)



Relación entre Luz y canto

$L/D = \uparrow = \epsilon$ (muy deformable)

$L/D = \downarrow = \xi$ (muy rígido)

FPInnovations lo que nos dice es que, la experiencia sobre el módulo G, hace que el valor de 50Mpa sea un valor considerado conservador, porque incluso con maderas muy blandas, los valores serían mayores. Si KLH da una G de 690 podríamos pensar que Gr sería de 69 ($G \cdot 1/10 = Gr$).

Como regla general, hay una relación entre la luz a cubrir y el canto del tablero, que nos indica cuando debemos preocuparnos de la deformación a cortante. Unos productores recomiendan que el L/D no sea mayor de 20 pero otros productores hablan de 30 como valor óptimo. Lo que si está claro es que si los valores que nos movemos son bajos, estamos en estructuras antieconómicas y rígidas y si son altos son económicas pero muy deformables. Forjados con valores de 30 se considera que hay una deformación por cortante de un 11% y en cambio con ratios de 20 la deformabilidad ronda el 22%.

Finalmente lo que está claro que para un primer nivel de diseño, las empresas productoras disponen de sus ETAs (homologaciones) cada una con sus resultados específicos a sus productos, cada uno con sus colas, sus especies de madera con su humedad específicas y con sus grosores de capas.

Los valores a nivel genéricos que podríamos usar son los que se refieren a las clase de resistencia que tiene el tablero a la entrega y que parece que mayoritariamente es de C24 y que según UNE-EN-338 tiene unas capacidades concretas.

Un ejemplo de la singularidad de cada productor es una nota que al pie de las tablas de características mecánicas de Metsä Wood (Finforest) cuando habla de su producto Leno, nos dice que si el ratio usado entre L/D es menor que 30 se puede considerar en sus productos un Gr de 60N/mm².

Donde es de gran importancia el valor Gr es en los tableros que algún día pudiesen estar afectados por esfuerzos generados por sismo. Porque justamente piezas que nunca se piensan para este tipo de esfuerzos entran en carga a partir del momento que aparecen movimientos horizontales.



No falla la cola sino la misma estructura interna de la madera

4.2. **COMPORTAMIENTO A SISMO.**

COMPORTAMIENTO ANTE SISMO.

En el “Cross-Laminated Timber Symposium” celebrado en febrero de 2011 en el Vancouver Convention Centre de Vancouver, FPInnovation habla de lo que llama la experiencia Europea del TCL ante el sismo y de lo que es necesario conocer y fijar.

Lo que hay que conocer y fijar son los **Factores de Modificación de los Esfuerzos** para aplicarlos al cálculo y para la determinación del comportamiento se están haciendo estudios empíricos y analíticos en proyectos de investigación sobre el comportamiento a sismo del TCL como los realizados en:

- University of Ljubljana en Eslovenia
- The SOFIE Project by IVALSA-CNR en Italia
- University of Graz en Austria
- University of Karlsruhe en Alemania
- FPInnovations en Canadá

De los proyectos llevados a cabo en “The SOFIE Project by IVALSA-CNR”, donde siempre se usaron modelos a escala, desde la puesta en carga de un muro de 3x3, pasando a un modelo 1:1 de una planta, a una de 3 plantas y hasta el test final de un edificio de 7 plantas sobre una bandeja que hizo simulaciones de todo tipo de terremoto conocido (estos dos últimos ya en centros de Japón), de todos los test realizados, se sacan las pruebas de que el sistema es de gran resistencia para zonas con alto grado de riesgo de sismo.

Pero a pesar de los resultados de las pruebas y sus valores numéricos hay que conocer qué es un sismo y en qué afecta a las estructuras y porque esta nueva tecnología es válida para responder ante un sismo.

Siguiendo el relato de Teresa Guevara en su libro “Arquitectura moderna en zonas sísmicas” se va a intentar explicar la importancia que podría tener un sistema como el TCL para dar respuesta a los sismos y para realmente entender lo revolucionario del sistema, hay que entender cual es la problemática de los terremotos.

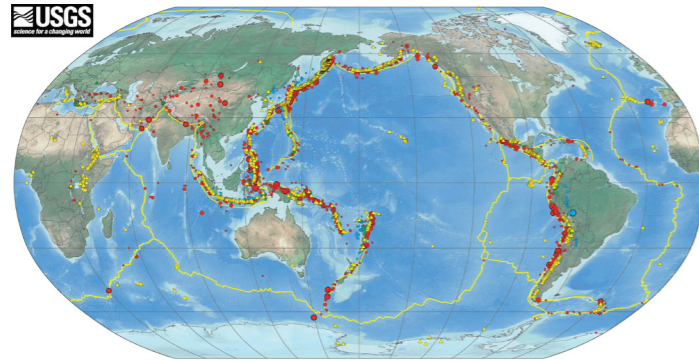
Hay que pensar que el problema que nos encontramos hoy en todo el mundo viene porque partimos de un modelo arquitectónico que se pensó y se desarrolló en Europa, en una zona poco sísmica o con poca cultura sobre la problemática.



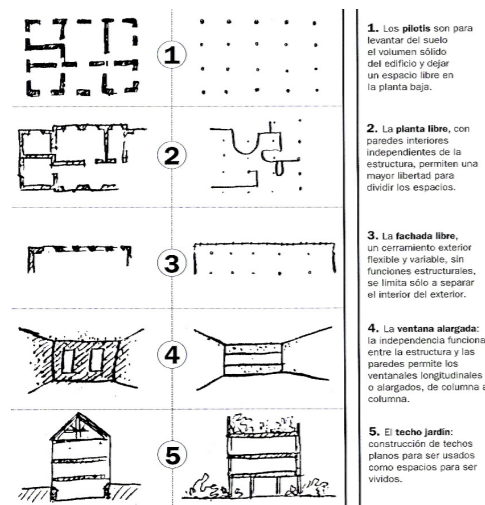
Northridge1994. Un sistema constructivo problemático.
Falta de confinamiento de la armadura.



Mapa del Servicio Geológico de EE.UU. “Seismicity of the Earth 1900-2010”



Mapa del Servicio Geológico de EE.UU. "Seismicity of the Earth 1900-2010"



Los 5 puntos de Le Corbusier.



Pilar Corto.



Terremoto en Lorca 2011

Esto ha generado que, lo que fue una respuesta a problemas Europeos y que se le dio respuesta, por ejemplo en el CIAM de 1928, fue un modelo que se exportó por todo el mundo. Hoy en día encontramos la misma arquitectura en cualquier punto del planeta. Este modelo fue el basado en el hormigón armado, con un sistema estructural a partir del pórtico, que fue aceptado dando lugar a lo que hoy podemos hablar de la primera globalización de un sistema constructivo.

Los 5 puntos de Le Corbusier, que fueron como la pauta a seguir de la arquitectura moderna son los 5 puntos clave que hacen que las construcciones hayan sido un desastre ante un sismo.

El **punto 1**, plantas bajas sobre pilotis, para obtener plantas abiertas con espacio libre, lo que propone es lo que a nivel de discusión de edificios sismorresistentes se le llama "planta débil" o, a la vez, proponer la tipología de pilares en las plantas bajas justamente donde se empotra con el terreno que sería donde se da el mayor cortante llamado "cortante de base" que genera empujes horizontales a pilares con secciones ridículas para soportarlo.

El **punto 2**, la planta libre, estructura y organización como elementos distintos hará que estos elementos de división no estructurales pasen a serlo, generando distorsiones nunca imaginadas.

El **punto 3**, fachada libre, el hecho de no integrarlo como un elemento más de la estructura hace que sea uno de los primeros elementos que colapsen y a la vez siendo unos de lo que genera más víctimas y mas desgracias sobre lo que está en la calle. Un ejemplo cercano es el terremoto que hubo en Lorca en la provincia de Murcia el 11 de mayo de 2011, sacudió la zona con una magnitud de 5,1 grados (la replica mas alta) con un total de 9 victimas mortales y donde las fotos que se han visto son de calles llenas de escombros por el colapso de las fachadas hacia la calle.

El **punto 4**, ventana alargadas, horizontal, se genera un debilidad del plano y unos de sus efectos es el de producir lo llamado "pilar corto" y lo que genera es un cortante brutal al pilar por el empuje del antepecho que entra en carga transmitiendo de forma puntual los empujes horizontales sobre el pilar.

Y el **punto 5**, el techo jardín, desde el punto de vista sismorresistente es como una broma de mal gusto, como ya veremos todo proceso sísmico arranca a partir de las masas afectadas y a la vez otro factor sería la oscilación de los objetos afectados. Pensar en colocar una gran masa en el punto mas alejado donde la oscilación afecta más es justamente lo contrario que se debería hacer.

Lo que sí está claro hasta ahora, es que el sistema de TCL puede o no, funcionar bien para sismo, pero que a pesar del material hay que hacer un diseño consciente a las exigencias estructurales de la zona.

QUE PROVOCA UN SISMO EN LOS EDIFICIOS?

Cuando hay un sismo, se generan movimientos del terreno que provocan esfuerzos en todas las direcciones, horizontales, verticales y rotatorios. Es decir, la aceleración del terreno generado por un sismo al encontrarse un edificio le provocan esfuerzos, ese esfuerzo se llama "Cortante de Base".

Podemos hablar de fuerzas de resistencia de los edificios, la idea principal es que estos esfuerzos son de oposición de algo anclado que no quiere desplazarse.

Gran parte del problema reside en la cimentación, como más anclado peor.

Ese esfuerzo es igual que la masa del cuerpo a desplazar por la aceleración que se le da, la fuerza es igual pero en sentido contrario de la fuerza del terreno.

Este "Cortante de Base" se calcula con la expresión: $V_s = m \cdot c$

donde "m" es la masa del edificio o del objeto a mover y "c" un coeficiente llamado Coeficiente Cortante Vasal, que depende del periodo de vibración (T) y de la aceleración espectral (Sa).

Sa depende del terreno y de su geología y la vibración dependerá del tipo de edificio hayamos diseñado.

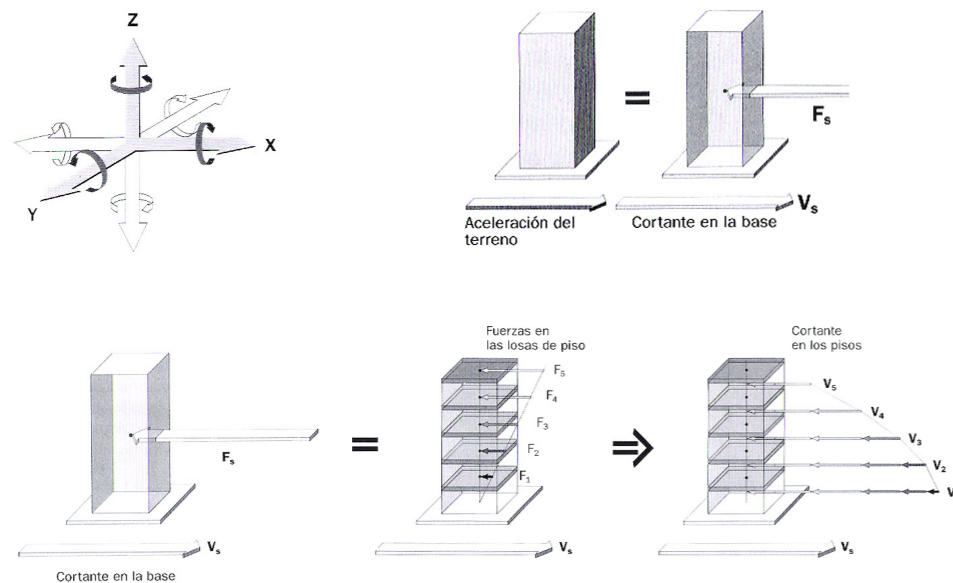
Es decir, que de todos los parámetros, para conocer la fuerza que afecta a un edificio, el 50% depende del diseño de éste como del mismo terremoto. Tanto el tiempo de vibración como la masa del edificio afectan al resultado como la aceleración del terreno.

Por esta razón, los conceptos de magnitud e intensidad es importantes entenderlos; la magnitud mide la energía emitida en el hipocentro, por lo que la magnitud de un terremoto será la misma a 1Km que a 100Km del hipocentro y la misma si se da en un desierto que en una zona poblada.

La intensidad mide los efectos producidos por los terremotos en las estructuras y en las personas.

Así, terremotos de magnitudes bajas han tenido grados de intensidad altas al darse en zonas que no estaban preparados para sismos y a la vez, la intensidad va disminuyendo mientras se aleja del hipocentro.

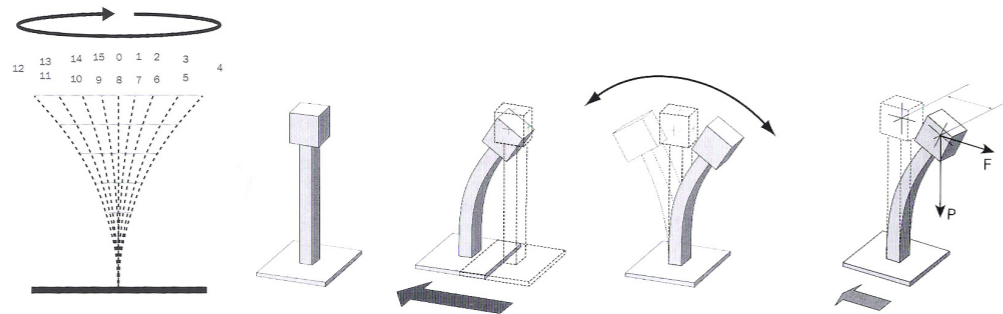
Esta relación entre magnitud e intensidad, se puede extrapolar a los edificios y dependiendo de cómo se haya diseñado el edificio, sufrirá más o menos o se verá afectado a los esfuerzos más o menos porque al final, los esfuerzos soportados, se los provoca él mismo, hay que diseñar de forma que cualquier magnitud genere intensidades mínimas.



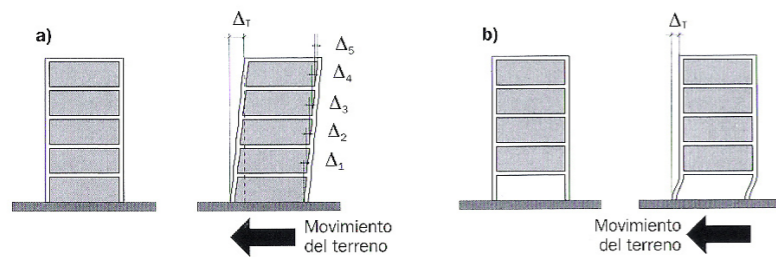
Fuerzas generadas por un sismo.

I_{MM}	DEFINICIÓN
I	Detectado solo por instrumentos.
II	Sentido por personas en reposo.
III	Sentido por personas dentro de un edificio.
IV	Se siente fuera del edificio.
V	Es notado por todos. Los objetos inestables se caen.
VI	Las personas andan con dificultad. Las ventanas y objetos de vidrio se quiebran. Las estructuras con mampostería débil se agrietan.
VII	Daños moderados en estructuras bien diseñadas, y daños severos en malas construcciones.
VIII	Daños ligeros en estructuras bien diseñadas, considerables en regulares y severos en las mal diseñadas.
IX	Pánico general. Las estructuras con diseño sismo resistente son seriamente dañadas. Daño en los cimientos.
X	Destrucción grande en edificios bien construidos. Grandes deslizamientos del terreno.
XI	Casi nada queda en pie. Fisuras en el piso. Tuberías subterráneas fuera de servicio.
XII	Destrucción casi total. Catástrofe. Grandes masas de roca desplazadas.

Escala de intensidad Mercalli Modificada.

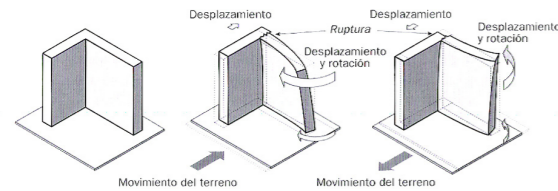


Oscilación.

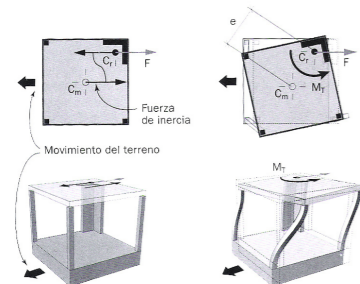


Efecto de plantas débiles.

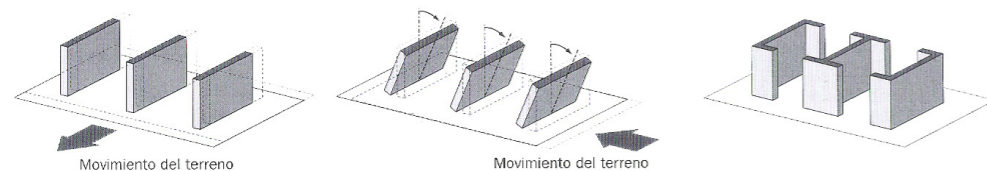
La irregularidad geométrica del edificio



Irregularidad geométrica.



Escentricidad entre centro de gravedad y centro de rigideces.



Sistema de muros de carga y traba.

La **oscilación** de los edificios que viene generada por su altura (esbeltez) y su masividad, provoca una excentricidad de la carga (peso propio) y a la vez generará un momento sobre la base del edificio, dando un resultado de intento de vuelco.

Configuraciones diferentes entre plantas generarán esfuerzos puntuales y que aparezcan las llamadas “plantas débiles” haciendo que toda la deriva se concentre en el punto más débil, donde el fallo se dará, por un lado por compresión y por el otro por tracción.

O por ejemplo, **irregularidades geométricas** provocaran nuevos esfuerzos, dando torsiones donde no se habían planteado o irregularidades de rigideces. Excentricidad entre el centro de gravedad y el centro de rigideces siempre hará que se concentre los esfuerzos en las zonas más débiles.

Viendo esto, lo que está claro, es que hacer un edificio en zona sísmica comporta tener un problema y su diseño es tanto o más importante que con qué se fabrique. Es más importante **el cómo que el con qué.**

Por esta razón y a pesar de sus características mecánicas, el TCL (o el sistema prefabricado de madera maciza a base de forjados y muros de carga) hace que su misma razón de ser sea óptimo para responder ante sismos, un sistema a partir de **muros de carga y de traba.**

Un sistema estructural que a la vez es organizador del espacio, es decir, un sistema total que incluye fachada, estructura, organizadores y cubierta y para esto el TCL es absolutamente indicado, pero también se puede usar generando voladizos, apoyos puntuales, etc.. por lo que volveríamos a tener problemas.

Un sistema de muros de carga y traba lo que nos ofrece es un sistema de gran **redundancia.** En la opinión de la mayoría de expertos, que por el desconocimiento y por el alto grado de **in-certezas** que se genera a partir de un sismo en las estructuras, lo que son necesarios son sistemas con gran redundancia y el sistema de contralaminado lo es.



Masa reactiva. Terremoto en Modena 2012.

LA MASA.

Como se ha visto, para calcular la fuerza con la que responde un edificio es de gran importancia el peso de este, la masa.

La masa, o la **masa reactiva**, es por donde todo arranca, el punto de partida.

Una disminución de esta masa hará que todos los esfuerzos que se encadenan sean mucho menores. Pensando que la estructura puede llegar a ser el 90% del peso total del edificio, la elección del material o mejor dicho, la densidad del material con que se va a construir, es fundamental.

El sistema de Contralaminado es un sistema de madera que ronda densidades del orden de entre 450 y 500Kg/m³, esto depende del tipo de madera que se use para la elaboración del tablero, pero siendo siempre maderas “coníferas”, los valores rondan los 500Kg/m³.

KLH nos da 471Kg/m³, **Binderholz**, nos dice que el tablero de abeto rojo da unos 470Kg/m³ y los de alerce 590Kg/m³ o **Egoin** que sus tableros de Piceas Abies (abeto rojo) lo ofrecen con una densidad de 400Kg/m³ y el tablero de abeto Douglas lo entregan con una densidad de 520Kg/m³, el Pinus radiata con 500 o el Laric Europaeus (alerce europeo) con densidad de 550Kg/m³.

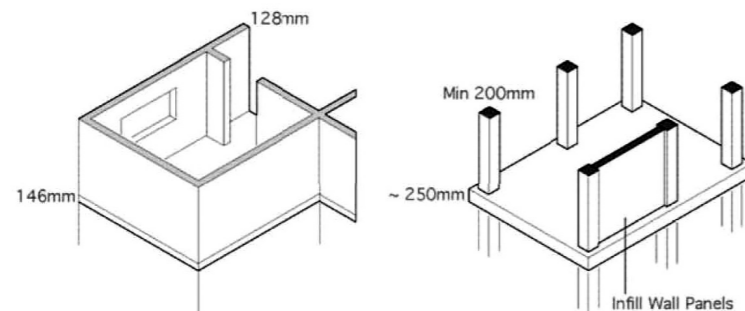
A pesar de estos +100 Kg/m³, si se compara con otros materiales de construcción, como el hormigón y el ladrillo cerámico, el peso es una cuarta parte o una quinta parte, y esto sí que es determinante.

Por lo que, adoptando el sistema de TCL, de forma general, se estará construyendo un edificio 4 o 5 veces más ligero que si fuese de hormigón.

El ser tanto más ligero genera que las fuerzas de respuestas que genera el mismo edificio sean mucho menores, por lo que los problemas a resolver son menores. Se podría decir que un sismo afecta 4 veces más un edificio de hormigón que a uno de madera.

Waugh Thistleton arquitectos son los responsables del proyecto residencial conocido como Murray Grove, estos arquitectos, en una presentación del edificio, hicieron una comparación entre el edificio de madera o si hubiera realizado en hormigón:

Structural Form



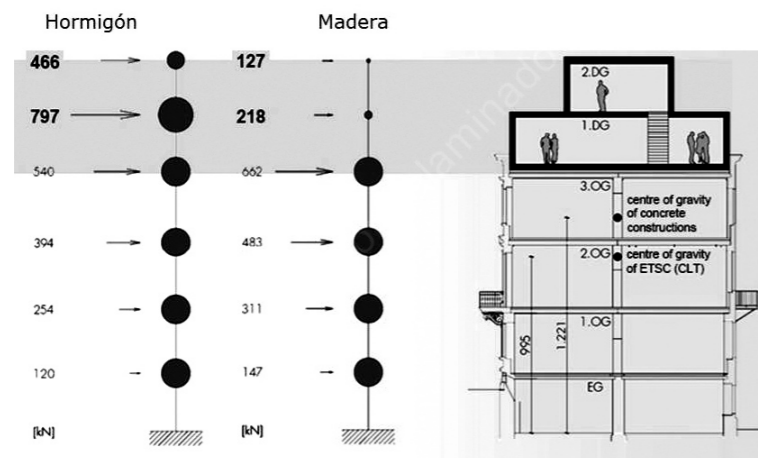
Density	480kg/m ³	2400kg/m ³
Weight	300tonnes	1200tonnes
Programme	49 weeks	72 weeks

architects Waugh
Thistleton

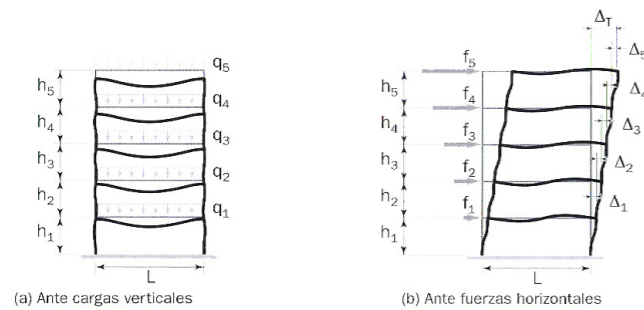
Comparativa de Waugh Thistleton entre madera y hormigón.

	CLT	Concrete
Density	480kg/m ³	2400kg/m ³
Weight	300tonnes	1200tonnes
Programme	49 weeks	72 weeks

Acciones Sísmicas según Modelo Simplificado EN-1998-1



Comportamiento de TCL ante una rehabilitación.



Control de las deformaciones. Ductilidad



Modelo chileno/japonés frente al modelo EUA

En un estudio que se presentaba en una Web (www.panelcontralaminado.com) se hablaba de las bonanzas de construir con tablero contralaminado y hacían el inciso en rehabilitación o remontas, donde hacían la comparación entre hacerlo con hormigón o con contralaminado. La conclusión era que con hormigón el centro de gravedad se modificaba, cambiando la respuesta del edificio a sismo y como con Tablero Contralaminado, el punto de gravedad no variaba, no se desplazaba, por lo que no afectaba a las condiciones de origen del edificio.

Lo que se ha comprobado es que el sistema de Tablero Contralaminado es absolutamente resistente y con una buena configuración, carga-riostra, se acaban formando unos sistemas estructurales con gran redundancia, que se comportan muy bien a los esfuerzos de respuesta ante un sismo.

Al final, estas mega-estructuras (los tableros) lo que provocarán son enfatizar sus puntos débiles y estos puntos serán las uniones entre tableros, que a su vez pasarán a ser sus puntos fuertes.

El control de sus **uniones** provocará un control de la deriva y esta deriva se usará como mecanismo de disipación de energía. En esto se basaría el concepto de **Ductibilidad**, que es la capacidad que poseen los elementos de los edificios para soportar grandes deformaciones inelásticas (plásticas) alternantes, sin fractura y sin pérdida apreciable de su capacidad resistente.

En este punto, es donde existe el gran debate para la realización de edificios sismorresistentes. Existen dos corrientes, la que plantea las uniones rígidas y la que plantea uniones no tan rígidas, el **modelo Chileno/Japonés** frente al **modelo EUA**.

El modelo de Estados Unidos sería el de uniones “flexibles”, el de permitir al edificio que se deforme, dentro del rango plástico, sin llegar al colapso. El modelo Chileno/Japonés sería el que diseña edificios que no permite que se deformen más allá de su momento elástico y que plantean elementos (de prótesis) para la disipación de energía.

Unos proponen estructuras dúctiles y otros rígidas y reforzadas.

A día de hoy el modelo que se ha ido imponiendo para el diseño de edificios sismorresistentes es el modelo Chileno/Japonés, lógicamente cuando se hablan de estructuras de hormigón armado.

• Principales sismos producidos (por número de víctimas)

Fecha	Lugar	Víctimas	Magnitud
1556	Shansi China	830.000	No se conoce
1976	Tangshan China	255.000	8.0
1138	Alepo Siria	230.000	No se conoce
1927	Nr Xinig China	200.000	8.3
1856	Damghan Irán	200.000	No se conoce
1920	Gansu China	200.000	8.6
1893	Ardabil Irán	150.000	No se conoce
1923	Kwanto Japón	143.000	8.3
1908	Mesina Italia	70.000 a 100.000	7.5
1948	Ashgabat Turkmenistan	110.000	7.3

- | | |
|---|--|
| 1. Earthquake and tsunami, Japan (2011) — | Cost: \$235 billion (by the World Bank) |
| 2. Kobe earthquake, Japan (1995) — | Cost: \$100 billion (by the World Bank) |
| 3. Hurricane Katrina, U.S. (2005) — | Cost: \$81 billion total damage cost (by NOAA) |
| 4. Northridge earthquake, California, U.S. (1994) — | Cost: \$42 billion (by NOAA) |
| 5. Sichuan earthquake, China (2008) — | Cost: \$29 billion (by the World Bank) |

Diferentes modos de valoración de terremotos.

Conclusions:

New trend
for building design in seismic regions:

no loss of lives
but also
no loss of property



www.progettosofie.it

Diapositiva final de la presentación de FPInnovations. febrero 2011

La razón de porqué se ha tendido hacia un modelo y no a otro se puede entender si entendemos las razones principales que motivan a diseñar edificios sismorresistentes. Se pueden resumir en dos:

- 1 - Diseñar edificios que permitan preservar vidas humanas
- 2 - Tratar dentro de lo posible, controlar las pérdidas económicas.

o en el Eurocódigo 8 en su parte 1ª en el punto 1.1.1 Campos de aplicación, nos dice que su objetivo es que:

- 1- Las vidas humanas estén protegidas
- 2- El **daño esté limitado.**
- 3- Las estructuras importantes para Protección Civil sigan operativas

En el punto 2.1 de esta misma parte, insiste en la idea de la Requisito de **limitación de daños** y en los requisitos de no colapso que deben tener las estructuras.

En ambos casos el punto 2 es claves para entender que el modelo dúctil es inviable con estructuras de hormigón e incluso en estructuras de acero por el gran coste que implicaría su rehabilitación, a pesar que pudiera ser mas seguro para la vida de las personas.

Los terremotos se valoran por su magnitud e intensidad pero también por las víctimas que genera y por el coste económico que provocan. El coste económico de reconstrucción seguramente es más importante que las víctimas que genera el terremoto en primera instancia porque el drama de la reconstrucción puede provocar muchas más víctimas a posteriori, se puede decir que el terremoto de Haití que empezó el 12 de enero de 2010 aún hoy no ha acabado de temblar.

FPInnovations, en la presentación de Vancouver acaba su PowerPoint diciendo que el TCL es:

“Nueva tendencia para el diseño de edificios en zonas sísmicas:

*sin pérdida de vidas
pero también
sin pérdida de la propiedad”*

Se anuncia como una novedad, como algo que hasta ahora no se podía plantear, la rehabilitación de edificaciones afectadas por sismos y es en este punto donde más fuerza tiene el TCL para el diseño de edificios sismorresistentes.

DUCTILIDAD Y CONTROL DE LA DERIVA.

Construir a partir del sistema de TCL nos permite replantear la situación y pensar que el modelo DÚCTIL como disipador de energía es viable tanto para la preservación de las vidas humanas como la preservación de la economía.

El control de la Deriva nos va a permitir poder tener diferentes estrategias a partir de generar puntos más rígidos que otros. El sistema de muros cruzados nos permite pensar en jugar con plantas débiles.

Si entendemos que el conjunto que forman los muros es estable y a la vez genera una gran inercia a cualquier esfuerzo horizontal, debemos pensar que otro punto donde se puede mejorar el comportamiento de edificios de Tablero Contralaminado son las uniones, uniones tanto de las pletinas como de los tableros entre ellos en el mismo plano.

Más recientemente en el “World Conference on Timber Engineering” realizado en Auckland New Zealand en Julio de 2012 en una presentación titulada “Active Damping for Cross-Laminated Timber Structures to Improve Seismic Performance” realizada por Shiling Pei, J. Daniel Dolan, Hongyan Liu, John van de Lindt, and James M. Ricles, habla de la posibilidad de generar estrategias para romper la deriva introduciendo plantas débiles o asimetrías de rigideces y como así se genera plantas donde se concentra y se confina toda la ductilidad y a la vez se produce una reducción de la aceleración.

“El concepto de la alteración de las plantas seleccionadas para permitir un comportamiento dúctil permite la mitigación de la aceleración experimentada por los ocupantes durante un terremoto. La mayoría de las plantas puede ser construidas de forma rígida para maximizar la eficiencia de los prefabricados de TCL. Con la reducción de la demanda de fuerza como resultado de la respuesta dúctil de las plantas seleccionadas, estas plantas rígidas pueden permanecer sin daños durante un acontecimiento importante....”

De las pruebas realizadas a partir de prototipos a escala real se han ido extrayendo conclusiones importantes para entender el comportamiento de los tableros. Las pruebas de carga de los TCL cuando las paredes están formadas por más de un tablero unidos a partir de unión escalonada, generan una absorción al deformaciones que mejora la fatiga de las pletinas de base. (FPInnovations)

En la prueba de un muro de dos plantas se observó que la cimentación es la gran distorsionadora de rigideces, es la que provoca irregularidades de rigideces y es donde las pletinas sufren más, las uniones con pletinas de la planta superior no sufrieron daños. Lo que se ve claro es que no importa el comportamiento del Tablero, las uniones, la suma de uniones son las que asumen las deformaciones y sí se ve una gran deformación en las pletinas de base, con la cimentación.

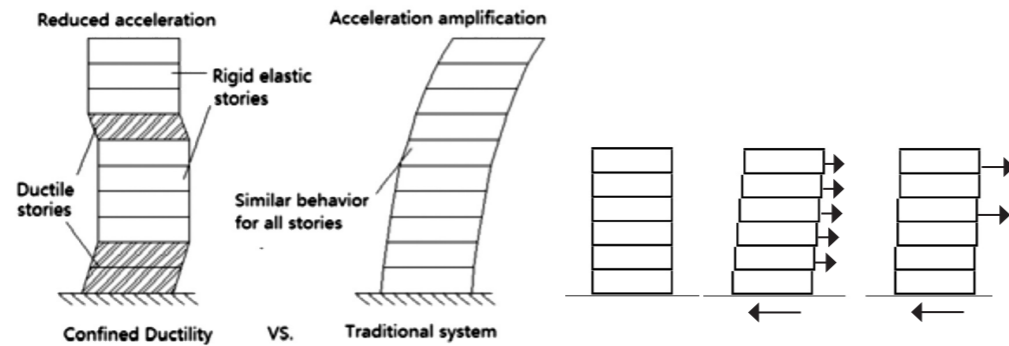
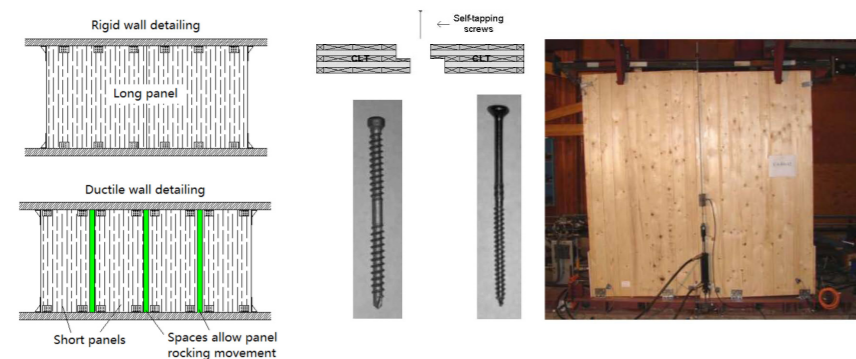
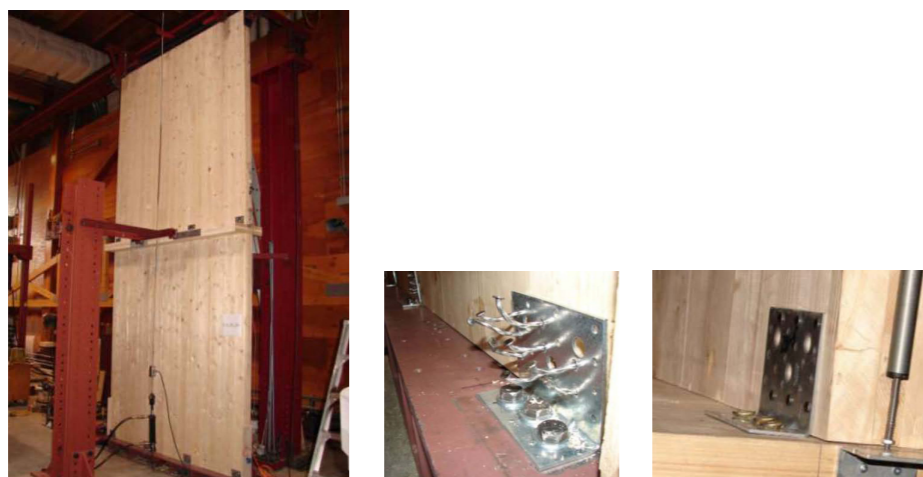


Figure 2: Distributed ductility and damping concept for multi-story buildings

Posibilidad de estrategias con la Ductilidad



Estrategias dúctiles. Muro dúctil



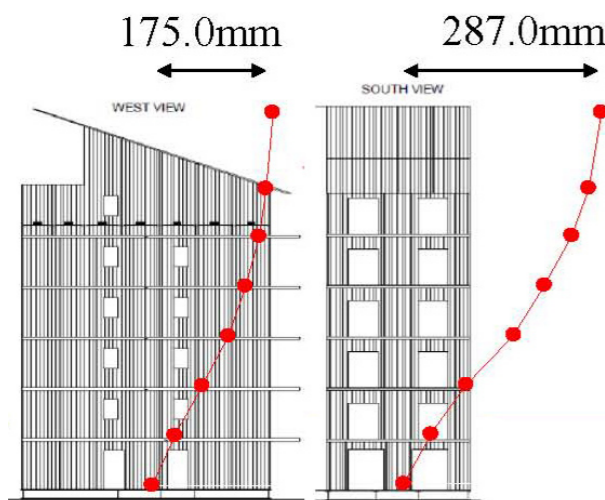
Test de dos plantas. Pletinas de unión de cimentación frente a las de planta primera.



Daños en pletinas en tests de FPIinnovations y de Sofie project



Daños en pletinas en tests y afectación por cortante de un tablero



Resultados de deriva en los test de Japón.

FPIinnovations plantea, pletinas especiales para la unión con la cimentación que a la vez da una gran ductibilidad, se entiende que incluso es mejor las uniones con clavos o con tornillos, que serían los que dañan menos el tablero, (incluso se hace notar la diferencia entre ellos y como las uniones con cierta rosca arrancan parte de madera del tablón y la otra no, teniendo la misma respuesta) que uniones tipo en espera que son poco flexibles. Se sacaron conclusiones que las uniones de muros por su base tipo espárragos no se recomendaba por la falta de ductibilidad, tampoco se recomiendan las cruces de San Andres a partir de 3 plantas por la misma razón, rigidizar demasiado el conjunto.

Lo que hay que ver es como funciona el conjunto, el análisis de los elementos individualizados hay que verlos una vez actúen con el conjunto. Las pruebas realizadas ya con modelos reales de edificio de 7 plantas en el centro de Japón dieron unos resultados de una deriva de 175mm longitudinalmente y 287mm transversalmente.

Si pensamos que cada unión está hecha a partir de dos pletinas. Pletina de arranque de muro y pletina de sujeción del forjado (techo), podríamos aventurarnos que la deformación es de 12,5mm y de 20,5mm por pletina. Son valores que la misma pletina lo absorbe de forma elástica

Es decir, al modelo de 7 plantas se le sometió a unos 14 test, reproduciendo las condiciones de los terremotos de mayores magnitudes conocidas y la conclusión fue que el sistema era fantástico para sismo. Como se había visto en pruebas anteriores, los puntos débiles de las uniones con la cimentación ya se habían solucionado con pletinas especiales que le ofrecían una gran ductibilidad al sistema sin llegar a fallar y que después de las pruebas los daños eran ridículos y lógicamente la propiedad seguía en pie.

Hasta este momento de forma empírica no ofrece discusión pero la problemática o el debate se vuelve a focalizar en el cálculo y qué valor se le otorga como "q factor" o "r factor" a una estructura de TCL, que factor de reducción de fuerza sísmica al tener sistemas pasivos de disipación de energía (pletinas de uniones = sistema dúctil)



Buen diseño redundante

Sabemos que para el cálculo del cortante sísmico de base, equivalente a los efectos inerciales horizontales totales se usa la expresión (dejando a parte todos los efectos de momentos por vuelcos y otros esfuerzos) : $V_s = S_a \cdot g \cdot m / R$

Donde S_a es la aceleración espectral (terreno), g es la gravedad, m es la masa total del edificio (masa reactiva) y R modificador de respuesta.

R es de gran importancia y fijar su valor es prioritario para poder introducir el sistema en los mercados del mundo.

En el libro de Teresa Guevara Perez, "Arquitectura moderna en zonas sísmicas", nos dice o describe R como la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico de un sistema estructural.

A la vez nos cita el informe ATC-19 del Consejo de Tecnología Aplicada (Estados Unidos) titulado "Structural Resoponse Modification Factor" que recomienda que en la evaluación de R se consideren los efectos de reducción debidos a tres de sus componentes principales: factor de ductilidad (R_m), factor de resistencia (R_s) y factor de redundancia (R_r).

En un documento del Dr. Ing. Roberto Aguilar Falconi realizado para la escuela politécnica del ejercito de Ecuador titulado " Factor de reducción de fuerzas sísmicas en edificios de hormigón armado", uno se puede hacer una idea de la importancia de fijar los factores.

En Ecuador el factor de reducción de fuerzas sísmicas R se obtiene a partir del factor de resistencia por ductilidad , del factor sobre resistencia y del factor sobre la redundancia pero en Venezuela , Colombia, Chile o Perú, en cada uno de estos países la norma fija unas consideraciones diferentes tanto en parámetros a usar como niveles máximos de deriva a considerar, etc... es donde percibes lo complejo que puede llegar a ser el cálculo o mejor dicho la **justificación** del cálculo.

Para construcciones a partir del Sistema de Tablero Contralaminado, FPIinnovations adopta la norma canadiense, National Building Code of Canada (NBCC, 2005), y nos habla de dos factores R_o y R_d .

El factor R_o es el factor de sobrerresistencia del istema y el R_d relacionado a la ductilidad de la estructura, dando a R_o un valor de 1,5 y a R_d un valor de 2 .

El Eurocódigo solo hace referencia al factor "q" para la reducción de la fuerzas de cálculo del sismo (fuerzas sísmicas de diseño) y en las pruebas realizadas de SOFIE se ha llegado a otorgar valor "q" una media de 3,44.

Tabla 4.1
Tipos estructurales y factores de comportamiento

Tipo	Descripción	Factor de comportamiento q
A	Estructuras no disipativas	1,0
B	Estructuras con baja capacidad de disipación de energía	1,5
C	Estructuras con capacidad media de disipación de energía	2,0
D	Estructuras con buena capacidad de disipación de energía	3,0

Tipo	Descripción	Ejemplos
A	Estructuras no disipativas que tienen como elemento de conexión un elemento rígido en la zona de conexión.	<p>Muros sencillos</p> <p>Estructuras con conexión rígida en la base</p> <p>Estructuras con disipación vertical para resistir las fuerzas horizontales, pero que no tienen como elemento de conexión un elemento rígido en la zona de conexión.</p>
B	Estructuras con baja capacidad de disipación de energía	<p>Estructuras con conexión tipo en la base por conexión ortogonal</p> <p>Estructuras con poca zona disipativa, poca ductilidad</p>
C	Estructuras con capacidad media de disipación de energía	<p>Edificios con estructura tipo columna-beam con elementos rígidos en la zona de conexión.</p> <p>Edificios con disipación vertical para resistir las fuerzas horizontales, en que los puntos de fijación a la grúa por conexiones ortogonales en otros los elementos rígidos en la zona de conexión.</p>
D	Estructuras con buena capacidad de disipación de energía	<p>Edificios con disipación vertical para resistir las fuerzas horizontales, en que los puntos de fijación a la grúa por conexiones ortogonales en otros los elementos rígidos en la zona de conexión.</p>

Eurocódigo 8 Parte 3 de 3. Factor de Comportamiento



Almacén de logística para Salien Austria. Arq: Dr. Shebl. MMKaufman. Sistema poco redundante.

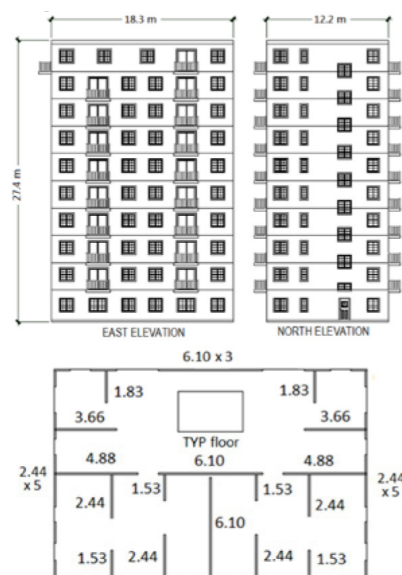
El Eurocódigo 8 en su parte 3ª punto 4.3, nos habla del Factor de comportamiento “q” en el caso de construcción en madera y da un máximo de 3. Si repasamos las posibilidades que da la norma en el caso del hormigón vemos como le otorga incluso valores de 5. Esto es debido a que la norma en madera no se ha desarrollado como en el caso del hormigón.

En el “World Conference on Timber Engineering” realizado en Auckland New Zealand en Julio de 2012 en una presentación titulada “Numerical simulation of the seismic response of timber frame multi-storey building.” hecha por Natalino Gattesco, Rita Franceschinis, a la conclusión que se llegaba era: *“Los resultados evidencian que el valor máximo del factor de comportamiento permitido en el Eurocódigo 8 para este tipo de estructuras puede ser inseguro”* y concluían diciendo que *“Es entonces necesario profundizar en esta investigación el análisis de muchos otros tipos de edificios con el fin de permitir la elaboración disposiciones exhaustivas para valores seguros del factor de comportamiento”*

Está claro que por un lado o por el otro la norma es vaga y con una falta clara de tradición en los sistemas basados en madera.

En la presentación de Shiling Pei, Marjan Popovski, John W. van de Lindt, titulada “seismic design of a multi-story cross laminated timber building based on component level testing” llegan a la conclusión, a partir del análisis del comportamiento de un edificio de 10 alturas, que el factor r puede ser de 4,3 con una configuración simétrica en planta.

“Basándose en los resultados de este estudio un valor de $R = 4,3$ se puede asignar a la construcción analizada y edificios simétricos similares en ASCE7 como ejemplos de estructuras con paneles de pared CLT que utilizan clavos en espiral en los soportes,....”



Presentación de Shiling Pei, Marjan Popovski, John W. van de Lindt



Falla por planta débil.

Estos valores (FPInnovations) se basan en un diseño pensado en la disipación de energía que en el caso del TCL se da en las uniones o conexiones, entre forjado con muros, entre muro y muro o losa con losa. Los primeros se han realizado a partir de pletinas especiales (pletinas de unión con cimentación, etc..) pero los segundos, las uniones de elementos a testa, se han realizado con detalles de uniones geométricas con cierta sensibilidad a la problemática del sismo, es decir, las uniones entre losa de forjados se recomienda hacerlas a partir de uniones en escalón o las juntas verticales de uniones entre muros a partir de tablas de transición con cosidos verticales que dan una gran ductilidad al sistema o también con detalles de escalón.

En el proyecto final de master de Miguel Ángel Carcacia Vilches titulado “Estudio comparativo de sistemas constructivos en madera para edificios de más de 3 plantas” podemos ver como los diferentes sistemas constructivos en madera, se comportan de forma diferente frente a sismo.

Y como para sistemas de entramado se plantean postensados verticales para generar un monolitismo vertical, como se da en el proyecto de Condominio Remy, Canadá, utilizando una estrategia totalmente distinta a la que se plantea con los TCL.

“ATS es un sistema de anclaje de sujeción, compuesto por barras continuas que se extiende desde la base hasta la cima de la estructura, generando puntos de contención en cada nivel, comprimiendo la estructura, generando un monolitismo en sentido vertical. Este elemento está diseñado para proporcionar una capacidad de carga y resistencia al vuelco para edificios de varios pisos construidos en madera en zonas sísmicas...”

El sistema prefabricado de Tableros Contralaminados para estructuras es una gran solución para edificar en zonas sísmicas si se suman una serie de factores. El **Material** (masa) como el **Sistema** (uniones) nos da un sistema dúctil que debe responder a esfuerzos menores, que sumado a un **Diseño** de la estructura “sismorresistente”, tanto en la configuración de la estructura como en el detalle de sus uniones, hacen de éste un sistema óptimo para un DESR (diseño de estructuras sismorresistentes).

$$\text{DESR} = \text{DISEÑO} + \text{DENSIDAD} + \text{UNIONES}$$

4.3. SISTEMA DE FIJACIÓN (UNIONES).

SISTEMA DE UNIÓN.

El sistema prefabricado estructural a partir de tablero contralaminado TCL estaría compuesto de dos elementos; **los tableros y las uniones**. Tanto los tableros como las uniones entre ellos, tienen la misma importancia y como se ha visto incluso en aspectos como su comportamiento a sismo, son las uniones, las que le otorgan su buen comportamiento por la ductilidad que da al sistema.

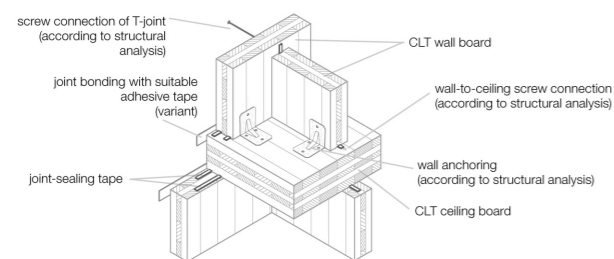
La eficiencia estructural del sistema depende del tablero pero a la vez de las uniones y sobretodo del diseño de estas, tanto a partir de **como**, como con **que**.

Para la elección del tipo de unión también depende de qué tipología se escoge, como en la construcción en madera a partir de montantes, marcos o bastidores (frame), existe dos tipos, La “Platform” y la “Balloon”.

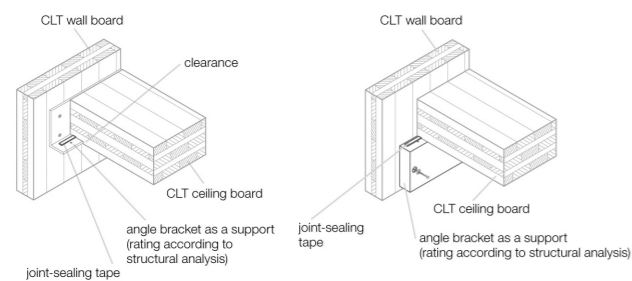
El “platform board”, sería el sistema en que los forjados se apoyan sobre los muros de la planta inferior y los siguientes muros se apoyan sobre el forjado. Es un sistema de gran sencillez que permite ir levantando planta a planta con conexiones entre paneles simples y con un funcionamiento estructural simple.

El “balloon board” sería a partir de muros continuos de varias plantas donde los forjados se conectan con los muros pasantes. Este tipo sería para construcciones de baja altura y es poco común. Las conexiones son más complejas y a la vez son las que transmiten la cargas “principales”.

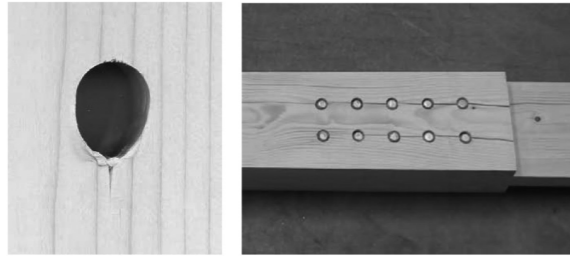
La elección de una tipología u otra hará que necesitemos un tipo de unión u otra, sobretodo porque en la unión, las solicitudes a resolver son distintas.



Platform board. (Stora Enso 2012/Version 04/2012)



Balloon board. (Stora Enso 2012/Version 04/2012)



Punto débil.

La Unión es el punto más débil del sistema, donde vamos a fijar la posición de un material, de madera, con unas propiedades de higroscopicidad que hace que estos puntos (las uniones) siempre se hayan tenido que estudiar con mucha atención para evitar tensiones

“La unión es un posible punto de ruptura del material debido a la presencia de taladros, hendiduras, etc. y, a menudo, la combinación de dos o más materiales con propiedades diferentes. Para su correcta ejecución, además de verificar su capacidad de resistencia, su comportamiento en situación de incendio y su durabilidad, se deben tener presentes las particularidades que acompañan a la madera: anisotropía, variaciones de sus dimensiones provocadas por cambios de humedad (especialmente las transversales) y escasa resistencia a la tracción perpendicular.”

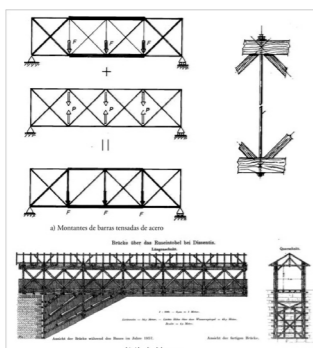
Esto es lo que decía Ramón Argüelles Álvarez en un discurso y que viene recogido en un escrito llamado “Uniones: un reto para construir con madera”, en esta presentación hizo un recorrido histórico de como se ha llegado hasta el momento actual en lo que a las uniones de estructuras de madera y lógicamente en lo que a estructuras lineales se refiere. Pero lo que está claro es que la evolución del sistema de unión entre maderas se ha dado en las estructuras lineales.

Nos habla de la problemática de la higroscopicidad de la madera y como las uniones han tenido que solventarlo, algo que con los tableros contralaminados viene en parte resuelto por la misma génesis del tablero, a pesar que no deja de tener ciertos movimientos (mínimos por su gran estabilidad dimensional).

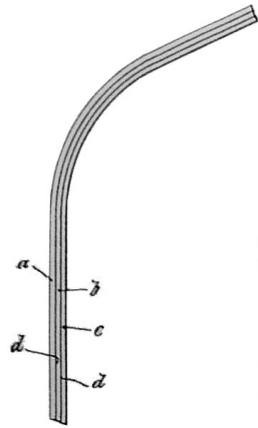
A nivel histórico lo que está claro es que el avance de las estructuras de madera han ido relacionadas con el desarrollo tecnológico de los medios de unión o de sus técnicas. Hasta el S.XX solamente se realizaban uniones de carpintería acompañadas de algún elemento metálico, utilizado como medio de fijación. Todas las uniones, de madera con madera, transferían muy bien las compresiones pero para las tracciones ideaban soluciones ingeniosas, como descomponer la estructuras en infinidad de barras para que los esfuerzos fueran mínimos y las clavijas de madera transmitieran el esfuerzo a partir de un cortante admisible (puente de Rotenbrücke, 1862, IthielTown) o ya introduciendo barras de acero pretensado que generaba que el sistema siempre estuviera en compresión (puente de Graubünden, 1857, William Howe).



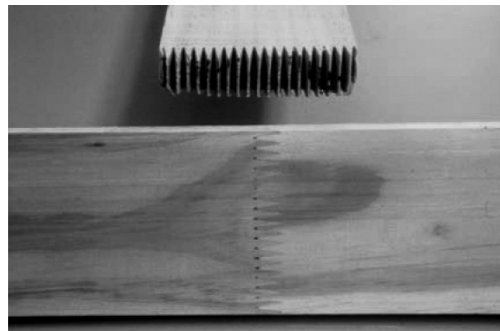
Puente de Rotenbrücke, 1862, IthielTown



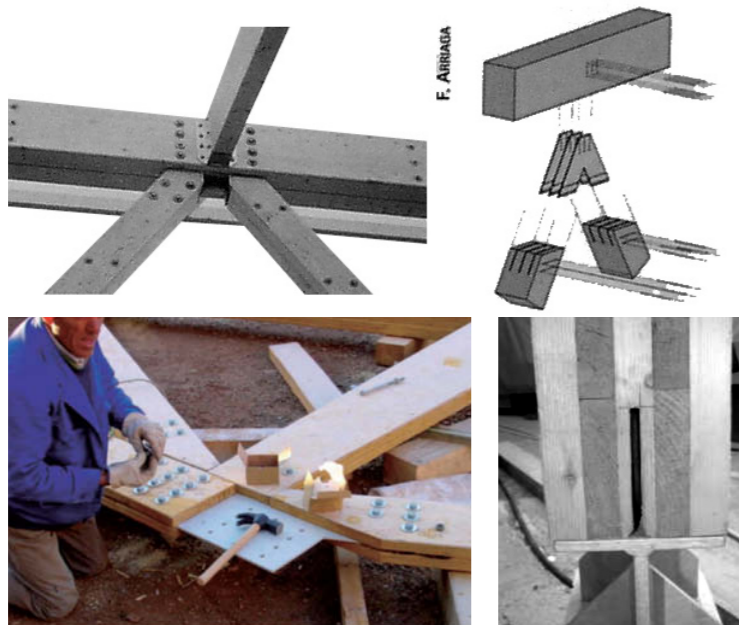
Puente de Graubünden, 1857, William Howe



Patente de Friedrich Otto Hetzer



Unión en dentado múltiple y encolado posterior.



Inserciones metálicas

No es hasta el siglo XIX o más bien el XX que no hay una evolución de los sistemas de unión. Hasta el momento era la pericia del carpintero quien decidía como iban a ser, a partir de entonces las estructuras de madera evolucionan compitiendo con las de acero y es cuando se empiezan a sustituir las uniones de clavijas de madera (roble), utilizadas hasta entonces para formar piezas compuestas con el fin de realizar empalmes de barras sometidas a esfuerzos de tracción o para incrementar la capacidad de resistencia a la flexión de las vigas, por conectores de acero. Inicialmente eran placas plegadas que evolucionaron a conectores de anillo que ya se usan a día de hoy, estos conectores permiten transmisiones de cargas más elevadas en piezas de mayor escuadría, principalmente en estructuras de madera laminada encolada.

El uso de un material más resistente facilita el diseño de uniones de apariencia más ligera. Entre los años 1920 y 1930 se produce un auténtico auge de esta clase de llaves registrándose más de 60 patentes en EEUU.

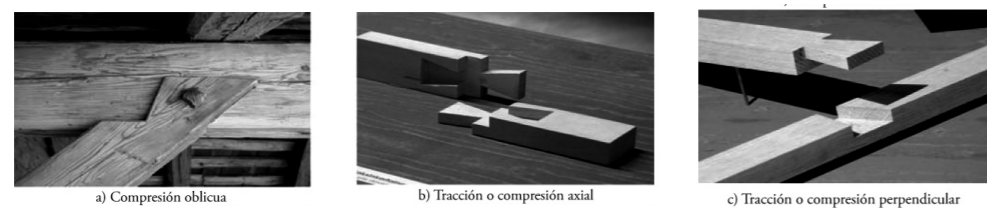
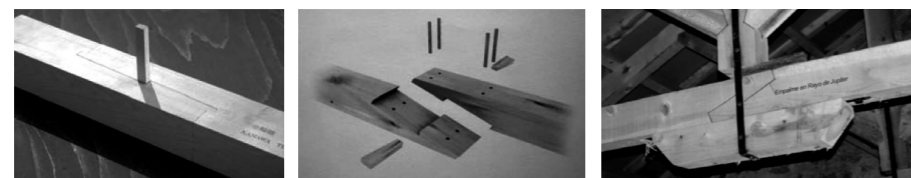
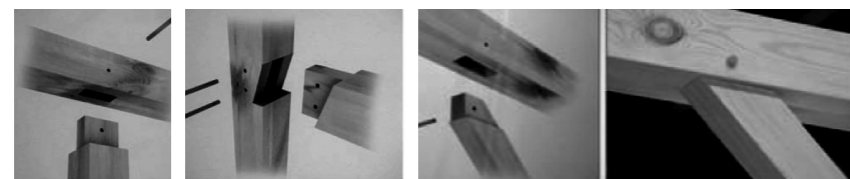
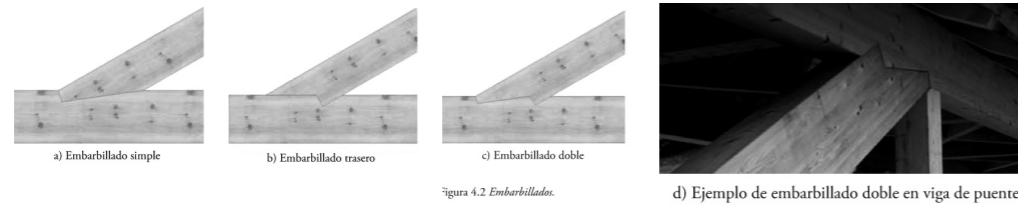
No es hasta 1925, cuando el “Clavo” a partir de ensayos demuestra su capacidad como conector permitiendo diseñar uniones de barras de secciones reducidas con gran facilidad. Su aplicación en la fabricación de cerchas y vigas de celosía se intensifica durante la segunda guerra mundial.

La misma guerra y la falta de acero provocan el desarrollo de la madera laminada permitiendo una revolución en las estructuras de madera y a la vez en sus uniones. Son estas estructuras las que provocan el desarrollo de detalles de encuentros.

Las estructuras de madera laminada aparecen a principios del siglo XX cuando el maestro carpintero alemán Friedrich Otto Hetzer patenta por primera vez en 1901 las vigas rectas. Posteriormente, el 22 de junio de 1906 registra también con el número 197773, una patente de un sistema de vigas curvas. **La estrategia que sigue es utilizar piezas de pequeña escuadría llegando a formar piezas de tamaño casi ilimitado.**

El desarrollo de las uniones parte de un concepto sencillo: *“una clavija es un vástago, en general de acero, que penetra en la madera y le transmite esfuerzos en dirección perpendicular a su eje. Debido a que la clavija es en general una pieza esbelta, su influencia sobre la madera que la rodea está limitada solamente a una parte de su longitud. Para mejorar la eficiencia de la unión se puede optar por sustituir la sección completa por dos o más secciones de madera de menor tamaño o, lo que es más operativo, insertar una o más placas de acero que generen para la misma sección varias superficies de corte.”*

A partir de esta premisa empieza la aparición de inserciones metálicas que aumentan enormemente la transmisión entre elementos hasta hoy.



Ramón Argüelles Álvarez las divide en dos tipos, las **uniones tradicionales** y las **mecánicas**.

Las tradicionales procedentes de un saber ancestral y empírico, cayeron en desuso por la dificultad de encontrar carpinteros especializados y por el excesivo coste de su fabricación. Actualmente han recuperado especial protagonismo, gracias a la fabricación asistida por ordenador, al reducirse costos y aumentar la precisión de la ejecución. La limpieza de esta clase de uniones es muy superior a la de las uniones mecánicas en las que priman los elementos metálicos que implican, a menudo, un sobredimensionado de las escuadrías.

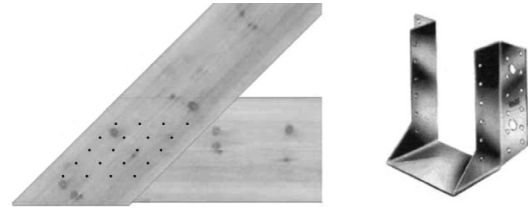
La tendencia actual consiste en realizar uniones tradicionales sin aportación alguna de herraje metálico que, de utilizarse, es solamente como medio de fijación.

1. Ensamblés por barbilla
2. Ensamble de caja y espiga
3. Empalmes de llave y de rayo de Júpiter
4. Uniones en cola de milano

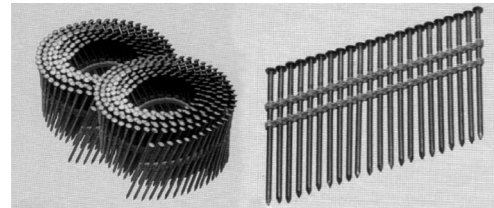
Las mecánicas son las más empleadas actualmente. Con esta denominación se incluyen todos los sistemas de unión que emplean elementos metálicos a modo de pasadores y placas, lo que implica la colaboración de otro material para la transmisión de los esfuerzos. Su aportación mejora sustancialmente los bajos rendimientos de las uniones tradicionales.

Se dividen en dos grupos:

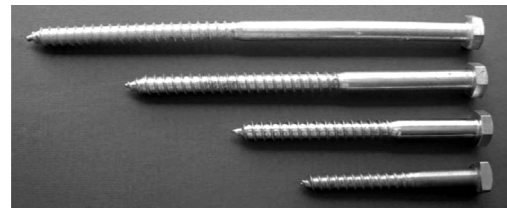
1. Conectores tipo clavija (clavos, tornillos, tirafondos, pasadores, grapas) constituyen la base de este medio de unión.
2. Conectores de superficie (anillos, placas y conectores dentados) que resisten también fuerzas de corte y son aún más exigentes en lo que se refiere a su separación.



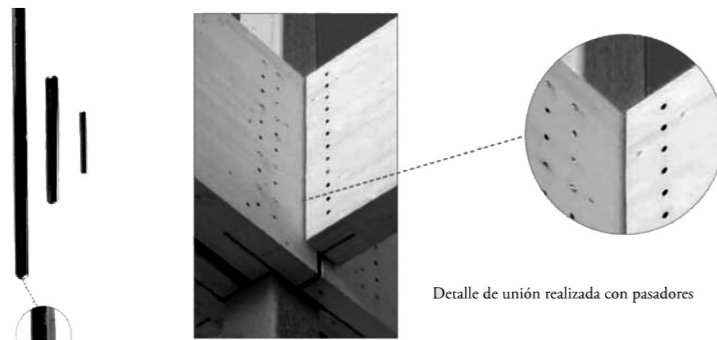
Uniones clavadas. Unión de par/tirante mediante clavos. Estribo extremo



Clavos en rollo y en tira.



Tirafondos



Detalle de unión realizada con pasadores

Pasadores

CONECTORES TIPO CLAVIJA.

Conectores tradicionales

Los clavos constituyen el medio de unión más común en los sistemas de entramado ligero. El tipo de clavo más utilizado es el de fuste de adherencia mejorada, con resaltos en forma de cuñas o de helicoides. Los clavos lisos tienen una muy baja resistencia a la extracción. También se utilizan para la fijación de herrajes de apoyo o cuelgue, como los estribos de apoyo de correas en las piezas principales de madera laminada encolada.

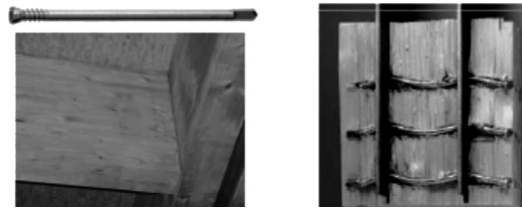
El empleo de clavos para unir madera/madera o madera/tablero suele quedar limitado a piezas de un grueso moderado, entre 35 y 140 mm. Cuando se utilizan para la fijación de herrajes son siempre de adherencia mejorada pudiendo penetrar en piezas de gran espesor. Los esfuerzos que transmiten están comprendidos entre 0,5 y 1,5 kN.

Los tirafondos o tornillos para madera, clásicos o tradicionales se fabrican, en general, con diámetros que varían entre 4 y 20 mm y longitudes de 25 a 300 mm, aproximadamente, con cabeza hexagonal. El 60% de la totalidad del vástago está roscado. Exigen pretaladro para que no se produzcan fisuras si el diámetro es superior a 5 mm. Su diferencia principal con los clavos es su mejor respuesta ante esfuerzos de extracción. La capacidad de carga ante esfuerzos de corte es algo superior a la de los clavos.

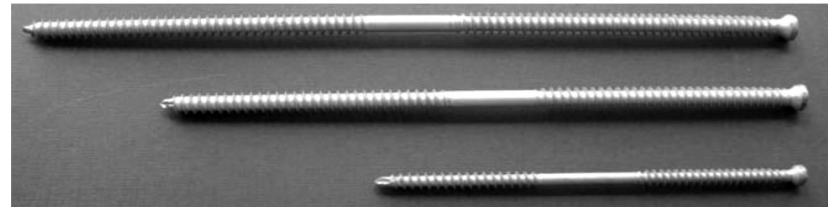
Los pernos: tienen fuste cilíndrico con cabeza y tuerca. De diámetros superiores a clavos y tirafondos, entre 12 y 30 mm, permiten la transmisión de cargas más elevadas. Se emplean para las uniones de piezas de madera aserrada con gruesos mínimos de 40 mm y de piezas de madera laminada.

Pueden utilizarse para la unión directa madera/madera o acero/madera. El diámetro del agujero es hasta 1 mm mayor que el del propio perno, holgura que disminuye la capacidad de transmisión de carga y genera mayores deslizamientos que los que se presentan en las uniones realizadas con clavos, tirafondos o pasadores, de ahí que lo normal sea que el perno se utilice como elemento de fijación de otro tipo de conector. La capacidad de transmisión de esfuerzos es de 6 a 15 kN.

Los pasadores son barras lisas de acero de sección circular con diámetros comprendidos entre 8 y 24 mm, largos de 50 a 500 mm y extremos de embocaduras biseladas. Dan a la unión un aspecto estético mejor que los pernos al no tener cabeza, tuerca ni arandelas. El taladro es de un diámetro ligeramente inferior (de 0,8 a 1 mm) lo que obliga a su ajuste con cierta presión que garantiza su eficacia en la transmisión de esfuerzos. Es sencillo ocultar los pasadores, con lo que se consiguen mejores prestaciones en caso de incendio. Se emplean en uniones de piezas de madera laminada encolada, combinados, en general, con placas metálicas. Exigen una puesta en obra muy precisa y un control muy estricto del contenido de humedad para evitar movimientos indebidos.



Pasadores autotaladrantes



Conectores de doble rosca



Los tornillos todo rosca de cabeza cilíndrica y cabeza avellanada



Los conectores madera / hormigón



Barra todo rosca sin cabeza



Fijación de herraje mediante tornillo con cabeza avellanada de roscado completo

Conectores de última generación

Pasadores autotaladrantes: Son de acero al carbono. Se fabrican con diámetros de 5 a 7 mm y largos que varían de 73 a 193 mm y de 113 a 233 mm, respectivamente. Se aplican en uniones acero / madera con un máximo de 3 placas de acero embutidas de 5 mm de espesor o una sola placa de 10 mm. En general se trata de uniones en las que la parte metálica queda protegida, proporcionando una respuesta al fuego excelente.

El comportamiento de estas uniones ha sido analizado teóricamente y testado experimentalmente. Su rotura es dúctil, presentándose el fallo tras una deformación considerable de los pasadores.

El campo de aplicación es muy extenso. Comprende nudos de vigas trianguladas; nudos de esquina de pórticos a dos aguas; empalmes de piezas de madera; empotramientos de pilares; uniones viga/pilar y apoyos sobre pilares.

Conectores de doble rosca autoperforantes: Son elementos de enlace concebidos para unir piezas de madera/madera. Se diferencian de los tirafondos tradicionales por sus dos roscas, una de avance y otra de apriete. Entre las dos zonas roscadas hay una zona no roscada, denominada caña, de 30 mm de longitud. Las longitudes disponibles son: 160, 190, 220, 245 y 300 mm.

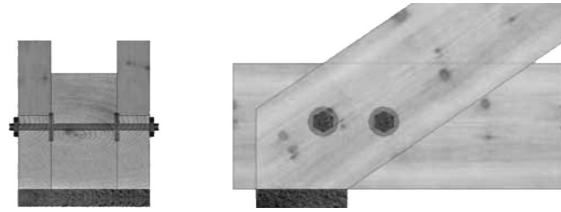
Gracias a las dos roscas, estos conectores, además de fuerzas de corte, pueden resistir fuerzas axiales de tracción y, también, de compresión, resultando enlaces particularmente eficaces y rígidos.

Los tornillos todo rosca de cabeza cilíndrica con punta auto perforante desarrollan análogas funciones que los de doble rosca.

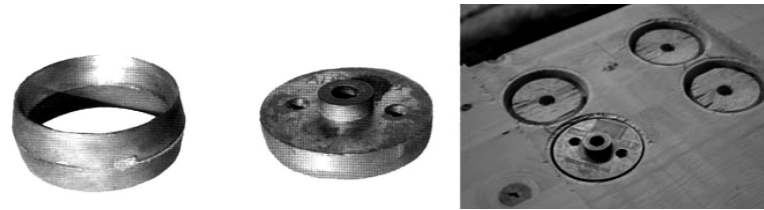
Los tornillos todo rosca de cabeza avellanada con punta auto perforante se emplean para uniones madera / acero o madera / madera

Los conectores madera / hormigón se utilizan en obras de rehabilitación para hacer solidaria la losa de hormigón con la viga de madera consiguiéndose una viga mixta cuya capacidad de carga llega a duplicar a la de la madera.

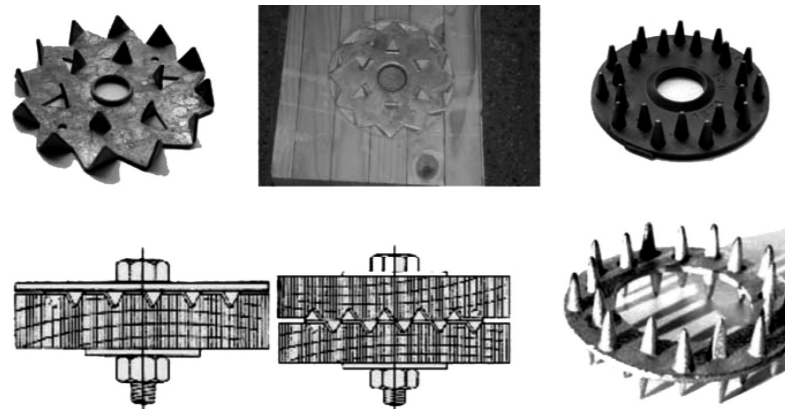
Barra todo rosca: Corresponde a un sistema de refuerzo en zonas de tracción perpendicular a la fibra (zonas de vértice, vigas entalladas y refuerzo en superficies de tracción perpendicular).



Apoyo de cercha realizado con conectores de superficie fijados con pernos



Conectores de anillo y de placa



Conectores dentados. Conectores de púas y de dientes troncocónicos.



Placa clavo. Herrajes de unión

Conectores de superficie

El conector de superficie es un elemento de fijación de forma circular o rectangular que se introduce entre dos piezas de madera y se afianza mediante un perno. Los conectores se clasifican en los tipos siguientes: de anillo, de placa, dentados y de madera.

Los conectores de anillo y de placa: abarcan diámetros de 48 hasta 117 mm y solamente se emplean para uniones madera / madera y los de placa pueden utilizarse en uniones madera / madera y madera / acero.

Los conectores dentados incluyen dos grupos: el primero, con dientes de aspecto triangular (púas) que pueden situarse a uno o a ambos lados de la placa y el segundo, con dientes de forma troncocónica dispuestos en una o en las dos caras. Abarcan diámetros desde 38 hasta 165 mm.

Los conectores de placas-clavo, son elementos de fijación que constan de una placa metálica de espesor reducido con una elevada densidad de puntas extraídas por estampación de la misma chapa y dobladas en dirección perpendicular.

Se emplean en uniones de piezas de madera con gruesos reducidos (35 a 70 mm) disponiendo las placas en las superficies exteriores.

Su clavado se realiza con prensa hidráulica. Debido a sus posibilidades de estandarización son relativamente económicas. Su principal inconveniente es su mal comportamiento al fuego, consecuencia del reducido grueso de las secciones de madera y de las placas metálicas, lo que exige una protección total del falso techo.

Además de estos elementos, para realizar las uniones y del diseño de estas, aparecen lo que podríamos denominar "Prótesis" que son todas las variedades de pletinas, estribos, etc... En el catálogo general de Rothofixing 2011/2012 (participantes en proyecto SOFIE) elementos tipo Prótesis podemos diferenciar entre:

- Uniones ocultas (soportes Alu, uniones de enganche)
- Placas perforadas (angulares, placas perforadas, estribos)
- Soportes anclaje a pilar.

Y dentro de cada grupo hay infinidad de posibilidades en dimensión y de características. Hay que decir que las imágenes que Ramón Argüelles Álvarez muestra para explicar los tipos de uniones son extraídas del catálogo de Rothofixing en su mayoría.

CARPINTERÍA

ANTIGUA Y MODERNA

TRATADO GENERAL TEÓRICO-PRÁCTICO

PARA USO DE CARPINTEROS, INGENIEROS, ARQUITECTOS, MAESTROS DE OBRAS, DIBUJANTES, PINTORES,
CONSTRUCTORES, ALUMNOS DE ESCUELAS Y ACADEMIAS ESPECIALES, ETC., ETC.

REDACTADO EN VISTA DE LAS OBRAS DE

Adhemar, Diego Lope de Arenas, Cabanié, Douliot, Emy, Fourniaux, Frezier, Hassenfratz, Kraft,
Merly, Riddel y otros

COMPRENDIENDO LOS TRABAJOS Y CONOCIMIENTOS MÁS MODERNOS SOBRE EL ARTE

por

D. FEDERICO DE ARIAS Y SCALA

INGENIERO

OBRA ILUSTRADA CON 500 Á 600 LÁMINAS

explicativas del texto
ó que representan las aplicaciones más artísticas y hermosas
de la carpintería antigua y moderna

TERCERA EDICIÓN

BARCELONA
F. NACENTE, EDITOR
BRUCH, 89 Y 91

1893

Esta clasificación de tipos de uniones, extraída del texto “Uniones: un reto para construir con madera” de Ramón Argüelles Álvarez, es muy similar a la publicada en el Tectónica número 13 en el artículo de Francisco Ariaga Mantitegui y lo que se deja claro en que más de diseño de uniones se habla de **con que** se realizan.

La aparición de piezas de acero con buen comportamiento a cortante o incluso a tracción ha generado una optimización de la estructura de madera y una simplificación de las uniones llegando a un posterior complejización de éstas por el desarrollo de las estructuras.

Pero lo que se debe tener claro, es que por los costes de realización, se abandonan las uniones “de carpintero” y que se introducen las Prótesis por su buen comportamiento y sencillez y que a día de hoy es posible revisar estos puntos de partida.

Por esta razón, si miramos algún tratado de carpintería, veremos que las uniones se definían en **Cómo** y no con **Qué**, porque la mayoría se definían a partir de uniones por geometría, por contacto o rozamiento de los mismos elementos a unir.

En el tratado de Carpintería de 1893 de Federico de Arias (ingeniero) titulado “CARPINTERIA ANTIGUA Y MODERNA” en el capítulo X titulado Ensamblés hace una clasificación de los tipos de uniones entre perfiles y empieza diciendo: “*Los ensamblés pueden ser de piezas rectilíneas y de piezas curvilíneas.*”

Y a continuación hace una clasificación de los ensamblés las piezas rectilíneas según la manera de encontrarse las piezas y diferenciando tres grupos:

Primer Grupo.

Ensamble de piezas que forman un ángulo. Pueden ocurrir tres casos:

Primer caso. El eje de una pieza termina en un punto de la longitud de la otra. A los principales de esta clase se les llama escopleadura y espiga y a cola de milano.

Segundo caso. Los ejes se terminan mutuamente. Se conoce con el nombre de ensamble de ángulo.

Tercer caso. Los ejes se cruzan o cortan prolongándose más allá del punto de encuentro. Se le da el nombre de ensamble de cruce o cruzado.

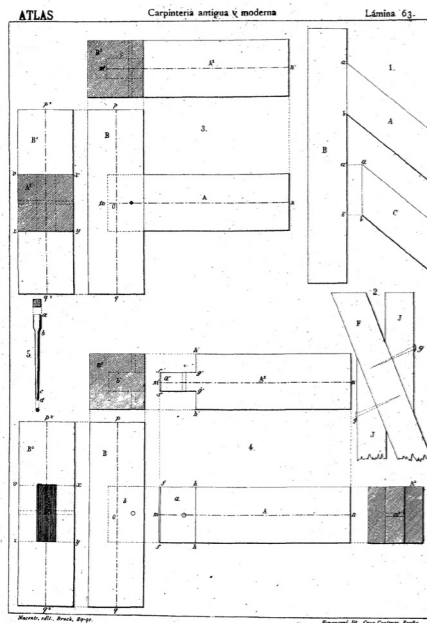


Fig.3 lam 63. Ensamblés a escopleadura y espiga

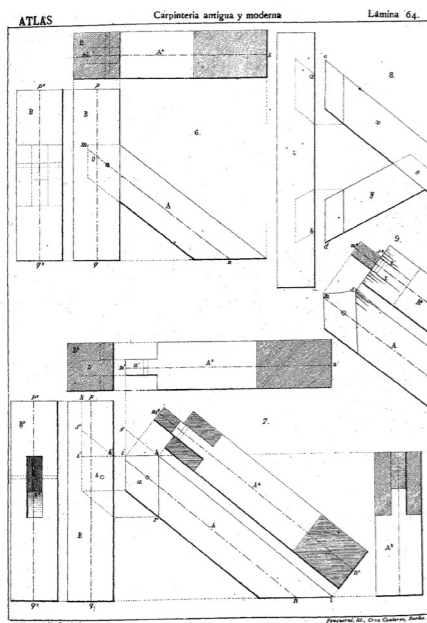


Fig.6 lam 64. Ensamblés a escopleadura y espiga

Segundo Grupo.

Ensamble de piezas cuyos ejes están en prolongación una de otro. Se llaman empalmes y pueden suceder tres casos:

- Primer caso.** Empalmes horizontales.
- Segundo caso.** Empalmes verticales.
- Tercer caso.** Empalmes de tablestacas.

Tercer Grupo.

Ensamble de piezas cuyos ejes son paralelos. Pueden ocurrir dos casos:

- Primer caso.** Las piezas están en inmediato contacto. Ensamble de Jumelas.
- Segundo caso.** Las piezas están separadas abrazando otras en su intermedio. En este caso, el ensamble se llama cepo o de brida.

Primer Grupo. Ensamblés

Primer Grupo / Primer Caso

A Ensamblés a escopleadura y espiga

Para hacer este ensamble entre dos piezas, es preciso cortar en la cabeza o extremo de una de ellas un poliedro en relieve que se denomina espiga, y en el espesor de la otra pieza cortar otro poliedro igual en hueco al que se da el nombre de escopleadura. Las dos piezas se unen haciendo penetrar el primer poliedro en el segundo.

Ensamble recto a escopleadura y espiga / Ensamble oblicuo a escopleadura y espiga / Ensamble de escopleadura y espiga con espera / Ensamble a simple espera ó espera sencilla, sin espiga ni escopleadura / Ensamble de espera y llave con simple espera ó con espiga y escopleadura / Ensamble de inglete / Ensamble de piezas cilíndricas / Ensamblés dobles a escopleadura y espiga / Ensamblés triples, cuádruples, etc.

Los ensambles a escopleadura y espiga se refuerzan o modifican de diferentes maneras según las presiones que deban resistir: **Sombrerete** o a **Descanso**.

Ensamble con espiga de sombrerete reforzada / ensamble de doble descanso / ensamble de bisel con descanso / ensamble de bisel y descanso doble

Ensamblés a escopleadura y espigas pasadas / Ensamblés de arista a escopleadura y espigas.

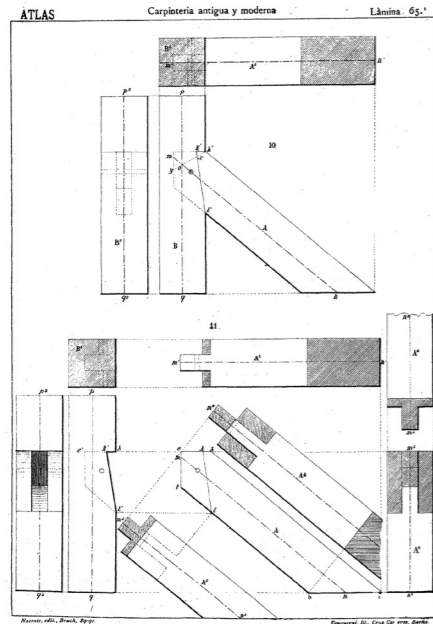


Fig.10 lam 65. Ensamblés a escopleadura y espiga

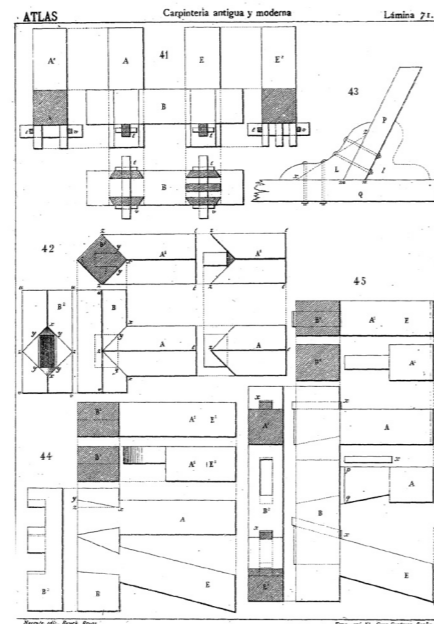


Fig.44 lam 71. Cola de Milano

Fig. 45 lam 71. Cola de Milano con llave

B Ensamblés a cola de milano

En esta clase de ensamblés, en vez de entrar la espiga por su cabeza en la escopleadura, se sienta una de sus caras de paramento en el corte hecho en la pieza que debe recibirla. Se emplea la cola de milano cuando las piezas deben resistir esfuerzos de tracción en la dirección de su longitud, para lo que no sirven los ensamblés a escopleadura y espiga anteriormente explicados.

Ensamble a cola de milano / Ensamble a cola de milano con llave

Primer Grupo / Segundo Caso

Ensamblés de ángulo

Ensamble de ángulo a media madera / Ensamble de ángulo é inglete / Ensamble de ángulo a doble inglete / Ensamble de ángulo con colas de milano sencillas / Ensamble de ángulo con colas de milano a inglete / Ensamble de ángulo de escopleadura y espiga con doble inglete.

Primer Grupo / Tercer Caso

Ensamblés cruzados o de cruce

Ensamble cruzado a tercio de madera / Ensamble cruzado a media madera / Ensamble cruzado a escopleadura doble

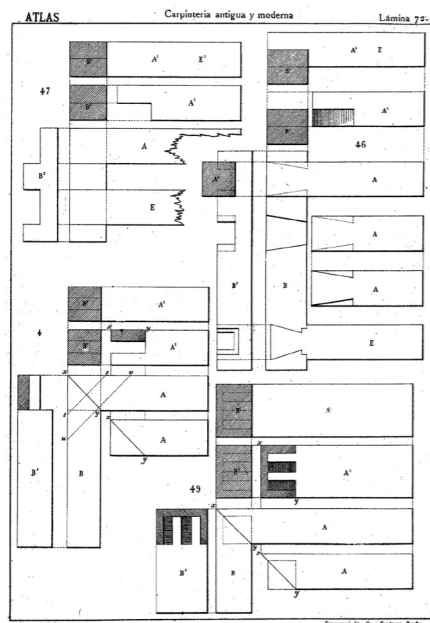


Fig.47 lam 72. Ensamblés con ángulo

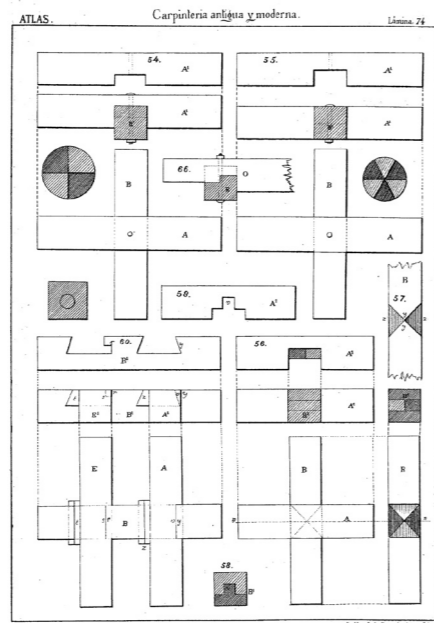


Fig.54 lam 74. Ensamble cruzado a tercio de madera

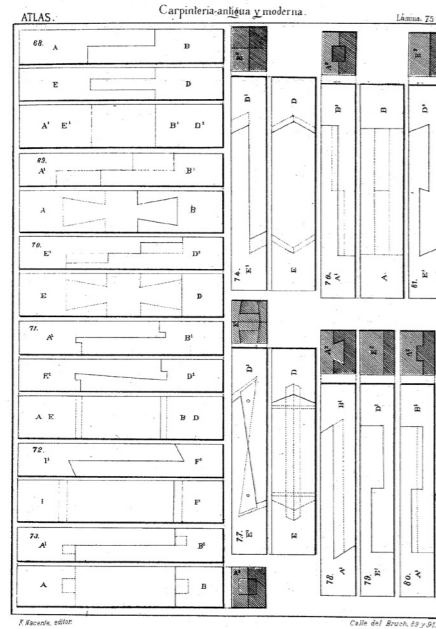


Fig.68 lam 75. Empalme horizontal. Empalme a media madera

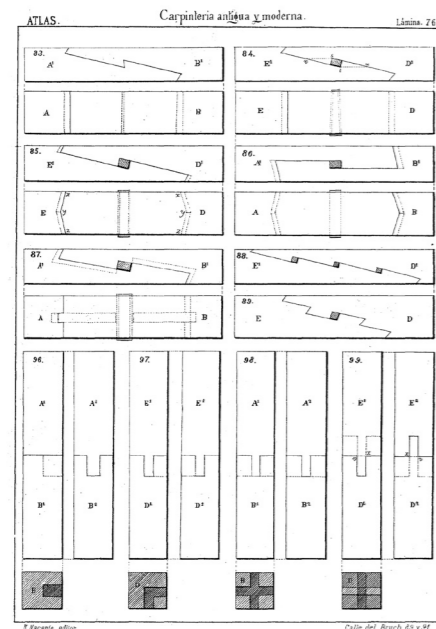


Fig.96 lam 76. Empalme vertical.

Segundo Grupo. Empalmes

Los empalmes tienen por objeto unir piezas de madera en la dirección en su longitud, de modo que dos o más formen una sola, para lo cual es preciso que las piezas empalmadas tengan la misma forma o sección, y que el empalme se efectúe de modo que unidas aparezcan como una pieza única y tengan la misma resistencia que debiera tener esta última, si hubiese sido posible o económico poderlas obtener de las dimensiones necesarias para evitar las dificultades e inconvenientes del empalme. La forma y medios de unión de dos piezas que se quieren empalmar dependen de la clase de fuerzas a que deben someterse. Los empalmes llamados horizontales pueden resistir a fuerzas que obren en distintas direcciones; los verticales deben sufrir grandes compresiones, y en ambos casos tienen por base la mayor parte de los ensambles elementales descritos en los del primer grupo.

Segundo Grupo / Primer caso

Empalmes horizontales:

Empalme a media madera / Empalme de espiga a media madera con derrame / Empalme a media madera con derrame inclinado / Empalme a media madera de espera cuadrada y espigas / Empalme a media madera con espera quebradas / Empalme a media madera con ranuras y nervios interiores / Empalme de espigas invertidas / Empalme de colisa a cola de milano con esperas inclinadas / Empalme de diente (empalme de diente con nervio, empalme de diente de cola de milano) / Empalme de rayo de Júpiter sencillo / Empalme de rayo de Júpiter sencillo (con llave, de juntas rectas con esperas quebradas y llave, con espigas de espera, nervios y llave, de tres llaves, de tres escopleaduras y una sola llave) / Empalme de rayo de Júpiter doble, de escopleaduras bridadas / Empalme de rayo de Júpiter con juntas rectas, inclinadas y llave de cola de milano / Empalme de rayo de Júpiter sin llave y con pernos / Empalme de rayo de Júpiter a Junta recta con o sin llaves / Empalme de rayo de Júpiter de junta Plana en forma en forma de tenaza.

Segundo Grupo / Segundo caso

Empalmes verticales:

Empalme a espiga de ángulo / Empalme a espigas y escopleaduras en cruz / Empalme de escopleaduras invertidas / Empalme de espigas y escopleaduras cuadradas / Empalme de espiga doble / Empalme de doble horquilla cuadrada / Empalme de doble horquilla en las aristas / Empalme a media madera en las cuatro caras / Empalme de horquilla / Empalme de Rayo de Júpiter a cuatro caras / Empalme a media madera con espigas en dos lados / Empalme a espigas triangulares en los parámetros / Empalme de horquilla de corte inclinado en las cuatro caras / Empalme de doble horquilla / Empalme de corte inclinado en las cuatro caras.

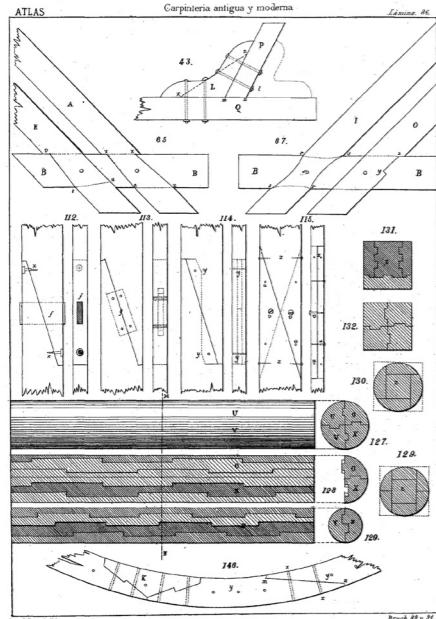


Fig.112 lam 86. Empalme de tabestacas

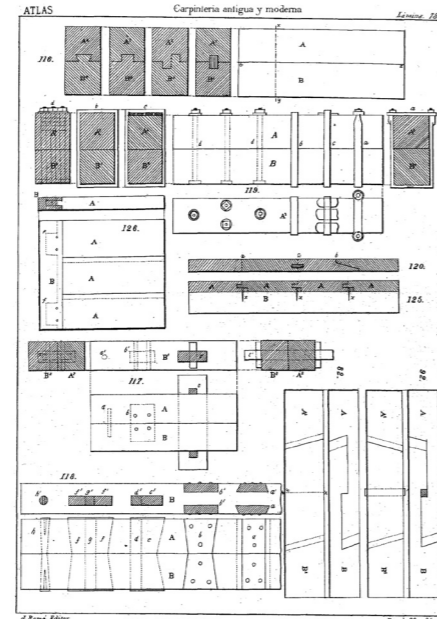


Fig.116 lam 78. Empalme de Jumelas

Segundo Grupo / Tercer caso

Empalmes de tablestacas

Empalme de corte inclinado con llave / Empalme de corte inclinado con espiga suelta atornillada / Empalme de corte inclinado con espigas de espera / Empalme a media madera de cortes oblicuos cruzados.

Tercer Grupo. Ensamble paralelos

Tercer Grupo / Primer caso

Ensamble de Jumelas

Por simple contacto o junta plana / Por simples clavijas / Por llave que penetra por mitad de cada pieza / Por llave que atraviesa de parte a parte a ambas piezas / Junta plana reforzada de varios modos por medio de hierros / Junta de tablas a espiga a media madera / Ensamble de ranuras y espigas simples con llaves y clavijas / Ensamble de dobles ranuras y llaves / Ensamblados llamados de grano de cebada / Ensamble de junta cubierta con ranuras / Ensamble de ranuras y espigas

Tercer Grupo / Segundo caso

Ensamble a Cepa o de Brida

Se dan diversos tipos según distintos parámetros, ya porque sea que se usan bridas, piezas inclinadas, etc..

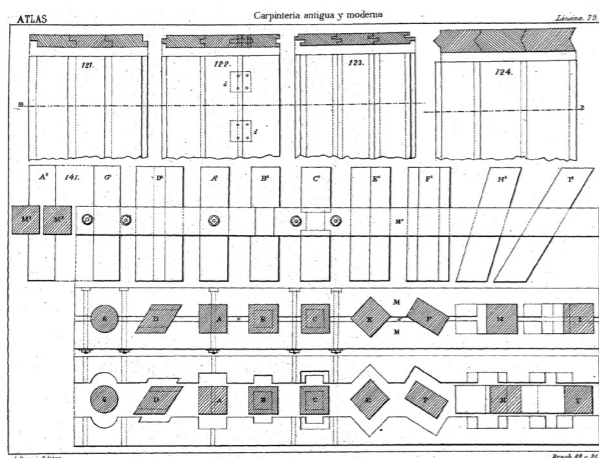


Fig.141 lam 79. Empalme a cepa o de brida

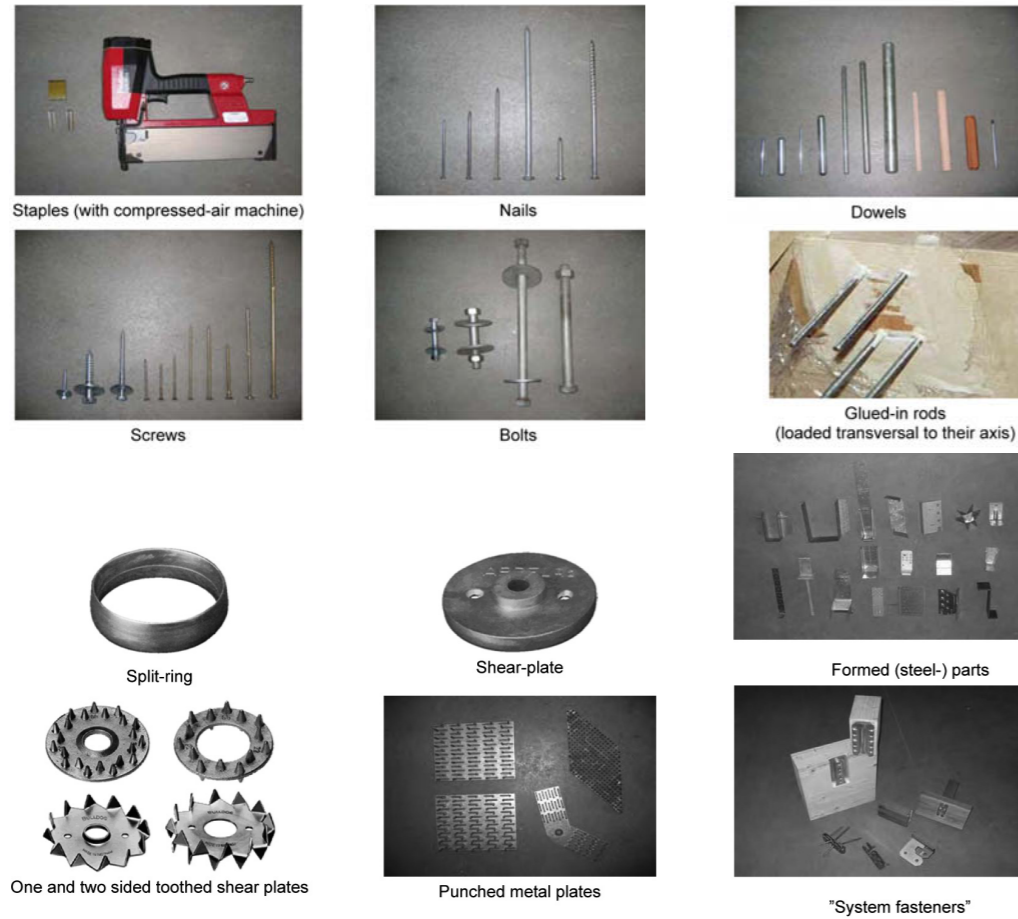
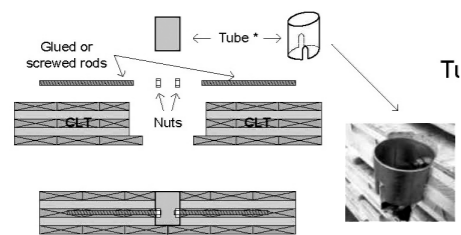
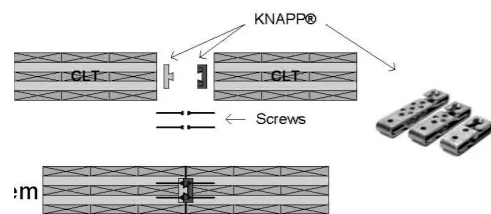


Fig. 4 Surface load-transmitting fasteners

Clasificación del Temtis.



Tube connection system (Traetta and Schickhofer)



Knapp connection system

De la clasificación de tipos de uniones contemporáneas a partir de prótesis o las tradicionales a partir de juegos geométricos, se han pensado para estructuras de madera del tipo lineal y ahora hay que pensarlo para los Tableros Contralaminado, y si la opción escogida de construcción es del tipo de “platform board”, vemos que los elementos de unión no son tanto de transmisión de carga sino de afianzamientos de la estructura, es decir, la carga se transmite directamente de tablero a tablero, porque los apoyos de éstos son directos entre ellos y todos los elementos (prótesis) a colocar para finalizar la unión, serán transmisores de esfuerzos, no de carga, sino de otro tipo (horizontales por ejemplo).

En cambio si se construye siguiendo el tipo ballom, los elementos de prótesis pasan a transmitir la carga y entonces si que la unión se complica.

Para la realización de uniones de contralaminado, primero se debe saber qué es lo que se está uniendo, si es una unión entre dos paredes a 90 grados o dos paredes continuas o si es una pared con un suelo, etc.. dependiendo de qué unamos, usaremos unos elementos u otros.

Como se dice en “Testing of Timber Structures-TEMTIS” del 2008 en el “Handbook 1 Timber Structure”, cuando habla del TCL dice que lo más utilizado normalmente sería el **tornillo autorroscante**, por la facilidad y su gran capacidad de resistencia a diferentes esfuerzos. A la vez no es necesario ningún pretaladro, sino que él mismo se auto perfora.

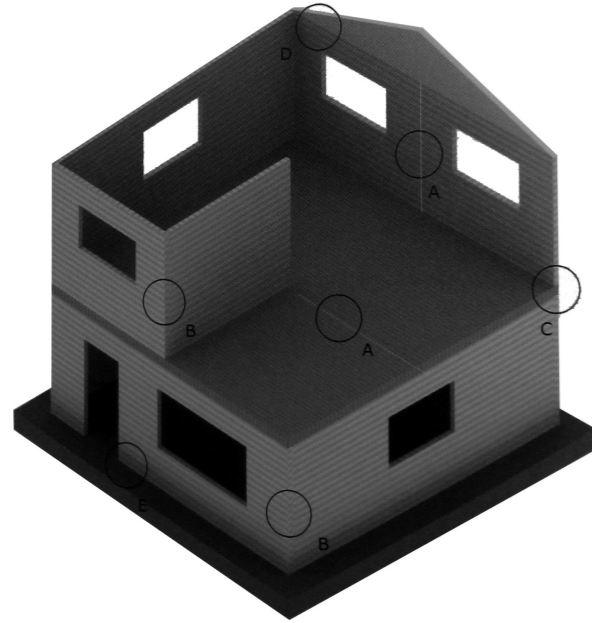
Clavos y remaches, no son comunes en el TCL, pero cuando se usan son para sujeción de pletinas u otros elementos, siempre en combinación de placas metálicas o soportes. Los clavos usados, son clavos con superficies específicas como con rosca helicoidal o clavos ranurados.

Los Pernos que son muy usados en estructuras de madera no lo son tanto en contralaminado, pero sí que podríamos encontrarlos en zonas con gran carga lateral que se necesitara el uso de secciones potentes de metal.

Hay que prestar atención en no hacer coincidir en juntas de tablas cuando se usan conectores gruesos como los pernos o pasadores, con el resto no habría problemas.

Los anillos no son usuales en los contralaminados pero también se pueden usar.

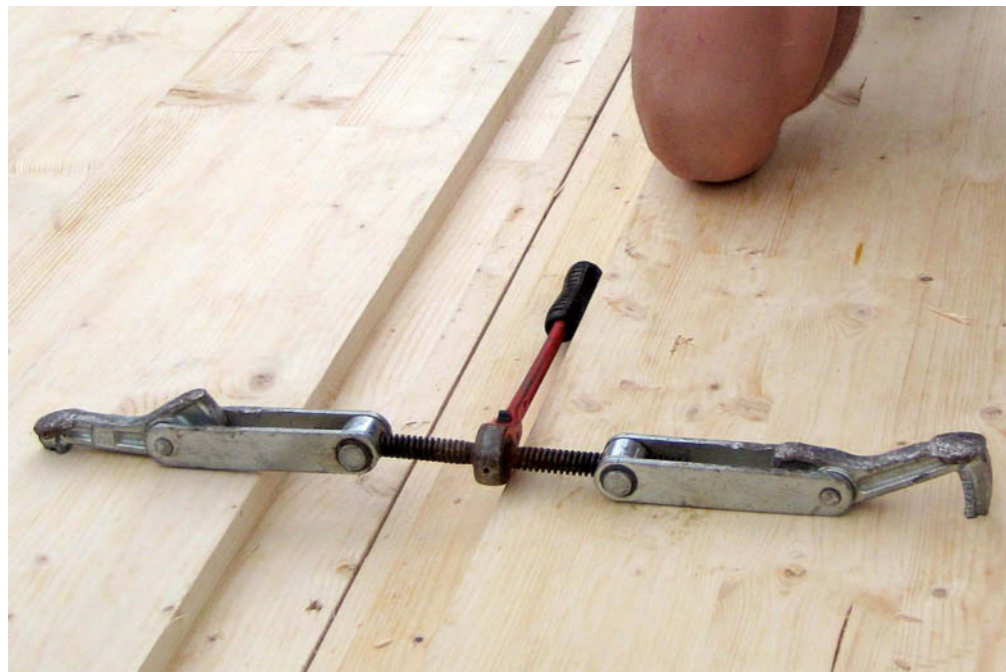
A pesar de estos tipos de uniones, se está innovando y aparecen sistemas patentados a partir de injertos o prótesis metálicos pensados para tableros contralaminados como son el sistema llamado “Geka connectors” o el sistema “KNAPP system”, que sería sistema tipo macho hembra que fijaría la posición de los paneles. A la vez, la innovación de las uniones pasa por revisar los conocimientos adquiridos y con las nuevas herramientas de corte numérico, uniones de “carpintero” complejas de ejecución, ahora podrían ser ejecutadas sin gran problema.

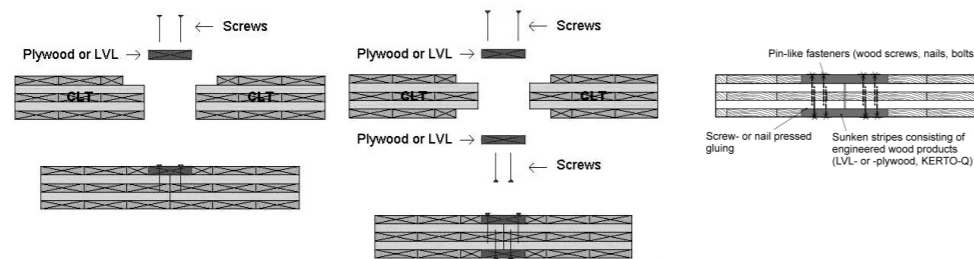


Las uniones a pesar de **con que** se hagan finalmente depende del **que** están uniendo, por esto FPInnovations en el documento del “Cross Laminated Timber Symposium” titulado “Connections in CLT Assemblies” hace la siguiente clasificación:

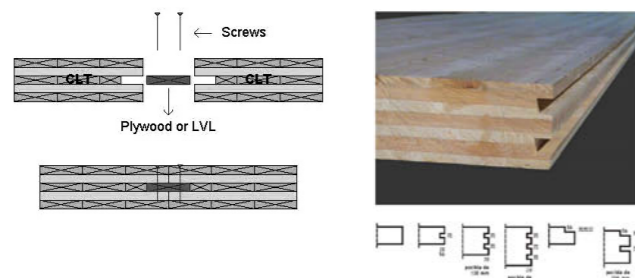
- A- Tablero con Tablero, unión en el mismo plano tanto como muro como suelo.
- B- Muro con muro a 90 grados
- C- Suelo con muro
- D- Muro con techo
- E- Muro con cimentación

En el documento de KLH titulado “Component catalogue for cross laminated timber structures” se detallan las mismas uniones, dando soluciones similares pero más detalladas añadiendo elementos de barreras a infiltraciones o bandas elásticas de sellado o aislado.

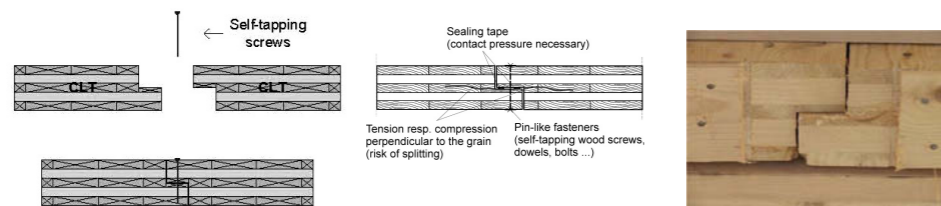




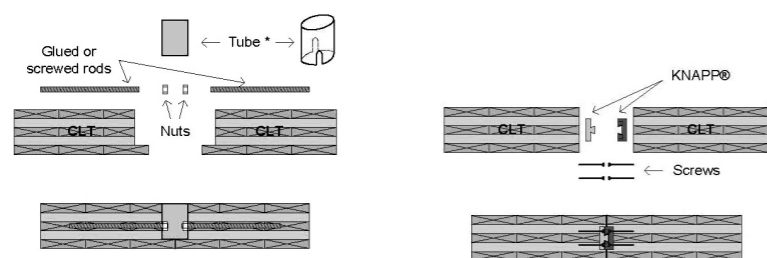
Unión simple y doble exterior



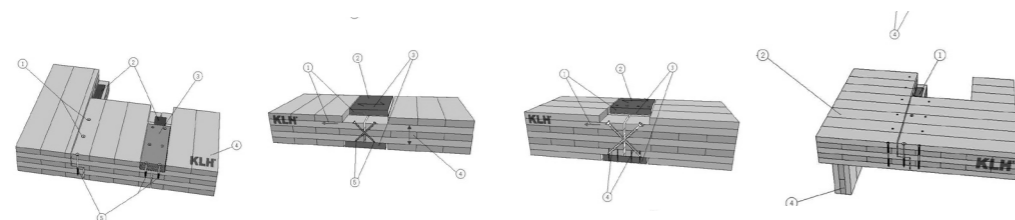
Unión simple interior y multiples combinaciones



Uniones a partir de escalón



“Tube connection system” y “KNAPP system”



Propuestas de KLH. Unidireccionales o bidireccionales. Transmisores de momentos o no.

Uniones de tablero con tablero

Son uniones clásicas, tanto en forjados como en muros y siempre se ejecutan a lo largo de todo el canto. Son uniones que deben resistir esfuerzos que en caso de muros son esfuerzos de cortante entre tableros (evitar comportamientos diferenciales entre tableros) o de flexión o mejor dicho de pandeo.

Estas uniones existen por las dimensiones máximas de producción de los tableros o por las dimensiones máximas de transporte que tengamos.

La manera de resolverse son a partir de incorporar un tablero a modo de conector o por geometría, generando un escalón.

Las uniones a partir de conector, la tabla de conexión o “mecha” puede ser de tablero contrachapado o LVL que van atornillados y si se requiere, previamente se pueden encolar. KLH, a estas uniones y específicamente para los forjados bidireccionales o con la junta perpendicular a la dirección principal de carga, añade además la unión previa a partir de tornillo autoroscante en cruz.

Unión simple o doble exterior

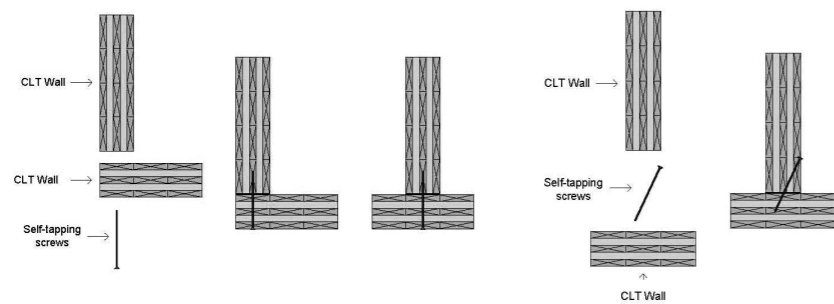
Unión simple o doble interior

Las uniones a partir de escalón, es de las más usadas por su rapidez en el montaje, pero cuando se trata de forjados habrá que tener precaución a que las tensiones que se transmitan no provoque la separación de las capas transversales, por esta razón tanto en el TEMTIS como en KLH se propone reforzar la unión colocando cada 10 o 15 cm un tornillo autoroscante a modo de refuerzo del mismo tablero (comprimiendo sus capas). El escalón siempre se realizara en medio de una tabla y nunca coincidiendo con una junta de encolado de las capas. Es una unión que no transmite momentos (sino se refuerza) y por esta razón se utiliza en sistemas unidireccionales.

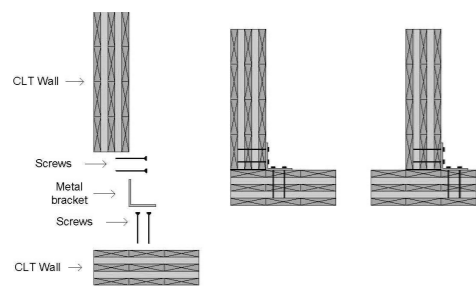
Uniones innovadoras

FPIInnovation nos habla de la unión de tubo “Tube connection system” desarrollado en Austria por Traetta y Schickhofer. Esta unión se basa en que los tableros llegan a la obra con unas barras con rosca encoladas y cuando se enfrentan tablero con tablero, estas barras, coincidentes en su posición, se sujetan a partir de un anillo metálico que con unas simples roscas se fijan, e incluso se pueden dar una cierta tensión a la unión, como un postensado.

Otro tipo de unión innovadora es la “KNAPP system”, desarrollado en Alemania, funciona a partir de insertar unas piezas que a modo de pasador fijan la posición de los tableros.



Propuestas de FPIinnovations a partir de tornillo autoroscante



Propuestas de FPIinnovations a partir de pletinas

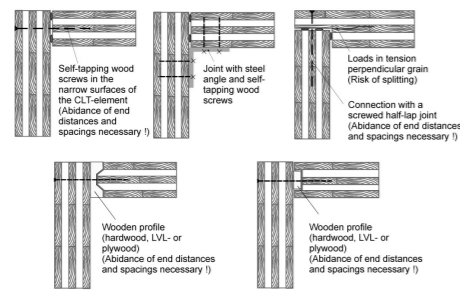
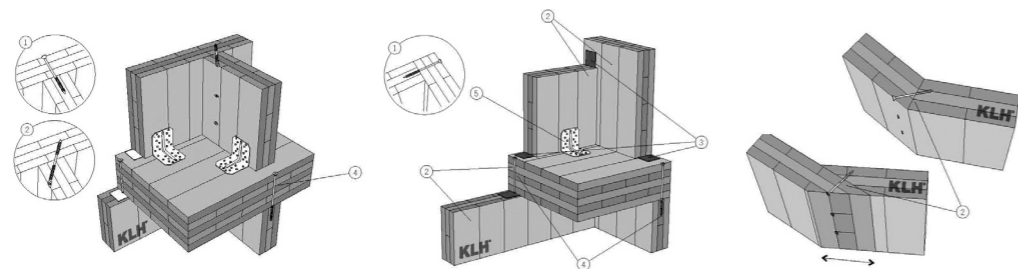


Fig. 43 Different possibilities for the design of wall-wall-edges at corners

Propuestas de Temtis.



Propuestas de KLH. Contemplan la unión de muros en ángulo.

Uniones de muro con muro (en ángulo)

La unión servirá para fijar la posición y el ángulo correcto entre los muros. Esta unión debe soportar esfuerzos, tanto de cortante por movimientos diferenciales entre ellos, como evitar el desplazamiento, por empujes horizontales, de uno respecto el otro

La unión más clásica es la unión a partir de tornillo autoroscante a lo largo de todo lo alto del muro y dependiendo de qué zona estemos fijando, se podrá hacer de una forma o de otra.

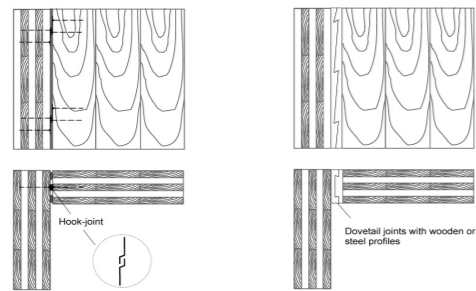
Si estamos fijando muros que conforman esquina o a medio muro, pero con solicitaciones de sismo o viento, el tornillo se debe colocar de forma que el esfuerzo sea lo mas ortogonal posible a él, sino las uniones en diagonal tienen un mal comportamiento a empujes horizontales porque tienden a ser extraídos. Serían las uniones desde el exterior y las uniones en ángulo.

Las uniones a partir de tornillo roscado en ángulo para fijar los muros no están contemplado en el TEMTIS, donde se propone otra manera de unión que es a partir de tornillo pero con una unión tipo macho-hembra que fijaría mucho mejor la posición. Esta unión tiene los mismos problemas que la unión de escalón de los forjados, con empujes fuertes y no controlados podemos tener separación de las capas del tablero.

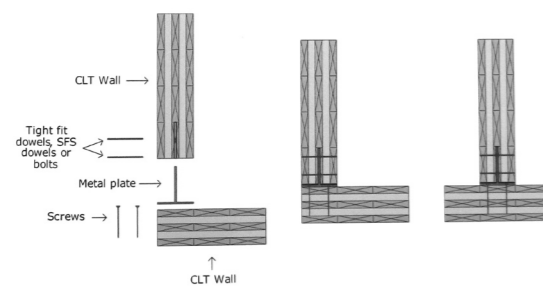
También propone las uniones a partir de perfiles de madera en todo lo alto que a modo de “escopleadura longitudinal” generan sistemas de macho-hembra que rigidizaría mucho más la unión a empujes horizontales.

A la vez, estas piezas de madera “tipo cuña” puede facilitar los encuentros en ángulo al absorberlo en su geometría y así permitir que el tablero venga cortado recto y no en ángulo.

Uniones a partir de Perfiles metálicos (“L”), son muy comunes y permite que vayan con clavos o pasadores encolados. A pesar de ser una de las uniones más eficientes, tienen el problema de las consideraciones de imagen en muros de madera vistos y a la vez y mas importante, tienen un peor comportamiento al fuego que los tornillos que quedan autoprotégidos por la misma madera.



Propuestas innovadoras de Temtis.



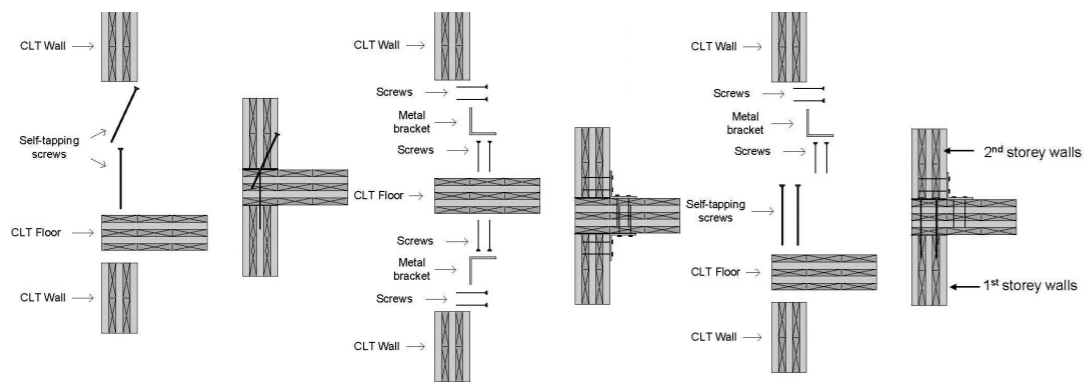
Propuestas de FPIinnovations a partir de inserciones metálicas.

Otras posibilidades que encontramos en el Temtis de uniones innovadoras, son las uniones a partir de perfiles metálicos (gancho).

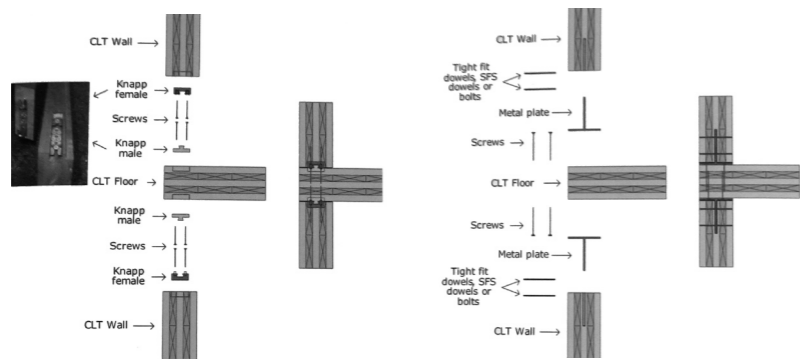
Uniones a partir de “Hook-joint”, uniones a partir de “gancho o rayo de júpiter” realizadas en madera o metal o uniones con el “KNAPP system” que FPIinnovations ya nos introducía en las uniones anteriores.

Uniones a partir de inserciones metálicas (uniones ocultas), son uniones heredadas de sistemas de uniones de madera laminada o estructuras lineales donde las inserciones son muy comunes.

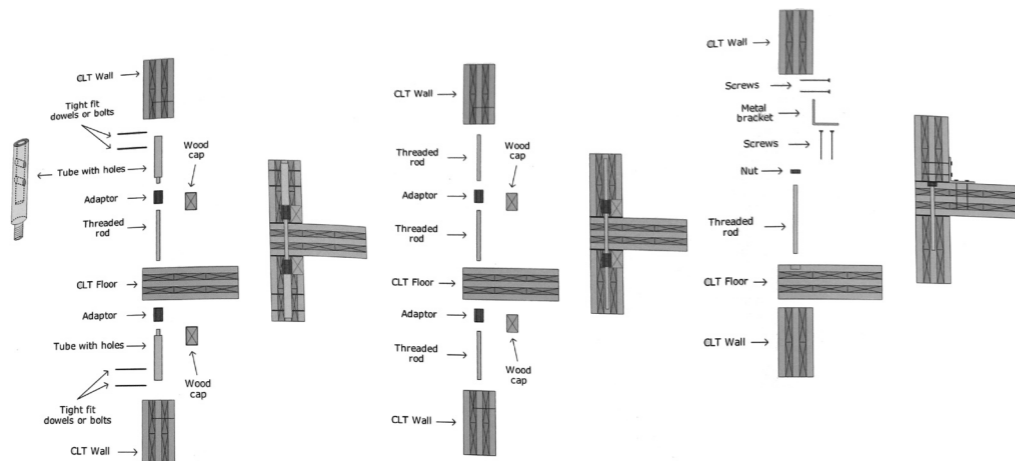
Se consideran las inserciones metálicas a partir de 6mm hasta 12mm de espesor y dan una gran respuesta a todo tipo de esfuerzos, las placas o inserciones se fijarán a partir de pernos o clavijas autoperforantes. Son más potentes pero son más caras y más complejas de ejecución.



Propuestas de FPIinnovations más usuales.



Propuestas de FPIinnovations innovadoras y a partir de inserciones metálicas



Propuestas de FPIinnovations a partir de conectores.

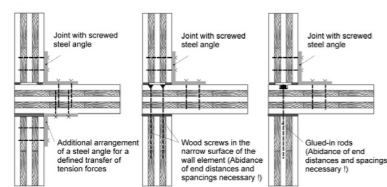


Fig. 41 Joints for wall-floor-edges

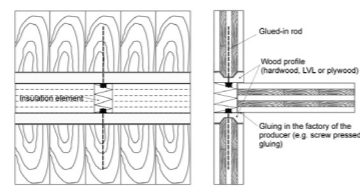


Fig. 42 Joint for wall-floor-edges with glued-in rods

Propuestas de Temtis

Uniones de muro con forjado

Son uniones que deben responder a la transmisión de la carga vertical y sobretodo a poder transmitir, los muros, la carga horizontal a los forjados, debido a viento, por ejemplo. Para conseguir esta transmisión, las uniones planteadas en el Temtis, son a partir de pletinas, tornillos y poco más.

FPIinnovations, nos recuerda que es en este tipo de uniones donde la elección de la tipología estructural, entre balloon o platform, es fundamental y determinante para el tipo de unión a plantear.

Para tipologías de Platforms se pueden plantear:

Unión a partir de tornillos autoroscantes, es la unión más sencilla, se une el forjado verticalmente con las paredes inferiores, a partir de tornillos y la pared superior con una unión en ángulo, también se fijaría al forjado.

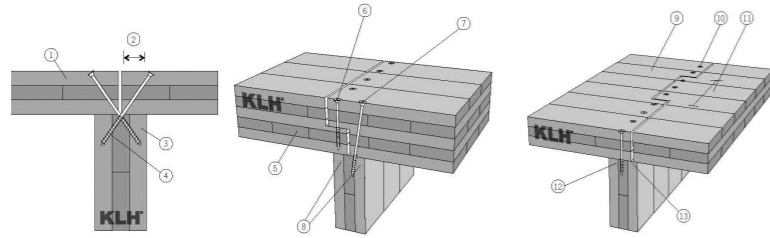
Unión a partir de pletinas, es la unión más utilizada porque a diferencia de la anterior transmite bien los esfuerzos del muro al forjado, se basa en usar pletinas metálicas en ángulo que fijan muro inferior con forjado y después el muro superior con el forjado.

Es una unión rápida y fácil de ejecutar e incluso se pueden usar clavos, pero en las uniones de la pletina con el forjado estaría bien usar tornillo porque así reforzamos la zona de mayor cortante.

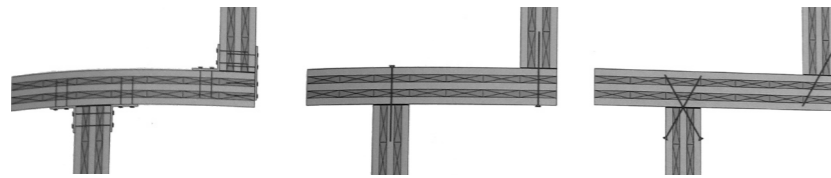
Unión a partir de tornillo más pletina, sería una combinación de las dos anteriores, y para acabados vistos de la zona de techo es mejor e incluso como respuesta a fuego.

FPIinnovations nos ofrece varias uniones innovadoras o alternativas como el uso del “KNA-PP system” o a partir de barras con rosca, tipo espera, y unido a partir de conectores de doble rosca con lo que se tensionan, son uniones de cierta complejidad pero totalmente ocultas y con un postensado que dan al conjunto una gran capacidad de carga.

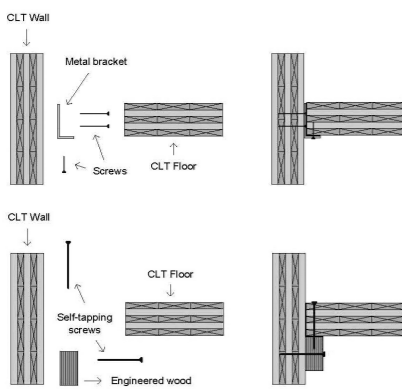
Uniones a partir de inserciones metálicas, como en los casos anteriores son más complejas pero son uniones más potentes y a la vez quedan protegidas por los mismos tableros a fuego.



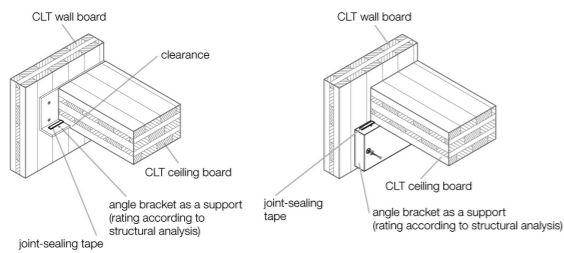
Propuestas de KLH



Uniones de balcones.



Uniones a partir de "Balloon Board".



Uniones a partir de "Balloon Board". (Storaenso)

Otras situaciones, como los balcones, tienen diferentes maneras de solucionarlos a partir de tornillo, pletinas o a partir de articulaciones metálicas considerándolo como un elemento externo.

Otras uniones serían las utilizadas para resolver los encuentros para las tipologías de "balcon".

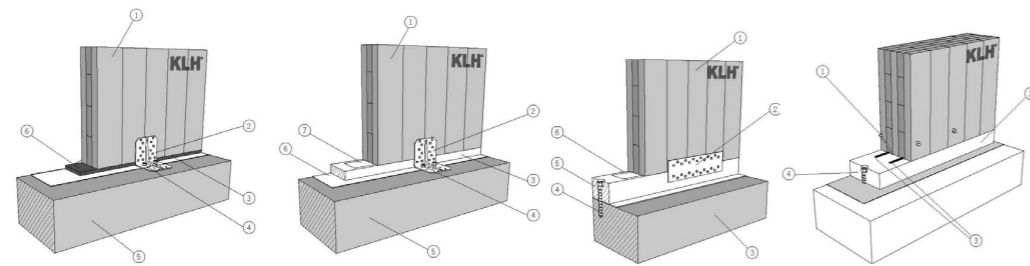
Como ya se dijo, no es un sistema muy usual pero a pesar de no serlo, uno se puede encontrar con situaciones, que a pesar de estar construyendo tipo "platform", necesita de apoyos adicionales.

Estas uniones deben ser más potentes, porque si con el sistema de platform las piezas para las uniones simplemente eran para afianzamiento y las cargas verticales ya se resolvían directamente por el apoyo de los tableros entre ellos, en este caso, no, y además de tener que resolver la transmisión de cargas horizontales ahora tendríamos que resolver también las verticales, la carga de los forjados.

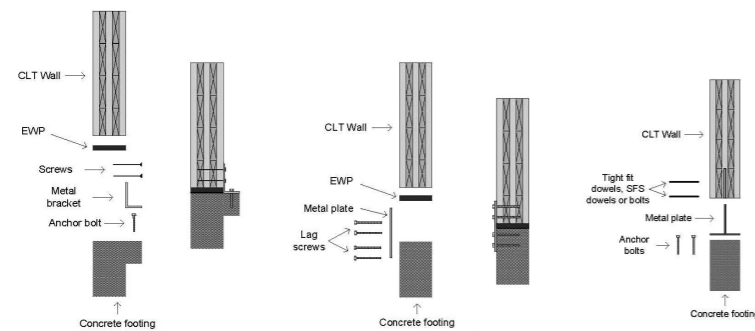
Se suelen resolver añadiendo un dado en forma de ménsula para el apoyo del forjado o a partir de pletinas metálicas. Tanto una como la otra, sufren enormemente de cortante en los elementos de fijación con el muro. Son soluciones que se depende mucho de las prótesis por lo que es crítico a nivel de fuego.



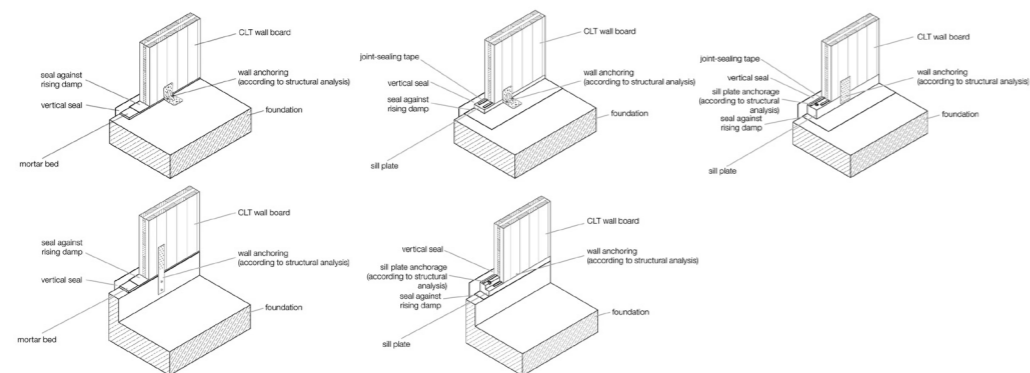
Uniones de muro y cubierta (KLH) y fotos del catalogo de Storaenso



Uniones de muro con hormigón (KLH).



Uniones de muro con cimentación (FPIinnovations).



Uniones de muro con cimentación (Storaenso).

Uniones de muro con techo

Son uniones que para cubiertas planas ya sirve las uniones anteriores pero para cubiertas inclinadas a pesar de con que se unen hay que pensar antes en como, el muro inferior deberá estar cortado su cara superior con ángulo de la cubierta o KLH plantea que el muro sea de corte recto y la cubierta sea la que a modo de hendidura o barbilla, sea la que encaje con el muro.

Uniones de muro con cimentación

Son las uniones más críticas por unir tipos de materiales distintos por lo que directamente KLH las define como uniones entre muro y hormigón, importando poco sea o no la cimentación del edificio (muchos proyectos plantean la planta baja en hormigón y después en TCL).

A nivel de sismo es donde se produce una irregularidad de rigideces provocando un sobrestresamiento de las partes débiles (unión).

Estas uniones se realizan a partir de pletinas planas o en ángulo, igual que los encuentros de muros con forjado o muros con muro, porque un problema a resolver es asegurar la absorción de empujes horizontales, resolver las irregularidades del hormigón en contacto con la madera y la protección de la madera a nivel de infiltraciones que se pudieran dar en el hormigón.

Se podrían diferenciar entre:

Uniones con pletinas expuestas o externas

Uniones a partir de inserciones

Uniones a partir de perfiles de madera

Uniones a partir del "KNAPP system"

Uniones a partir de barras a modo de espera postensadas.



Elementos para realizar las uniones de un edificio de 10 plantas.

Después de analizar con **que y como** se realizan las uniones quedaría definir como se finalizan, hasta el momento la unión se ha tratado desde le punto de vista de transmisión de cargas, pero son además los puntos donde se deben resolver temas de aislamiento, impermeabilización, etc.. lo que finalizará el detalle de la unión.

Lo que está claro es que las uniones con más éxito o más comúnmente usadas, responden a tres exigencias, que hace que el sistema de construcción a partir de Tablero Contralaminado sea competitivo:

- Simples**
- Estructuralmente eficientes**
- Coste competitivo**



Simples, estructuralmente eficientes y coste competitivo

4.4. **COMPORTAMIENTO A FUEGO.**

COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO.

En la guía de la madera editada por Aitim, se introduce el problema del fuego definiendo que es un incendio y haciendo una cierta comparación entre madera, acero y hormigón.

Nos dice que un incendio necesita es material combustible para su desarrollo y evolución, y que la Estructura como tal contribuye (normalmente) muy poco a su desarrollo y que son el resto de materiales que hay en el espacio (lugar), lo que contribuye más al avance del incendio.

A la vez de esta defensa de la estructura a tener que asumir todo el peso de las normativas, hace (Aitim) otra defensa de la madera afirmando que la madera es menos peligrosa como material estructural a pesar de su inflamabilidad a bajas temperaturas por tres razones:

- Su baja conductividad térmica hace que la temperatura disminuya hacia el interior.
- La carbonización superficial que se produce dificulta la salida de gases y la penetración del calor, al tener una conductividad menor que de la misma madera.
“La alta capacidad aislante de la capa carbonizada, del orden de unas seis veces superior a la de la madera a temperatura ambiente, permite que el interior de la pieza se mantenga a una temperatura mucho menor y con sus propiedades físico-mecánicas constantes.” (Guía de la Construcción de la Madera, Confemadera. Cap.3)
- Al ser despreciable su dilatación térmica no provoca desplomes ni deformaciones peligrosas.

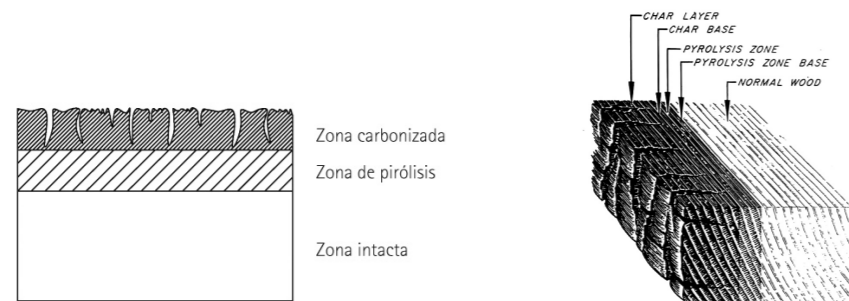
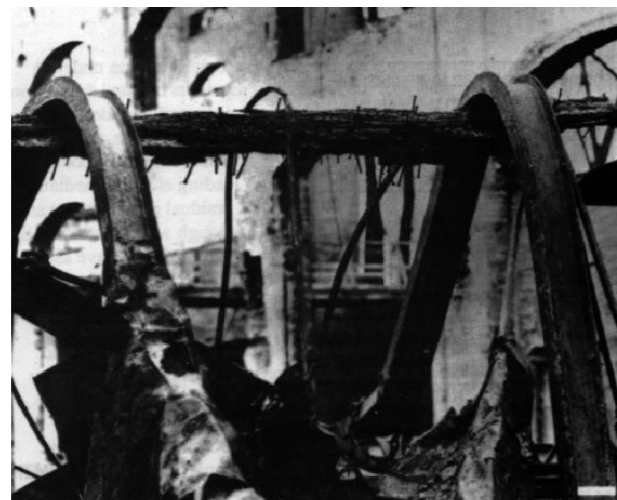


Fig. 1 The changes in timber under the influence of fire

Cambios de la madera por acción del fuego. (Confemadera - Temtis)



Diferentes comportamientos ante el fuego.

Hay que reconocer que la madera arde y con cierta ignifugación se puede resolver el problema de seguridad, pero los materiales que no arden se comportan peor que la madera ante el fuego, como las estructuras metálicas, que sufren grandes dilataciones y contracciones en un incendio y que su resistencia se reduce drásticamente con el aumento de temperatura o el hormigón, que se resquebraja y aún más cuando se le aplica el agua de las mangueras generando un brusco enfriamiento.

Es decir, la madera no es un mal material para estructuras, a nivel de fuego, simplemente tiene un comportamiento distinto y a la vez tiene ventajas respecto los otros materiales.

El comportamiento de la madera en caso de incendio puede variar dependiendo de factores como los que se apuntan a continuación:

- La relación entre la **superficie y el volumen** de la pieza. Las secciones estrechas y con aristas vivas aumentan esta relación, conduciendo a un comportamiento frente al fuego menos favorable.
- La **existencia de fendas**. Las hendiduras en el sentido de las fibras de la madera incrementan los efectos del fuego.
- La **densidad** de la madera. Las diferentes especies de madera se comportan frente al fuego de forma diferente en función de su densidad.
- El contenido de **humedad**. En edificación, la mayoría de las estructuras de madera presentan un contenido de humedad que varía entre el 8% y el 15% aproximadamente, lo que implica que por cada tonelada de madera deben evaporarse entre 80 y 150 Kg de agua antes de que entre en combustión.

En la Guía de la Construcción de la Madera, editado por Confemadera, nos introduce a la problemática generada desde la aplicación de la normativa de Código Técnico, y lo que hay que diferenciar son dos conceptos básicos que son los de la **Reacción** y la **Resistencia**.

Reacción al fuego se entiende como, la respuesta de un material medida en términos de su contribución al desarrollo del incendio con su propia combustión.

Resistencia al fuego es la capacidad de un elemento de construcción para mantener durante un periodo de tiempo determinado la función portante que se le había exigido (R), su integridad (E), y/o aislante térmico (I).

Las clases de reacción al fuego para los materiales de construcción, con excepción de los suelos, para los productos lineales para aislamiento térmico de tuberías y para los cables eléctricos, son: A1, A2, B, C, D, E y F, de mejor a peor comportamiento al fuego. Estas clases representan un índice de la inflamabilidad del material y su contribución al fuego. En algunos casos, van acompañadas de otros dos subparámetros que dan información sobre la producción de humo, de mayor a menor velocidad de propagación y producción total: s1, s2 y s3, y sobre la caída de partículas o gotas inflamadas: d0, d1 y d2.

La norma exigirá que los diferentes espacios (pasillos, escaleras, etc..) estén construidos con materiales que sea A, B, C, D o S1 o d2

Los parámetros de clasificación de resistencia al fuego están relacionados con la función que tienen los diferentes elementos constructivos en el conjunto del edificio (por ejemplo si son elementos sustentantes, separadores de sectores de incendio...).

Classificació segons: (classificació principal)	COMBUSTIBILITAT	Aplicació final			COMBUSTIBLE	CONTRIBUCIÓ AL FOC	
		parets sostres	terres	Productes lineals per a aïllament tèrmic de canonades			
		A1	A1 _{FL}	A1 _L	NO	NO	grau màxim
		A2	A2 _{FL}	A2 _L	NO	NO	grau menor (duració de la flama <20s)
		B	B _{FL}	B _L	SI	SI	Molt limitada
		C	C _{FL}	C _L	SI	SI	Limitada
		D	D _{FL}	D _L	SI	SI	Mitja
		E	E _{FL}	E _L	SI	SI	alta
		F	F _{FL}	F _L	Sense classificar, sense comportament determinat		
Classificacions addicionals segons:	OPACITAT DE FUMS	Quantitat i velocitat d'emissió			Baixa	s1	Observacions: Les classes A1, A1 _{FL} i A1 _L ; E, E _{FL} i E _L ; i F, F _{FL} i F _L no es classifiquen sota aquest concepte.
					Mitja	s2	
					Alta	s3	
	CAIGUDA DE GOTES O DE PARTÍCULES INFLAMADES	Sense caiguda (UNE-EN 13823:2002) en 600s			d0		Observacions: Les classes A1, A1 _{FL} i A1 _L ; i F, F _{FL} i F _L no es classifiquen sota aquest concepte.
Sense caiguda (UNE-EN 13823:2002) durant més 10s			d1				
		Ni d0, ni d1			d2		

Les Euroclasses: UNE EN 13501-1:2002

SITUACIÓ DE L'ELEMENT	REVESTIMENTS	
	De sostres i parets	De terres
Zones ocupables ⁽¹⁾	C-s2,d0	E _{FL}
Aparcaments	A2-s1,d0	A2 _{FL} -s1
Passadissos i escales protegits	B-s1,d0	C _{FL} -s1
Recintes de risc especial	B-s1,d0	B _{FL} -s1
Espais ocults no estancs (patinets, cel-rasos, terres elevats, etc.)	B-s3,d0	B _{FL} -s2 ⁽²⁾

1 Inclou, tant les de permanència de persones, com les de circulació que no siguin protegides. Exclou l'interior dels habitatges.
2 Es refereix a la part inferior de la cavitat. Per exemple, en la cambra dels cel-rasos es refereix al material situat en la cara superior de la membrana. En espais amb clara configuració vertical (per exemple, patinets) aquesta condició no és aplicable.

Clases de reacción al fuego de los elementos constructivos

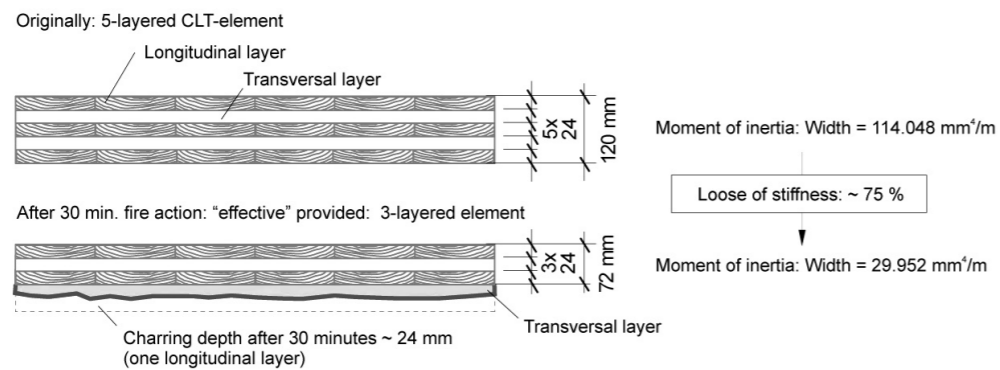
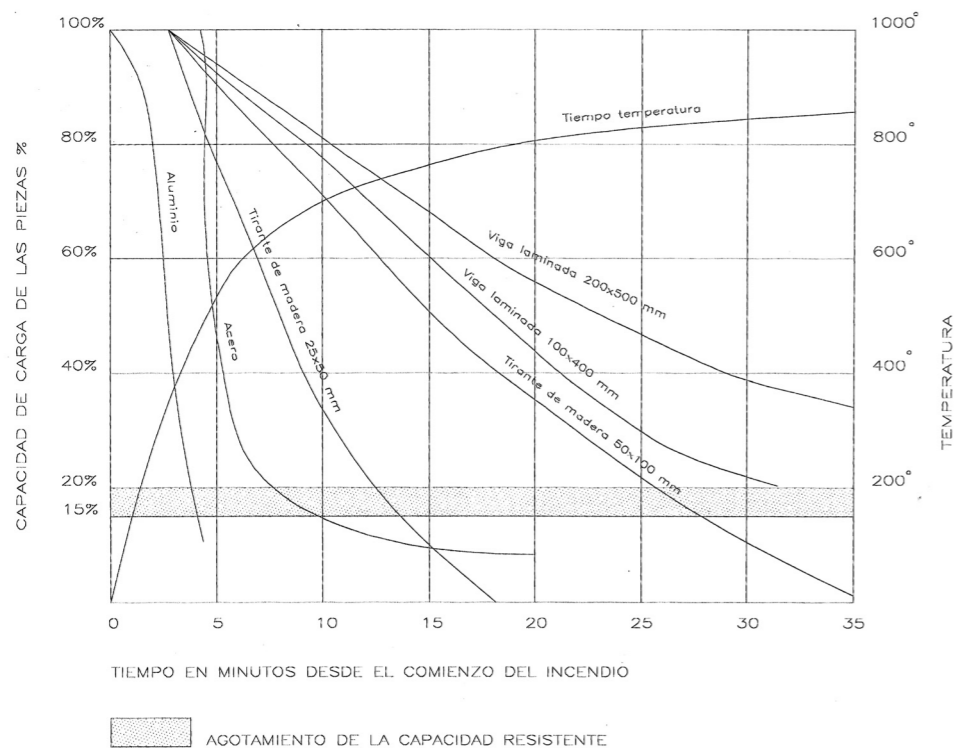


Fig. 36 Loss of stiffness of a one-sided, fire exposed CLT-element

Pérdida de capacidad resistente de un forjado. (Esquema Temtis)



Pérdida de capacidad resistente de diversos elementos estructurales de madera y de metal.

Hay tres características principales del comportamiento de resistencia al fuego, que son:

R representa la capacidad portante de un elemento estructural, es decir, la capacidad de dicho elemento de soportar durante un período de tiempo y sin pérdida de la estabilidad estructural la exposición al fuego en una o más caras, bajo acciones mecánicas definidas.

E representa la integridad de un elemento constructivo con función separadora, es decir, la capacidad de no dejar paso a llamas o gases calientes que puedan producir la ignición de la cara no expuesta al fuego del mismo o de cualquier material adyacente a esa superficie. El fallo del criterio de capacidad portante también se considera fallo de la integridad.

I representa el aislamiento de un elemento constructivo con función separadora, es decir, la capacidad de dicho elemento de soportar la exposición al fuego en un solo lado, de forma que no se supere una temperatura determinada en la cara no expuesta al fuego.

Estos parámetros van acompañados de un valor que es el período de tiempo en minutos durante el cual se mantienen los requisitos de comportamiento: 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 o 360.

La condición de reacción es intrínseca al material y poco se puede hacer para mejorar su comportamiento si no es con cierta ignifugación para cumplir lo exigido según los espacios, en cambio la Resistencia en un periodo de tiempo, se resuelve al final la mayoría de veces con un sobredimensionado de la pieza sin necesidad de adoptar otras acciones.

Material		β_0 in mm/min
Solid softwood	with $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$ and min a $\geq 35 \text{ mm}$	0.8
Glued laminated softwood	with $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.7
Wood panels	with $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ and $t_p = 20 \text{ mm}$	0.9
Solid hardwood	with $\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$	0.5
Glued laminated hardwood	with $\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$	0.5
Oak		0.5
Solid hardwood	with $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.7
Glued laminated hardwood	with $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.7
Plywood	with $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ and $t_p = 20 \text{ mm}$	1.0
Wood-based panels	with $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ and $t_p = 20 \text{ mm}$	0.9

Tab. 1 Design charring rates β_0
(with t_p : thickness of wood and wood-based panels, a: width or depth of cross-section)

Tabla de tiempo de carbonización de Temtis.

	β_n (mm/min)
Coníferas y haya	
Madera laminada encolada con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,70
Madera maciza con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,80
Frondosas	
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica de 290 kg/m^3 ⁽¹⁾	0,70
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,55
Madera microlaminada	
Con una densidad característica $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,70

⁽¹⁾ Para densidad característica comprendida entre 290 y 450 kg/m^3 , se interpolará linealmente

E.2.3.1. Tabla E.1. Velocidad de carbonización nominal de cálculo de madera sin protección.
CTE SI

En el caso de los tableros contralaminados Aitim se refiere a la reacción y a su resistencia diciendo:

Reacción al fuego

De acuerdo con la Decisión de la Comisión 2003/43/EC y con lo especificado en el último borrador de su norma armonizada se clasifican sin necesidad de ensayar como:

- D-s2, d0, para muros y techos.

- DFL-s1, para suelos.

Esta reacción al fuego se puede mejorar con la aplicación de tratamientos retardadores del fuego en la madera, en cuyo caso el fabricante tiene que aportar el informe de ensayo correspondiente y la clasificación realizada de acuerdo con las normas UNE-EN 13501-1.

Resistencia al fuego

El último borrador de su norma armonizada menciona que se puede calcular de forma teórica a través de las resistencia al fuego de sus componentes o mediante ensayo normalizado.

Por otra parte al tratarse de tableros de madera maciza se puede calcular de acuerdo con las indicaciones del Eurocódigo 5 (UNE EN 1995-1-2) o el DB SI siguiendo un modelo de cálculo para secciones compuestas teniendo en cuenta como se carboniza.

Y añade en el documento de pliego de condiciones que Aitim ofrece, diciendo:

El parámetro dependiente de la madera es la velocidad de carbonización, que si no se protege con otros materiales independientes toma los valores eficaces de:

- 0,8 mm/min en madera aserrada de coníferas

- de 0,5 a 0,7 mm/min en madera aserrada de frondosas y madera laminada encolada.

La norma UNE-EN 1995-1-2 no incluye el valor de la velocidad de carbonización de este producto. El fabricante deberá declarar este valor basado en ensayos. No obstante, al tratarse de tableros de madera maciza se puede tomar como valor de la velocidad de carbonización la de 0,9 mm/m especificada en el CTE. o calcularse, de acuerdo con las indicaciones del Eurocódigo 5 teniendo en cuenta si se carboniza:

- solamente la capa externa, capas con la misma dirección de la fibra. La sección transversal del resto de la madera se reducirá en un 10%. Por lo menos la capa de cubrición permanecerá sin carbonizarse 3 minutos. Se puede tomar como velocidad de carbonización eficaz 0,67 mm/min.

- varias capas:

Se puede tomar como velocidad de carbonización eficaz 0,76 mm/min.

La realidad es que la industria, como Stora Enso clasifica sus tableros como D-s2, d0 y lo mismo que KLH y añade que la velocidad de combustión es según ETA - 06/0138, siendo de 0,76mm/min si el fuego afecta a varias caras del tablero y 0,67mm/min si el fuego solo afecta a una de las caras.

En el Temtis se valora muy favorablemente el TCL frente al fuego, a pesar que como dice el TCL está compuesto de material orgánico que arde, pero que las capas externas protegen el conjunto al carbonizarse pero que si la comparamos con la madera laminada la velocidad de combustión puede ser mayor por la existencia de las juntas abiertas de la capa exterior y que esto se resolvería sellando con adhesivo estas capas. Es decir encolando las tablas por su canto, algo poco común pero que posiblemente en un futuro se podrán ver productos con cierto valor añadido contra el fuego. Las pruebas realizadas dan que con un forjado de 120cm de 5 capas tiene una resistencia de 60 minutos sin aplicarle ninguna protección adicional.

FPIinnovations empieza diciendo prácticamente lo mismo, que los TCL tienen el potencial de ofrecer excelentes resultados de resistencia al fuego incluso comparable a sistemas constructivos basados en materiales no combustibles y comenta lo dicho en el Temtis sobre la conveniencia de que en la capa exterior estén encoladas las tablas entre ellas para evitar el paso de aire ni gases calientes.

A pesar de las normas y analizando la problemática desde el punto de vista del sistema constructivo y el hecho de que sea un sistema prefabricado a partir de tableros, se debe tratar desde dos puntos de vista.

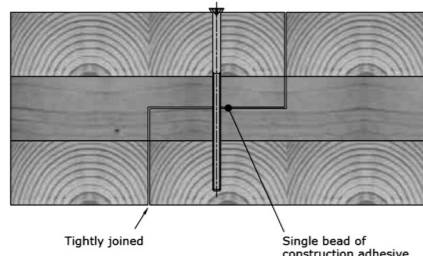
- 1- La estanqueidad del sistema.
- 2- La resistencia estructural al fuego, tanto de los tableros como sus uniones.

El sistema prefabricado a partir de tableros genera juntas en las que hay que asegurar su estanqueidad a aire y gases calientes durante la duración del fuego y esto se puede resolver con el engolado entre tablas o usando adhesivo para sellar las juntas.

La junta a través de uniones de escalón daría buena respuesta añadiendo algún sellado en la junta, incluso el resto de uniones, como las de lengüeta que dan buen resultado, pero hay que ser cuidadoso en el sellado.



Test de comportamiento ante el fuego de TCL.



Unión con buen comportamiento a fuego.

La resistencia estructural en lo que contempla las uniones está claro que las uniones a partir de geometría (carpintero) se dimensionarán en relación de la afectación del fuego sobre la madera pero las uniones expuestas metálicas se tendrán que valorar desde las normativas sobre elementos metálicos y a la vez de su función en el conjunto, es decir, si cuando se hablaba del sistema Platform, nos referíamos a los elementos metálicos como simples prótesis de afianzamiento y que la mayor parte del requerimiento estructural ya estaba resuelto con el simple apoyo entre paneles, no tendrá nada que ver con el requerimiento a nivel de fuego que tendrán los elementos en uniones en sistemas tipo Ballon, donde todo depende de las prótesis.

Sobre la resistencia estructural del tablero a fuego, FPInnovations hace una primera reflexión sobre la velocidad de carbonización que da la norma (Eurocodigo 5), una velocidad de 0,65mm/min siendo una velocidad constante pero que el TCL no es un material "constante" y hay que pensar en la contribución del adhesivo utilizado para la manufacturación de los tableros.

En un incendio, si hay una carbonización de la capa exterior con una profundidad de unos 12mm, se puede considerar una temperatura en la superficie de encolado, en la junta de encolado de las capa del tablero de unos 150 grados por lo que si la cola utilizada es un adhesivo termoplástico su función puede quedar comprometida.

Por este motivo el adhesivo escogido para la manufacturación del tablero debe ser estable a altas temperaturas o tener en cuenta el fallo de la capa de encolado a cierta profundidad de carbonización.

Estructuralmente, el sistema funciona sobradamente a fuego y su problema es su propia combustión y la generación de humos y gases en el proceso. Esto lo invalida (con la norma actual) como acabado en ciertos espacios pero no lo invalida como estructura con cierta ignifugación (trasdosado de yeso), cumpliría para todo tipo de espacios.

A la vez la industria está ofreciendo una media de tres acabados, en los catálogos, pero todos bajo consideraciones estéticas y costaría poco en la selección de las tablas de las capa exteriores ser un poco más específicos y utilizar materiales ya tratados, encolados entre ellos o con ciertas propiedades ignífugas. Esto generaría en los catálogos de las empresas unos tableros estructurales con clasificaciones más allá de la D-s2, d0 que finalmente nos prohíbe el uso de los tableros acabados vistos en la mayoría de espacios públicos.



Test de comportamiento ante el fuego de TCL.

Amatex s.a. habla de tratamientos de ignifugación de la madera a partir de autoclave y dicen:

“La madera tratada con INIFFOC PLUS AUTOCLAVE FR.6236 garantiza la clasificación B s2 d0 de acuerdo con UNE EN 13501, un excelente comportamiento, sin pérdida de valor estético ni propiedades. Por tanto, permite un amplio uso de la madera sin complicaciones técnicas en el diseño ni el montaje, con un excelente nivel de acabado. El uso de la madera en revestimiento está solucionado con Innifoc, como así lo atestiguan los ensayos realizados de acuerdo con UNE EN 13823.”

Es decir, podríamos producir tableros con acabados B s2 d0 , lo que permite poder usarlos de forma vista en muchos más espacios.



Consecuencias del incendio del Liceo de Barcelona.

4.5. RENDIMIENTO ACÚSTICO.

RENDIMIENTO ACÚSTICO.

¿Cómo se logra el confort acústico? y ¿Cuál es el confort acústico?.

El comportamiento de los Tableros Contralaminados a nivel acústico, como el resto de materiales, tiene que ver con el contexto en el que se encuentre (lugar, normativas).

El confort es muy subjetivo y cada uno es más o menos sensible al ruido, pero a pesar de lo individual las normas son también más o menos sensibles al problema.

En España, a partir del Código Técnico, parece que la sensibilidad al ruido aumenta y se ha fijado una norma que cambia ya en su objetivo.

Antes se exigía que los materiales de construcción fuesen de unas características concretas y así al colocar materiales con cierto comportamiento hacia el ruido se suponía que ya se solucionaba el problema.

Ahora, en cambio, ya no importa los certificados de los materiales sino el resultado que con ellos se consiga. Se busca un resultado una vez construido el espacio, se busca el resultado en el espacio no del cerramiento. Esto provoca que ante la necesidad de certificar unos logros adquiridos es fundamental la ejecución de todos los cerramientos y entender cómo funciona la acústica de los espacios y porqué se transmite.

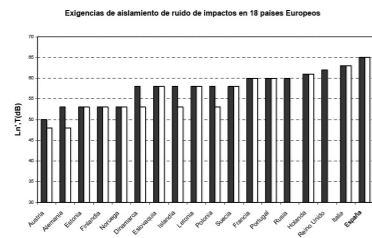
Sabemos que hay dos tipos de ruidos a los que se va a tener que dar una respuesta. Son el aéreo y el de impacto (El de impacto se propaga a gran velocidad a través de los materiales con poca pérdida de energía, este tipo de vibración finalmente provoca ruido aéreo).

El aéreo, para entenderlo hay que ver como se transmite, en el Tectónica número 14 en el artículo de Gabriela Roselló y Jose Maria Marzo nos hablan del ruido y de cómo aislarse, de la manera de como se transmite y dan tres opciones de transmisión;

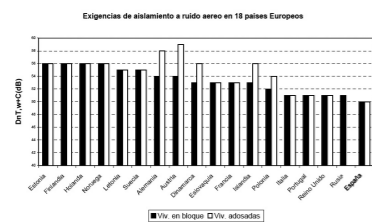
1. Vía directa por los paramentos.
2. Transmisiones laterales.
3. Por impacto.

Es decir, el aéreo se transmite por vía directa y por transmisiones laterales o emisores secundarios y esta transmisión será mayor o menor dependiendo de cómo sea los encuentros de los diferentes acabados o materiales que componen los cerramientos.

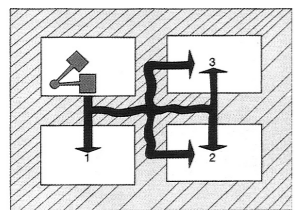
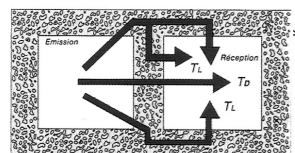
El tema acústico ya no se puede valorar desde los materiales de construcción sino desde el conjunto que componen un espacio, e incluso conceptos de ruido día hace que soluciones aptos para un lugar no lo sean para otro. (una fachada y la otra del mismo edificio)



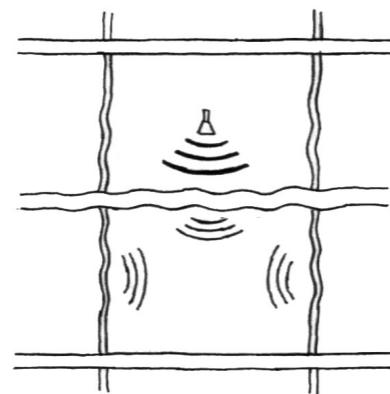
España como país menos sensible de Europa. (65dB)

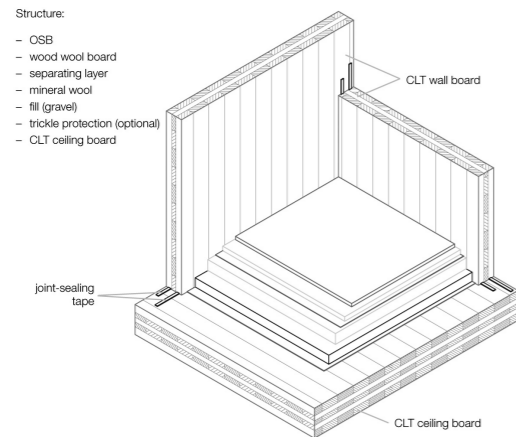


España como país menos sensible de Europa. (50dB)



Esquemas de transmisión del sonido.





Detalle estándar de Stora Enso de capas para forjado.



Construcción sensible a los detalles. Independencia a la vibración.

En la guía de construir con madera, editada por Confemadera, se habla de los requerimientos acústicos, desde el punto de vista normativo del “Código Técnico”, y lo aborda en relación con la localización del edificio (aéreo exterior-interior) y en relación con el edificio (aéreo entre espacios, impacto y reverberación).

Es decir, en relación al ruido que llega desde el exterior del edificio al interior o en relación del ruido que llega de una estancia a otra y esto bajo dos ideas, sobre cuantos dB se ha podido atenuar (cuanto más alto en dB sea más restrictiva será la norma) y cuanto menos ruido llega desde una fuente (siempre la misma) que sería de impacto (cuanto menos valor de dB más restrictiva será la norma). Lo que se busca ahora es un resultado y no cómo se consigue éste.

*“La madera es un material que presenta un bajo aislamiento al ruido aéreo pero que, en cambio, su porosidad asegura una buena absorción de las ondas acústicas, disminuyendo el tiempo de reverberación. Normalmente, debido a la densidad, materiales que presentan unas características de buenos absorbentes tienen un mal aislamiento al ruido aéreo. Por este motivo, **se desaconseja para la construcción con madera la utilización de elementos constructivos homogéneos** (de una sola capa) salvo en los sistemas de entramado pesado en donde materiales de gran densidad queden intercalados entre los elementos estructurales de madera. En la construcción con madera se suele emplear elementos constructivos mixtos (de dos o más capas).*

El aislamiento acústico de los elementos constructivos mixtos depende de las propiedades de cada una de las capas que lo componen, de la unión entre ellas y de la atenuación debida al espacio vacío entre cada una de las capas. En la construcción con madera conviene respetar los siguientes principios:

- Utilización de capas flexibles (ejemplo, placas de yeso laminado).
- Separación de la unión entre las diferentes capas por medio de uniones elásticas (ejemplo, techos suspendidos).
- Empleo de material poroso y fibroso para rellenar las cavidades, como la lana mineral. Cuanto mayor sea la resistencia al flujo de aire, presentará un mejor aislamiento acústico. Los aislantes consistentes en espumas con estructura de célula cerrada, como la espuma de poliestireno, son malos absorbentes acústicos y por lo tanto no mejoran el aislamiento acústico.
- Utilización de masa flexible (incluso con el empleo de grava o arena).
- Garantizar un buen hermetismo.
- Evitar los puentes sonoros.
- Empleo de bandas o capas de aislamiento al impacto en el caso de forjados.”

Centrándonos en el comportamiento a nivel acústico de los Tableros Contralaminados, vemos como la industria, dentro de las características del material que nos está vendiendo, introduce valores de absorción acústica o de atenuación acústica, valores que sirven de guía para diseñar los cerramientos pero no como valores absolutos .

Está claro que son datos extraído de ensayos de esos cerramientos aislados de todo, por lo que serán datos de transmisión por vía directa, faltando muchos datos aún para valorar si funciona finalmente.

KLH nos da datos en el caso de un KLH 94 3s TT (Top layer Transversal) un valor de aproximados unos 33dB y en el caso de un KLH 145 5s TL (Top layer Longitudinal) un valor de 37dB y deja vacío, sin valorar el aislamiento acústico ante impacto y la absorción acústica.

Metsawood nos ofrece composiciones de muros, con trasdosados de yeso, cámaras y otros intercalados llegando a ofrecer unos 75dB en su solución más óptima.

Egoin no da datos y nos dice: *“Las diferentes configuraciones de los paneles EGO_CLT™ y EGO_CLT MIX™ permiten cumplir las últimas normativas en materia de aislamiento acústico, tan exigentes como el nuevo CTE DB-HR (Código Técnico de la Edificación) o la normativa francesa NRA-1992.*

*A pesar de su bajo peso propio, los niveles alcanzados en aislamiento al ruido aéreo y de impacto son muy elevados, debido fundamentalmente a su sistema constructivo, que **desacopla mecánicamente** las caras externas.*

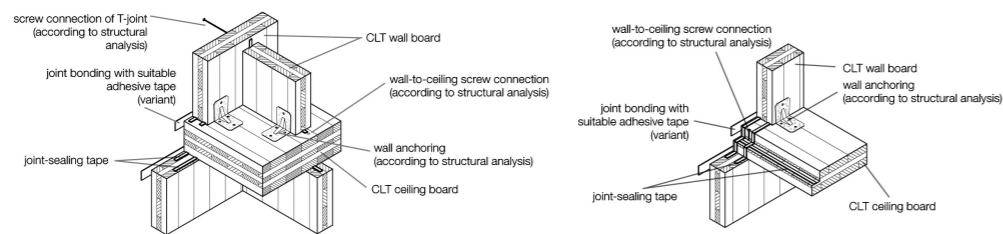
Los materiales utilizados en las cámaras (fibras de madera, lana de roca, etc) aúnan altos coeficientes de absorción acústica con bajos índices de rigidez dinámica, necesarios para potenciar el amortiguamiento entre superficies externas.

Una ventaja capital del sistema, es que los paneles no están sujetos a manipulación posterior a su fabricación, con lo que se consigue una gran homogeneidad en los resultados de aislamiento acústico obtenidos en la certificación final.

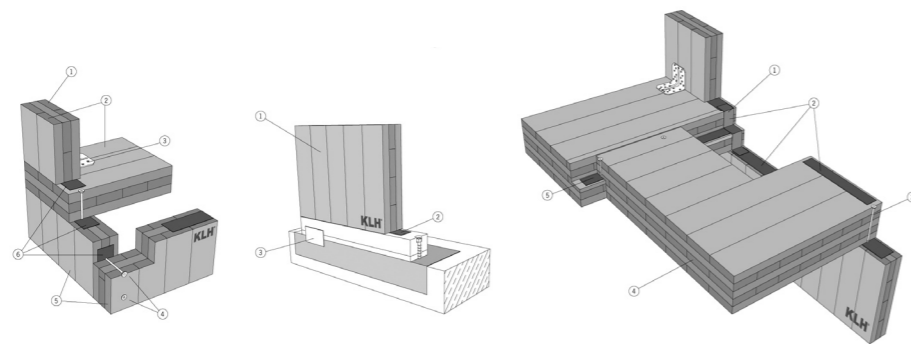
Stora enso al referirse al tema acústico nos remite a Dataholz, igual que Binderholz que ha generado un banco de datos igual o similar que el de Dataholz, dando datos de diferentes configuraciones de divisorias. Incluso en el Datenbank de Binderholz, funciona de forma interactiva que es el usuario que fija las necesidades a nivel acústico (también a nivel de fuego y térmico) y el banco te ofrece distintos tipos de divisorias multi-capas con esos requisitos.



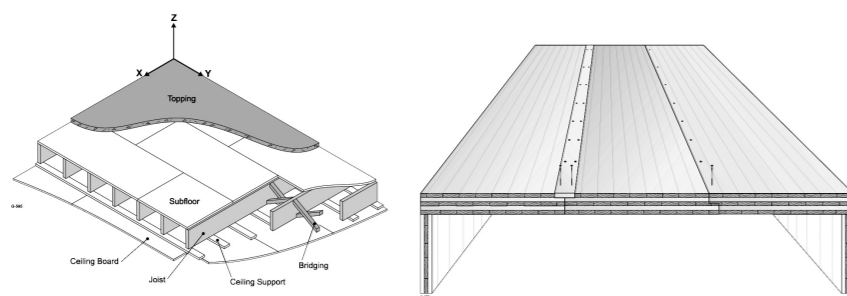
Construcción sensible a los detalles. Independencia a la vibración.



Detalle standar de Stora enso donde siempre se plantea las bandas y sellados para el aire y vapor.



Detalle standar de KLH donde siempre se plantea las bandas y sellados para el aire y vapor.



Forjados de madera.

	Bare Light-weight joisted floor	Bare CLT floor	Bare Steel-concrete, concrete slab floor
Mass/Area (kg/m ²)	15-30	30-150	>150
Fundamental Natural Frequency (Hz)	>15	>9	<9
Damping Ratio (%)	3	1	1

Comparativa entre forjados. Peso propio marca la diferencia.

Word Solutions nos dice: “rendimiento acústico de CLT es excelente y es equivalente a otras formas de construcción..... aislamiento de ruido lateral en las conexiones de piso a paredes constituidos por tiras de sellador de poliuretano de amortiguación o de caucho natural....”

Y Wood Works “.... sistemas CLT proporcionan control de ruido adecuada tanto para el aire y la transmisión del sonido de impacto. Sistemas de CLT ofrecen beneficios adicionales acústicos porque los constructores utilizar sellados y otros tipos de membranas para proporcionar estanqueidad al aire y mejorar el aislamiento de sonido en las interfaces entre el piso y la pared”

Con los Tableros Contralaminados no son evidentes sus resultados, no se pueden clasificar como un forjado clásico de madera ni como uno de hormigón. Su densidad es igual que la de un forjado de madera pero no su peso propio, siendo 4 veces más y a la vez 4 veces menos que el peso propio de uno de hormigón. Por lo que en comparación con el hormigón funciona peor para aislarse del ruido.

En el sistema TCL, ante la necesidad de hacerse estanco al aire y al vapor, trata todas las juntas con especial atención y la manera estándar ya contempla generar sistemas herméticos al aire a partir de juntas de neopreno en todos los contactos entre tableros por lo que se genera una **estructura que no transmite vibraciones** entre sus elementos o los amortigua. Todo los elementos quedan desvinculados uno de otros a nivel de transmisión de vibraciones, dependiendo del sistema escogido (Ballon o Platform) habrá transmisión horizontal o vertical y habrá que actuar en consecuencia, pero el mismo sistema constructivo genera que las transmisiones colaterales o indirectas sean mínimas.

FPIinnovations, en el simposium de Vancouver presentó una comparación entre forjados, uno clásico de madera, uno de Contralaminado y uno de hormigón, llegando a la conclusión que la vibración del Contralaminado era más similar a la de hormigón que a la de madera tradicional, tanto por su peso propio como por su frecuencia natural, y lo más importante era que su frecuencia natural era considerada como baja >9Hz por lo que el efecto de amortiguamiento era favorable en comparación a lo estándar de los forjados de madera.

El comportamiento acústico con Contralaminado no se puede decir que sea malo por el hecho de ser de madera, porque si analizamos la masa que tendría un forjado reticular en las zonas de casetones nos daríamos cuenta que sufren de grandes puente acústicos.

Los resultados de aislamiento en un forjado reticular sí que son mejores, pero vemos que no imposibles conseguirlos en un forjado de TCL.

En test realizados por French Institute of Technology for Forest-Based and Furniture Sectors (FCBA) con la colaboración de FPIInnovations vemos que los resultados no son desfavorables y tecnificando un poco las diferentes capas, los resultados obtenidos son absolutamente competitivos con otros sistemas constructivos.

En el libro ABC de la acústica de Higinio Arau, se nos dan datos de aislamiento, en paredes como 38dB para pared de ladrillo de 140mm y llegando a 48dB en el caso de pared de hormigón de 140mm y comparado a los resultados conseguidos por FCBA de entre 32 y 34dB para pared de 3 capas entre 95 y 115mm, parece que no estamos tan lejos y sobretodo pensando que en el caso del Contralaminado estos resultados podríamos darlos por definitivos por la “facilidad” de controlar las transmisiones colaterales.

En el caso de forjados, en el catálogo de elementos constructivos del CTE, un forjado reticular sin casetones de espesor de 250mm ronda los 51 dB y un forjado de 5 capas de 146mm da una atenuación de 39 dB que añadiendo una lámina de Isover ep3 20mm pasamos a 53 dB.

Los datos obtenidos permiten pensar que el Contralaminado es un material válido para responder a las exigencias de las diferentes normativas acústicas y que a la vez permite que la misma ejecución favorezca el control de las incertidumbres que generan las transmisiones colaterales y que permiten pensar que a nivel de impacto la respuesta es buena.



Construcción en el detalle.

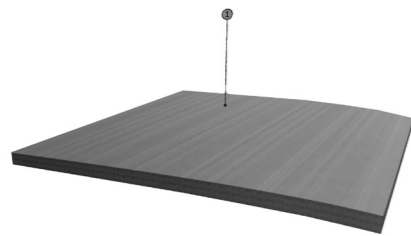


Figura 1.1

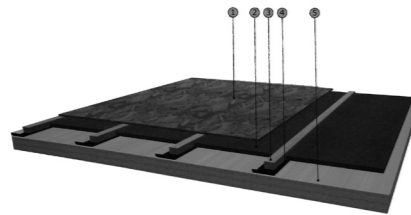


Figura 1.2

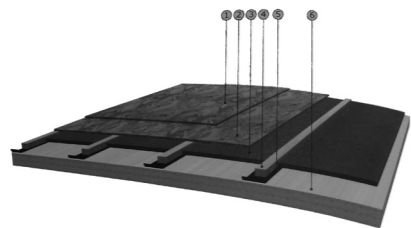


Figura 1.3

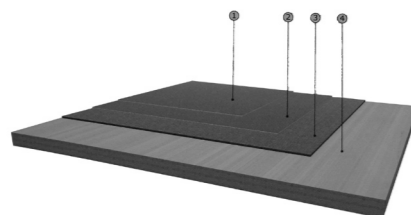


Figura 1.4

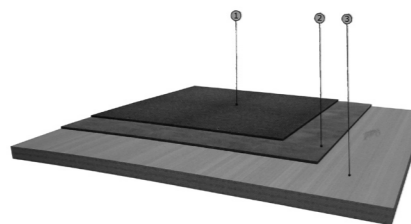


Figura 1.5

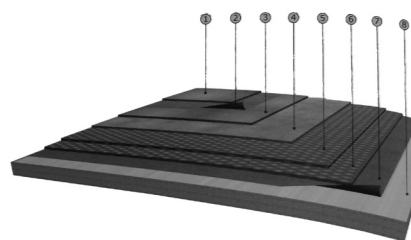


Figura 1.6

Los test realizados por FCBA y FPIinnovations se hacen a partir de diferentes configuraciones que van dando diferentes resultados. FPIinnovations nos presenta un catálogo de configuraciones testadas con FCBA, actuando por una de las caras como por las dos del tablero.

	1 Como forjado		
1.1	Forjado de 5 capas de 146mm	Aéreo	39dB (atenuación)
		Impacto	24dB (atenuación)
	Actuando en una cara		
1.2	Tablero de partículas 22mm Material aislante acústico de 40mm Rastreles Regupol Tablero de 5 capas de 146mm	Aéreo	52dB (atenuación)
		Impacto	45dB (atenuación)
1.3	Tablero de partículas 22mm Tablero de partículas 22mm Material aislante acústico de 40mm Rastreles Regupol Tablero de 5 capas de 146mm	Aéreo	53dB (atenuación)
		Impacto	45dB (atenuación)
1.4	Placa de yeso de 13mm Placa de yeso de 13mm Relleno en seco (Pellets Placosol) Tablero de 5 capas de 146mm	Aéreo	45dB (atenuación)
		Impacto	32dB (atenuación)
1.5	Placa de fibra de yeso (Fermacel 25mm) Sub-suelo Isover EP3 20mm Tablero de 5 capas de 135mm	Aéreo	49dB (atenuación)
		Impacto	53dB (atenuación)
1.6	Pavimento de hormigón prefabricado 20mm Papel Kraft Pavimento de hormigón prefabricado 20mm Sub-suelo Isover EPI 30mm Panal acústico Fermacel 30mm Panal acústico Fermacel 30mm Papel Kraft	Aéreo	64dB (atenuación)

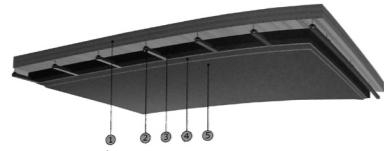


Figura 1.7

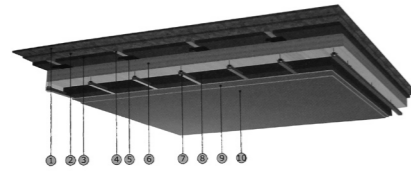


Figura 1.8

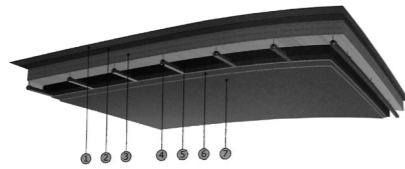


Figura 1.9

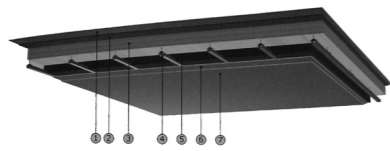


Figura 1.10

- 1.7 Tablero de 5 capas de 146mm
 Soportes elásticos con raíles (100mm)
 Material aislante acústico (100mm)
 Placa de yeso de 13mm Aéreo 64dB (atenuación)
 Placa de yeso de 13mm Impacto 59dB (atenuación)

Actuando en las dos cara del tablero

- 1.8 Tablero de partículas 22mm
 Tablero de partículas 22mm
 Material aislante acústico de 40mm
 Rastreles
 Regupol
 Tablero de 5 capas de 146mm
 Soportes elásticos con raíles (100mm)
 Material aislante acústico (100mm)
 Placa de yeso de 13mm Aéreo 67dB (atenuación)
 Placa de yeso de 13mm Impacto 62dB (atenuación)

- 1.9 Lámina tipo pvc de 7mm
 Lámina de baja densidad de fibras de 5 mm (Phaltex)
 Tablero de 5 capas de 146mm
 Soportes elásticos con raíles (100mm)
 Material aislante acústico (100mm)
 Placa de yeso de 13mm Aéreo 62dB (atenuación)
 Placa de yeso de 13mm Impacto 63dB (atenuación)

- 1.10 Lámina tipo pvc de 7mm
 Lámina de baja densidad de fibras de 10 mm (Phaltex)
 Tablero de 5 capas de 146mm
 Soportes elásticos con raíles (100mm)
 Material aislante acústico (100mm)
 Placa de yeso de 13mm Aéreo 63dB (atenuación)
 Placa de yeso de 13mm Impacto 64dB (atenuación)

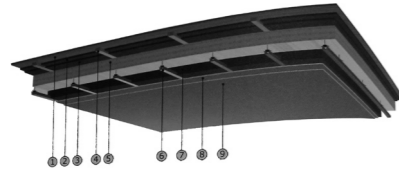


Figura 1.11

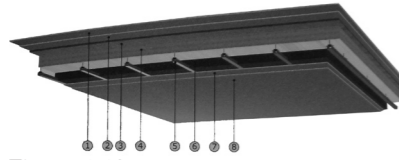


Figura 1.12

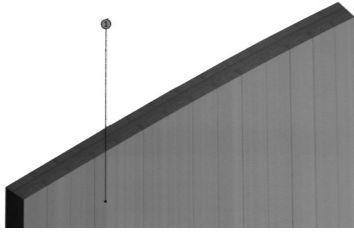


Figura 2.1

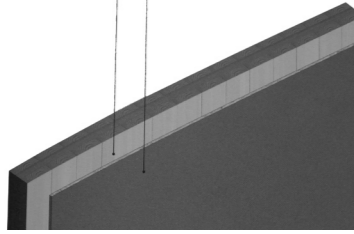


Figura 2.2

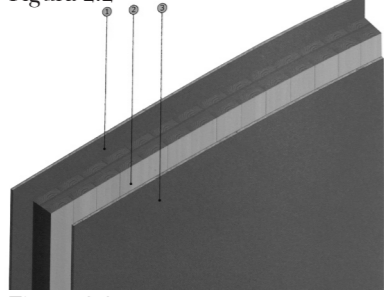


Figura 2.3

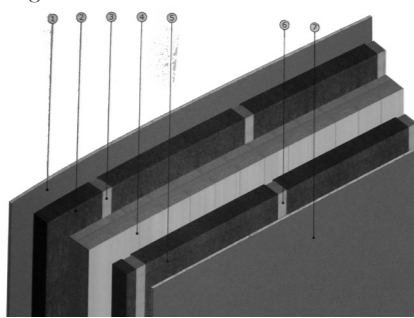


Figura 2.4

1.11	Suelo flotante de		
	Lámina de baja densidad de fibras de 20 mm (Thermisorel)		
	Lámina de baja densidad de fibras de 20 mm (Thermisorel)		
	Rastrele		
	Tablero de 5 capas de 146mm		
	Soportes elásticos con raíles (100mm)		
	Material aislante acústico (100mm)		
	Placa de yeso de 13mm	Aéreo	64dB (atenuación)
	Placa de yeso de 13mm	Impacto	65dB (atenuación)
1.12	Placa de yeso de 13mm		
	Placa de yeso de 13mm		
	Relleno en seco (Pellets Placosol)		
	Tablero de 5 capas de 146mm		
	Soportes elásticos con raíles (100mm)		
	Material aislante acústico (100mm)		
	Placa de yeso de 13mm	Aéreo	63dB (atenuación)
	Placa de yeso de 13mm	Impacto	63dB (atenuación)

2 Como pared

2.1	Pared de 3 capas de 95 y 115mm	Aéreo	32 y 34dB
-----	--------------------------------	-------	-----------

Pared simple

2.2	Pared de 3 capas de 95 y 115mm		
	Placa de yeso de 15m	Aéreo	36 y 38dB
2.3	Placa de yeso de 15m		
	Pared de 3 capas de 95 y 115mm		
	Placa de yeso de 15m	Aéreo	36 y 38dB
2.4	Placa de yeso de 15m		
	Lana mineral 60mm		
	Rastreles		
	Pared de 3 capas de 95 y 115mm		
	Rastreles		
	Lana mineral 60mm		
	Placa de yeso de 15m	Aéreo	58dB

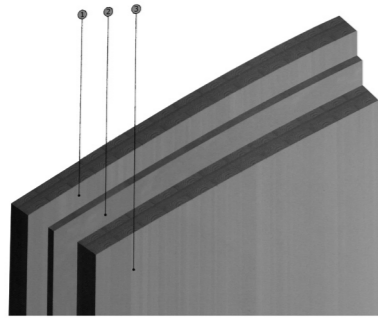


Figura 2.5

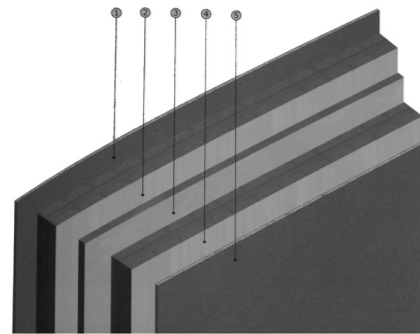


Figura 2.6

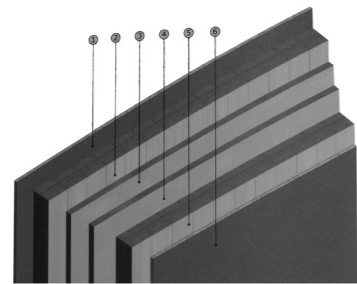


Figura 2.7

Paredes dobles

- 2.5 Pared de 3 capas de 95 y 115mm
 Material aislante acústico (lana mineral o lana de roca 30mm)
 Pared de 3 capas de 95 y 115mm Aéreo 48 y 50dB
- 2.6 Placa de yeso de 15m
 Pared de 3 capas de 95 y 115mm
 Material aislante acústico (lana mineral o lana de roca 30mm)
 Pared de 3 capas de 95 y 115mm
 Placa de yeso de 15m Aéreo 55dB
- 2.7 Placa de yeso de 15m
 Pared de 3 capas de 95 y 115mm
 Material aislante acústico (lana mineral o lana de roca 30mm)
 Material aislante acústico (lana mineral o lana de roca 30mm)
 Pared de 3 capas de 95 y 115mm
 Placa de yeso de 15m Aéreo 60dB

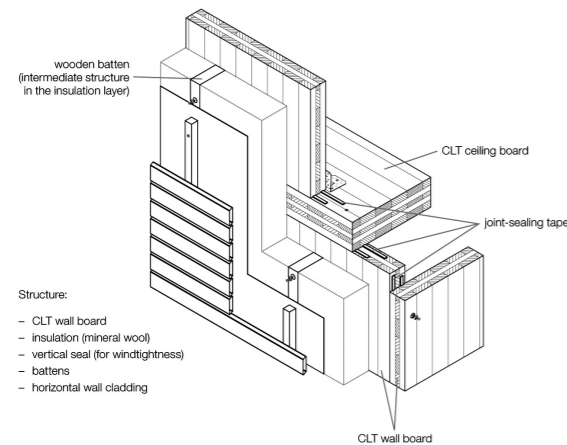
4.6. PARTICIPACIÓN EN LA ENVOLVENTE TÉRMICA.

PARTICIPACIÓN EN LA ENVOLVENTE TÉRMICA.

Los TCL son estructura pero a la vez son parte importante de los cerramientos y divisorias de un edificio. Son parte del conjunto de hojas que definen los cerramientos.

El mismo TCL no puede estar en contacto con el exterior, es un material con un alta sensibilidad a los cambios de humedad y debe estar protegido a la lluvia y a otras fuentes de humedad (cimentación).

Por esta razón, ya en el CTE SE-M, vienen definidas las clases de servicios que pueden ofrecer las estructuras de maderas y en el caso de TCL va limitado a la clase de servicio 1 y 2, es decir, puede estar expuesto en ambientes interior o en el exterior pero bajo cubierta. El concepto de clase de uso está relacionado con la probabilidad de que un elemento estructural sufra ataques por agentes bióticos, y principalmente en función del grado de humedad que llegue a alcanzar durante su vida de servicio.



Clase de uso 1: el elemento estructural está a cubierto, protegido de la intemperie y no expuesto a la humedad. En estas condiciones la madera maciza tiene un contenido de humedad menor que el 20%.

Clase de uso 2: el elemento estructural está a cubierto y protegido de la intemperie pero, debido a las condiciones ambientales, se puede dar ocasionalmente un contenido de humedad de la madera mayor que el 20 % en parte o en la totalidad del elemento estructural.

Clase de uso 3: el elemento estructural se encuentra al descubierto, no en contacto con el suelo. El contenido de humedad de la madera puede superar el 20%.

Clase de uso 4: el elemento estructural está en contacto con el suelo o con agua dulce y expuesto por tanto a una humidificación en la que supera permanentemente el contenido de humedad del 20%.

Clase de uso 5: situación en la cual el elemento estructural está permanentemente en contacto con agua salada. En estas circunstancias el contenido de humedad de la madera es mayor que el 20%, permanentemente.

Por esta razón los TCL tienen implicación directa en lo que concierne a la envolvente térmica pero nunca exclusiva. Es parte de un conjunto de capas.

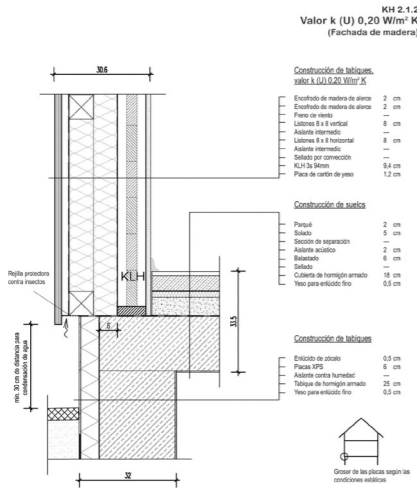
En el Código Técnico en el apartado de ahorro energético (DB HE) viene definida la envolvente térmica en estos términos: *se compone de los cerramientos del edificio que separan los recintos habitables del ambiente exterior y las particiones interiores que separan los recintos habitables de los no habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior.*

Y los parámetros característicos son las **transmitancias** (U) de sus cerramientos.



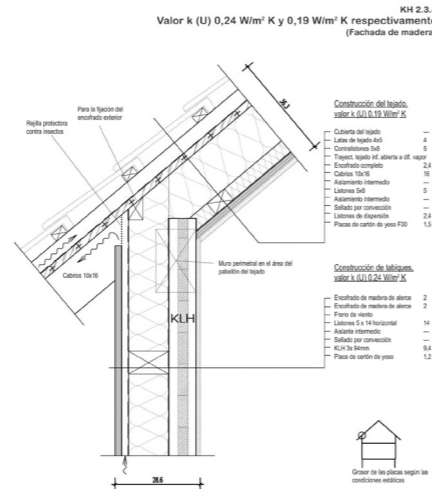
Detalle tipo de fachada (Stora enso)

Catálogo de elementos de construcción



Estas especificaciones son recomendaciones generales del fabricante y por ello deben adaptarse a las circunstancias específicas de cada proyecto.

Catálogo de elementos de construcción



Estas especificaciones son recomendaciones generales del fabricante y por ello deben adaptarse a las circunstancias específicas de cada proyecto.

Detalles de KLH donde siempre plantea la colocación del sellado por convección

En la siguiente tabla se refleja el comportamiento frente a la difusión del vapor de agua de algunos materiales habituales, en función de su factor de resistencia a la difusión y el espesor habitual de los mismos:

Material	μ	d(m)	sd
PVC	50000	0,002	100,00
Forjado unidireccional bovedilla hormigón	80	0,300	24,00
Polipropileno	10000	0,002	20,00
Forjado unidireccional bovedilla EPS	60	0,300	18,00
EPDM	6000	0,002	12,00
Poliuretano proyectado	100	0,080	8,00
Poliestireno extruido XPS	100	0,080	8,00
Tablero Contralaminado BBS	70	0,100	7,00
Tablero Contralaminado KLH	25-50	0,100	2,5-5,0
Tablero contrachapado 600 < d < 900	110	0,020	2,20
Madera de conífera	20	0,100	2,00
Tablero OSB d < 650	30	0,015	0,45
Corcho	5	0,080	0,40
Mortero	10	0,015	0,15
Lana mineral	1	0,080	0,08
Placa de yeso laminado	4	0,015	0,06
Cámara de aire	1	0,050	0,05

Está claro que el PVC, el polipropileno y el EPDM son materiales impermeables, aunque su valor sd no llegue a considerarse como barrera de vapor.

Tanto el poliuretano como el poliestireno alcanzan un buen valor de freno de vapor, que en función de las circunstancias climáticas, puede ser suficiente para evitar la condensación.

La madera, debido a su higroscopicidad, nunca actuará como barrera. Aunque los productos manipulados dan mayores valores de resistencia a la difusión. Entre los tableros CLT encontramos diferentes valores en función de los fabricantes, pero nada despreciables. El tablero contrachapado es el que mejor valor μ presenta, pero no suele tener grandes espesores.

Extracto de la tesis de Javier Domingo de Miguel

A pesar de estos parámetros, los TCL nos aportan otros que son, la estanqueidad al aire, resistencia a la **difusión del vapor** y **barrera de vapor**.

KLH, nos habla que a partir de tableros de 3 capas de calidades ISI o WSI y todo los tableros de 5 capas o más, pueden considerarse estancos al aire y con una resistencia a la difusión del vapor de agua " μ " de entre 25 y 50.

Los de BBS (Binderholz) dan un valor de " μ " de 70.

Los de Schillider hasta 80

Amatex nos dicen que: "El proceso de encolado utilizado no crea una película estanca al vapor de agua, por lo que para la determinación técnica de la protección de la humedad de las placas de madera contralaminada se puede emplear el coeficiente de resistencia a la humedad U con valores entre 30-40, similar a los habituales en madera maciza. De esta manera se pueden conseguir cerramientos totalmente permeables a la difusión del vapor, sin riesgo de condensaciones interiores, con una adecuada estructura de capas."

Javier Domingo de Miguel en su trabajo final de Master de la ETSA de Navarra, titulado "Evaluación del comportamiento térmico e higrotérmico de cerramientos de madera" nos dice: "La madera, debido a su higroscopicidad, nunca actuará como barrera. Aunque los productos manipulados dan mayores valores de resistencia a la difusión. Entre los tableros CLT encontramos diferentes valores en función de los fabricantes, pero nada despreciables. El tablero contrachapado es el que mejor valor μ presenta, pero no suele tener grandes espesores."

Los datos que logra son que sólo cuando usa XPS (Poliestireno extruido XPS) como aislante no sufre condensaciones en la cara fría, por lo que sería conveniente colocar una barrera de vapor en la cara caliente del aislante siempre que se utilice otro tipo de aislante.

Este trabajo se realizó comprobando diferentes soluciones para un clima montañoso, donde la diferencias de temperaturas provocaba que el control de las humedades fuera drástico y que siempre se dieran condensaciones en la cara fría del aislante, lo que posibilita que en otros climas se pueda considerar la resistencia del TCL suficiente y no sufrir condensaciones.

Y como en la acústica, una cosa son los tableros y otra sus juntas, que es donde hay que hacer un sellado al aire y al vapor de forma que no se generen puentes térmicos. Es la medida mas rentable para la mejora de la eficiencia energética de los edificios.

Fig. 1 shows a graph on which the U-values of non-clad CLT panels are plotted depending on panel thickness.

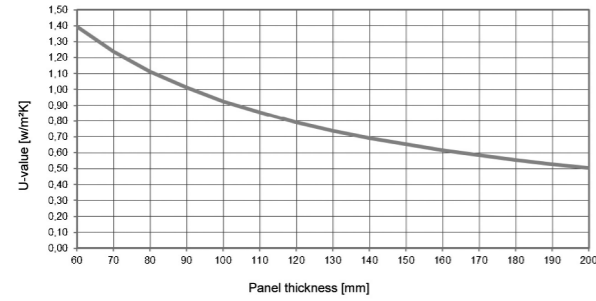


Fig. 1: U-values of non-clad CLT exterior wall panels

Fig. 2 shows a graph on which the U-values of insulated CLT panels with a thickness of 100 mm are plotted depending on the thickness of the insulation material (thermal conductivity group WLG 040).

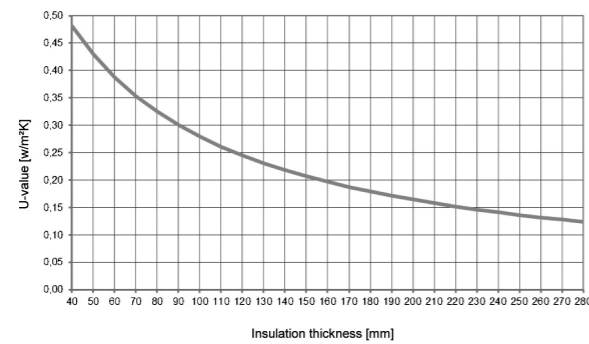
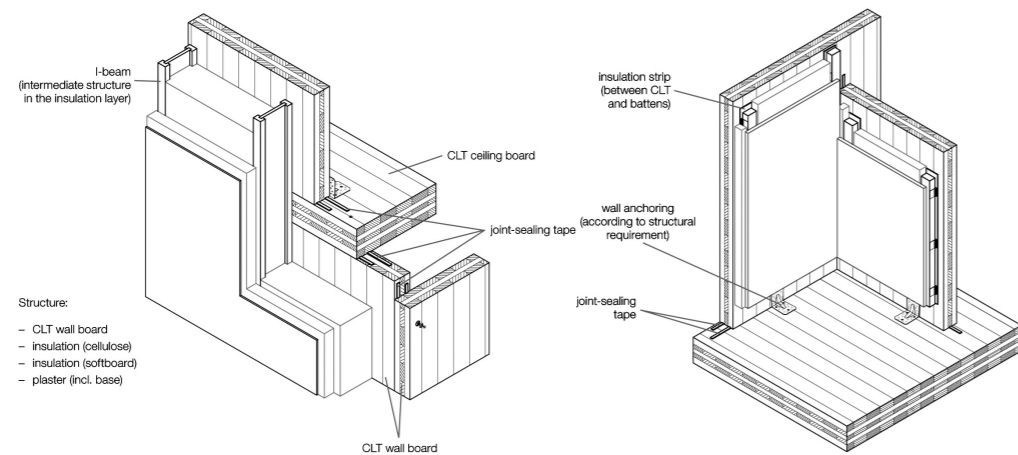


Fig. 2: U-values of insulated 100 mm CLT external wall panels depending on the thickness of the insulation (WLG 040 insulation material)

Datos proporcionados por Storaenso.



Control en los detalles de estanqueidad al aire, inexistencia de puentes térmicos.

En KLH sus tableros tiene una conductividad térmica de $\lambda = 0.13 \text{ W/(mK)}$ según EN 12524 y para Egoin, Metsawod, BBS, MM Kaufman, Timbory lo mismo.

Para Stora enso la conductividad es según el peritaje de SP Suecia del 10.07.2009 de $0,11 \text{ W/(mK)}$ y para los suizos de Schillider una de $0,12 \text{ W/mK}$.

Es decir, son valores realmente bajos, los mismos que si fuese madera maciza.

Comparado con otros materiales de construcción como el ladrillo, que ronda una conductividad de entre $0,85$ y $0,32$ o hormigón, con un valor de $2,5$.

Entre 10 y 3 veces menos conductivo y sobre 10 veces más que los materiales considerados aislantes, no se puede considerar un aislante pero lo que sí que nos garantiza es la no existencia de puentes térmicos.

Las distintas empresas nos presentan detalles de muros con diferentes soluciones de aislantes, de fachadas ventiladas o no ventiladas, dando valores de U dependiendo si es con tablero de 3 capas o 5 , llegando a valores como presenta KLH, para Passivhaus, de $0,12$ en fachadas o $0,10$ en cubiertas.

A pesar de la poca transmitancia que tenga el TCL no quita que necesite de una capa de material aislante por su exterior para alcanzar el grado de confort interior requerido y que esta capa variará según las exigencias, como en el caso de las "Passivhaus" que llegan a espesores de 30cm de material aislante o según el clima de donde se esté construyendo.

Por lo que las ventajas respecto otras tecnologías son dos, la **eliminación de los puentes térmicos** (unos de los puntos mas complejos de la construcción tradicional) y la **estanqueidad al aire** que queda garantizada por los tableros y por su tratamiento de las juntas.



Al referirnos a la envolvente térmica nos estamos refiriendo al grado en que participan en la consecución del “confort” y a pesar del control de pérdida o no de calor, el TCL tiene ciertas propiedades que mejoran el ambiente interior.

Los TCL son **amortiguadores ambientales**, son correctores de los cambios bruscos de humedad, asegurando un mejor ambiente interior. Los TCL, dada a su propiedad de higroscopicidad, tiene la capacidad de absorber o desprender humedad según su estado de equilibrio con el ambiente que lo rodea. Esta capacidad provoca, que dentro del rango de variación de volumen admisible, se comporte como regulador del estado de la humedad del ambiente absorbiendo, cuando hay un exceso de partículas de agua en suspensión en el ambiente y desprendiendo cuando el ambiente es muy seco.

Todo esto es posible por su gran estabilidad dimensional que le otorga su composición y que permite hablar de la higroscopicidad como un valor y no como un problema.

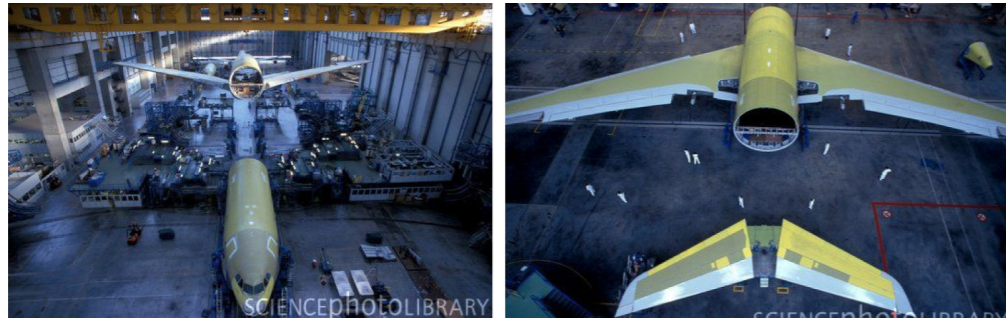
En KLH hablan de la “Función Compensadora” y Amatex dice:

“Capacidad de almacenamiento de humedad: Entre otras muchas propiedades positivas para la calidad del ambiente interior, posee también la de equilibrar la humedad ambiental, absorbiéndola o liberándola, aproximando su valor a niveles idóneos para el bienestar humano.”



Acabados interiores en TCL.

5. **COSTES DEL SISTEMA.**



Cadena de montaje de un avión.

COSTE DEL SISTEMA. (TIEMPO/EUROS).

Para cualquier sistema constructivo que se presente como alternativa a los sistemas tradicionales, a pesar de tener que ser competitivo, en lo que a exigencias básicas se refiere, a la vez debe de serlo a nivel de costes.

El sistema prefabricado a partir de Tablero Contralaminado, lleva implícito todos los valores de la prefabricación, y la prefabricación implica cierto grado de industrialización.

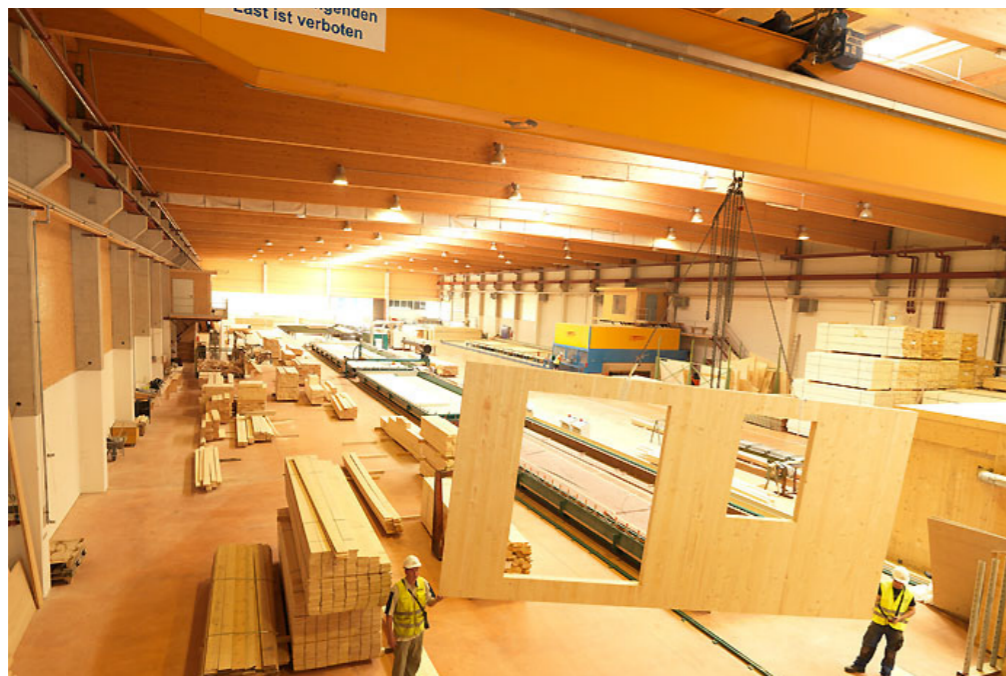
La prefabricación es una forma de manifestarse la industrialización (V. Halasz)

El hecho de tener un producto industrializado nos provoca que el sistema de TCL pueda:

- Incrementar la productividad.
- Reducir el tiempo de montaje del edificio.
- Incrementar la calidad del producto final.
- Incrementar la potencialidad del reuso del edificio.
- Mejoras en el impacto ambiental.
- Mejora de la seguridad de construcción.
- Evita las desviaciones de costes y plazos.

Estas características, temas ambientales, seguridad en la obra, productividad, calidad final y concepto de potencialidad de reuso con un fácil desmontaje, son cualidades que hoy en día son difíciles de valorar y no se cuantifican en nuestro entorno, pero está claro que cada vez más serán cualidades que se valorarán a nivel de costes por medio de tasas o costes indirectos en las obras.

A día de hoy el **tiempo** de la duración de una obra es un valor que se aprecia más y tiene una repercusión en el coste de la obra, por lo cual, es normal ver cómo un sistema prefabricado siempre se valora desde el coste económico y el tiempo de ejecución de la obra.



Cadena de montaje de la industria Hasslancher.

Si analizamos en qué se compone el PEM (presupuesto de ejecución material), vemos que está compuesto de (datos extraídos de Jordi Bernat Falomir y Marc Seguí Pie) :

Costes directos -Gastos directos
 -Gastos auxiliares
 -Subcontratación

Costes indirectos: Partidas que afectan al conjunto de la obra.
 -Jefe de obra, personal técnico, etc
 -Acometidas de instalaciones para la obra
 -Maquinaria (Montacargas, grúas, dumpers, etc..)

En los gastos directos tendremos los materiales, que no interviene el factor **tiempo**, pero también tendremos la mano de obra para la ejecución, gastos de personal, combustible, amortización de maquinaria, donde el factor **tiempo** afecta sensiblemente al coste.

En los gastos auxiliares, que son los elementos necesarios para la realización de las partidas de obra, como andamios o maquinaria, sí que interviene el **tiempo**, porque normalmente es material alquilado por **tiempo**.

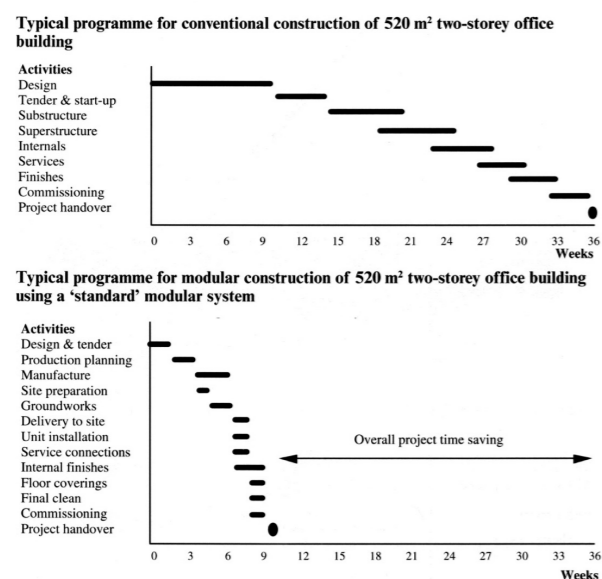
La subcontratación normalmente van con precio cerrado por el trabajo, por lo que el **tiempo** no afecta.

Los costes indirectos van muy relacionados con el **tiempo** de la duración de la obra.

Menos las subcontrataciones y parte de los gastos directos, el resto de costes van relacionados de forma significativa del **tiempo** de ejecución de la obra, son gastos tanto en alquiler de maquinaria como de contratación de personal que vienen fijados por el **tiempo de “uso”**.

La Prefabricación de parte de un proyecto es, finalmente, pasar a **Subcontratar** partidas que normalmente se realizaban “in situ”.

Por esto los sistemas prefabricados ofrecen un ahorro en el **Tiempo de Construcción** como gran baza para competir con los sistemas tradicionales. Hay que entender que el **Tiempo de Construcción** es el tiempo que la obra está abierta a pesar que previamente, en las industrias, lleve tiempo construyéndose el proyecto.



Planing de construcción de edificios de oficinas mediante sistemas diferentes: convencional y modular.

CUANTO VALE EL “T”?

El tiempo tiene un valor totalmente distinto según donde se está construyendo y como regla general se podría decir que vale más como más desarrollado sea el país. Dentro de la misma comunidad Europea (teórico primer mundo) las diferencias de salarios medios son muy grandes.

Actividad Económica	Euros/año en España	Euros/año en otro país de la UE
Intermediación financiera	36.948	59.195 Luxemburgo
Prod/Ditrib. electricidad, gas y agua	34.125	59.105 Luxemburgo
Transporte, almacenamiento y Comunicaciones	23.206	38.586 Luxemburgo
Industrias extractivas	22.843	56.507 Países Bajos
Act. sanitarias y veterinarias, servicios Sociales	21.015	50.042 Reino Unido
Industrias manufactureras	20.410	36.943 Reino Unido
Educación	18.751	Sin datos
Servicios personales*	18.135	Sin datos
Comercio**	17.244	31.137 Suecia
Act. inmobiliarias, servicios empresariales	16.702	40.558 Reino Unido
Construcción	15.304	36.546 Reino Unido
Hostelería	12.873	24.703 Finlandia
Salario medio general	20.438	34.412 UE- 15




La fuente de los datos de la tabla es la Oficina Estadística de las Comunidades Europeas para su informe Eurostat




Vemos como en el mundo de la construcción los salarios de España rondarían los 15.000 euros y en el Reino Unido los 36.000 euros, por lo que podríamos pensar que el valor del tiempo en UK es el doble que en España y es donde seguramente el ahorro de “T” en la obra es valorado.

FPIInnovations hace una presentación para el mercado de Norte América donde hace una comparación entre obras de sistemas constructivos tradicionales con obras realizadas, semejantes, en TCL, comparándolas desde el punto de vista de tiempo de ejecución, tanto obras para tipologías industriales como residenciales.

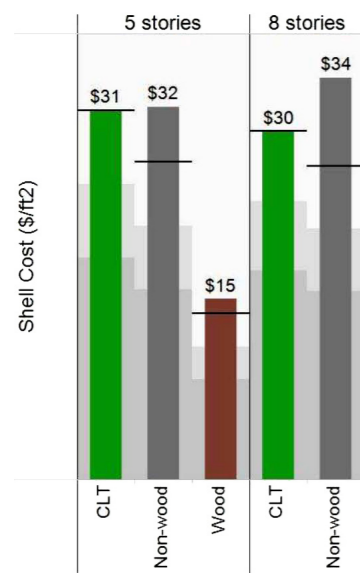
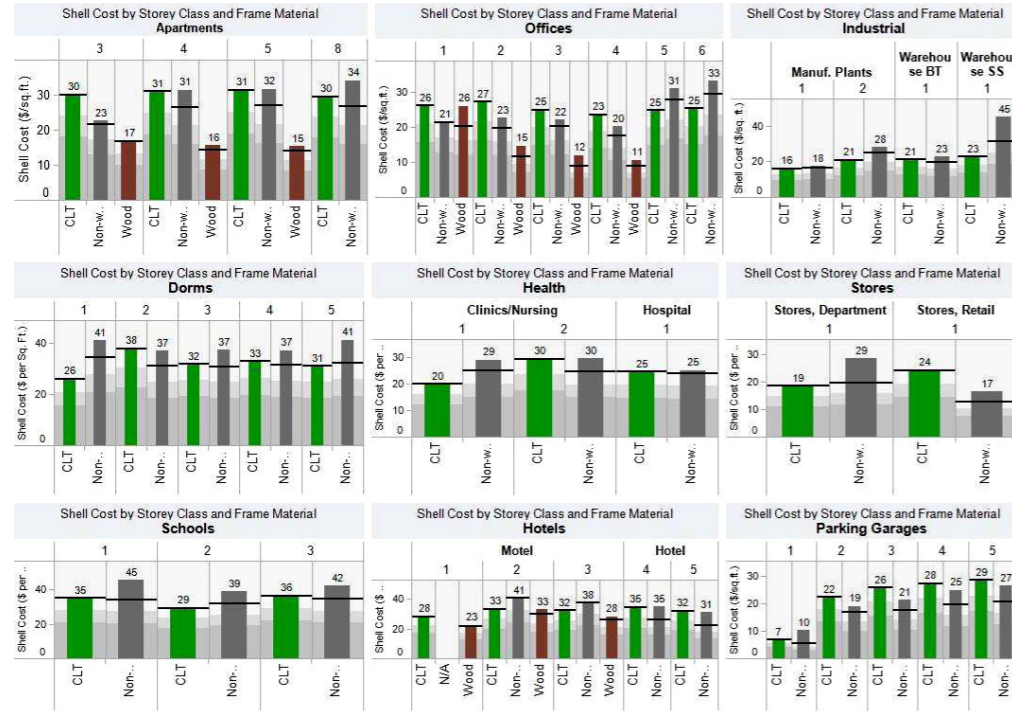
La conclusión es que hay un **Ahorro de Tiempo de Construcción** en obra de un 30% (esto según donde se encuentre la obra, está bien valorado). El proyecto de Murray Grove fue construido en 49 semanas (unos 10 meses datos de Waugh Thistleton Architects) lo que provocó un ahorro de un 30% del tiempo de ejecución.

Building Type: Industrial			
Material	CMU-Steel	Wood-Concrete Siding	CLT
Location	OH, US	CO, US	Norway
Floor Area (ft ²)	17,000	16,000	16,000
Stories	1	1	1
Construction Period	Jan 09 – Sep 09: 9 months	Mar 01 – May 01: 14 months	2010, 5 days, 2 persons
			

Building Type: Residential, Mid-Rise			
Material	Brick	Concrete	CLT
Location	IL, US	CA, US	Vaxjo, Sweden
Floor Area (ft ²)	111,000	127,000	115,000
Stories	6	10	7
Construction Period	Jul 01 – Aug 02: 13 months	Sep 91 – May 93: 20 months	Shell: 3 days per CLT floor 30% savings, 22 weeks, 2008
			

Building Type: Residential, Mid-Rise			
Material	Brick	Brick, CMU	CLT
Location	NY, US	PA, US	London, UK
Floor Area (ft ²)	23,800	41,000	25,300
Stories	5	5	1 concrete + 8 CLT
Construction Period	Feb 94 - Mar 95: 13 months	Nov 92 – Feb 94: 15 months	Shell: 3 days per CLT floor 30% savings, 22 weeks
			

Comparativa de FPIInnovations.



Comparativa de FPIInnovations.

También hace una comparación del coste de metro cuadrado según tipologías, plantas construidas y sistema de construcción.

En el caso residencial el coste de construcción a partir de Contralaminado es de 31,3 \$/Ft2 que serían unos 347,77 \$/m2 a cambio de hoy unos 271,07 €/m2.

La conclusión que se extrae de todas las comparativas es que como más se sube en altura más competitivo es el TCL y que a partir de cierta altura es más barato que las tecnologías convencionales.

Como muestran las gráficas, FPIInnovations nos dice que la tecnología de TCL, tanto para 5 plantas como para 8 plantas, su precio ronda los 31 \$/Ft2 y que con sistemas convencionales el precio pasa de unos 32 \$/Ft2 para 5 plantas a 34 \$/Ft2 para 8 plantas, siendo más caro que le mismo TCL.

Las claves para entender porqué sucede esta competitividad a partir de cierta altura sería, en el caso del hormigón, el aumento de peso que significaría un mayor coste de construcción por la misma sobrecarga del material.

Hay que entender que todos los estudios realizados por FPIInnovations se hicieron para el mercado Norte Americano por lo que no se podría extrapolar a Europa pero sí que da una idea por donde puede ir la competitividad de los TCL.

Vemos como la construcción tradicional en madera, en el estudio de FPIInnovations a partir de 5 plantas ya no se valora, porque ya no puede ser competitivo posiblemente por no poder asumir exigencias básicas, pero sí que a baja altura es más competitivo que los TCL, por lo que la tecnología de los Contralaminados se debería centrar en la media altura que es donde tiene mucho que ofrecer frente a otras tecnologías y es donde sí que es una alternativa.



Casa Rosseaud, Vallromanes. Sara Bonet y Mercè Majoral.



Casa 205, Vacarisses. H arquitectes.

A partir de datos obtenidos gracias a dos despachos de arquitectura catalanes, se ha hecho una comparación de costes de sistemas en nuestro entorno.

Se ha comparado una vivienda unifamiliar en Vallromanes realizada por Sara Bonet y Mercè Majoral realizada de forma convencional, con una vivienda unifamiliar en Vacarisses realizada por H arquitectes realizada a partir de TCL.

Se han comparado las partidas de obras de estructura y divisiones, sin acabados, sin cimentación, solo contando lo que a partir de TCL se realiza en un caso y extrapolándolo al otro sistema.

El caso de sistema convencional de hormigón y divisiones en cerámica, se trata de una vivienda de 314m² de dos plantas, realizada en 2007.

El caso de TCL es una vivienda de 157m² de dos plantas, realizada entre 2006 y 2007.

Sistema Tradicional:	Partida de estructura	69.903,37€
	Partida de divisiones	28.647,20€
		98.550,57€

Sup. de 314m ²	313,85€/m ²
---------------------------	------------------------

Sistema TCL:	Partida de estructura	71.643,37€
--------------	-----------------------	------------

Sup. de 157m ²	456,32€/m ² (30% mas caro)
---------------------------	---------------------------------------

Si lo comparamos al precio que FPInnovations daba para el mercado Norte Americano para un edificio de 8 alturas casi dobla el precio del m² (347,77 \$/m² o 271,07 €/m²).

No es comparable la repercusión del precio de estructura en una casa unifamiliar al de un bloque plurifamiliar de 8 alturas.



Proyecto de Trass arquitectura. Ramón Llobera. Lleida.

Si lo comparamos con el proyecto en Lleida de Trassarquitectura (aún en obra), un bloque de vivienda de planta baja y 4 plantas piso más un bajo cubierta.

En tres presupuestos que se pidieron para la valoración, las partidas de estructura TCL rondan los 200.000 euros (+/- 50.000) con un total de 705 m², a pesar de sótanos y cimentaciones en hormigón.

Nos da una repercusión de 280€/m² (aprox.) lo que es muy similar a los valores dados para el mercado Norte Americano.

Otra referencia a nivel de precios podría ser la base de precios de KLH que da para partidas presupuestarias a constructoras (2010) donde falta repercutir diferentes conceptos según la obra.

Viendo los precios que KLH da lo que sí podemos decir que los precios de FPInnovations están bien ajustados y que pensar en unos 300€/m² de repercusión de estructura de contralaminado sería una cifra bastante correcta para edificios de media altura.

DENOMINACION	PRECIO €/m2 F.F. SOBRE CAMION EN AUSTRIA			REPERCUSION TRANSPORTE	PRECIO €/m2 SOBRE CAMION EN OBRA		
	Para revestir	Calidad vista industrial	Calidad vista doméstica		Para revestir	Calidad vista industrial	Calidad vista doméstica
T 3- 57	43,58	51,58	59,58	3,42	47,00	55,00	63,00
T 3- 72	50,93	58,93	66,93	4,32	55,25	63,25	71,25
T 3- 94	54,60	62,60	70,60	5,64	60,24	68,24	76,24
T 5- 95	67,20	75,20	83,20	5,70	72,90	80,90	88,90
T 5- 128	74,55	82,55	90,55	7,68	82,23	90,23	98,23
T 5- 158	80,33	88,33	96,33	9,48	89,81	97,81	105,81
L 3- 60	43,58	51,58	59,58	3,60	47,18	55,18	63,18
L 3- 78	50,93	58,93	66,93	4,68	55,61	63,61	71,61
L 3- 90	54,60	62,60	70,60	5,40	60,00	68,00	76,00
L 3- 95	54,60	62,60	70,60	5,70	60,30	68,30	76,30
L 3- 108	63,53	71,53	79,53	6,48	70,01	78,01	86,01
L 3- 120	65,63	73,63	81,63	7,20	72,83	80,83	88,83
L 5- 117	69,30	77,30	85,30	7,02	76,32	84,32	92,32
L 5- 125	72,98	80,98	88,98	7,50	80,48	88,48	96,48
L 5- 140	74,55	82,55	90,55	8,40	82,95	90,95	98,95
L 5- 146	77,70	85,70	93,70	8,76	86,46	94,46	102,46
L 5- 162	82,95	90,95	98,95	9,72	92,67	100,67	108,67
L 5- 182	97,65	105,65	113,65	10,92	108,57	116,57	124,57
L 5- 200	102,38	110,38	118,38	12,00	114,38	122,38	130,38
L 7- 202	103,95	111,95	119,95	12,12	116,07	124,07	132,07
L 7*- 208	112,35	120,35	128,35	12,48	124,83	132,83	140,83
L 7- 226	107,10	115,10	123,10	13,56	120,66	128,66	136,66
L 7*- 230	114,45	122,45	130,45	13,80	128,25	136,25	144,25
L 7*- 248	127,05	135,05	143,05	14,88	141,93	149,93	157,93

COSTE DEL TRANSPORTE POR M3 MATERIAL 60 €/m3

KLH, bases para partidas presupuestarias a constructoras 2010.

M2 de suministro y montaje de paramento de madera contralaminada KLH, medido a cinta corrida, i.p.p.de juntas, herrajes y medios auxiliares excepto los de elevación y descarga.

TIPO DE PANEL	CALIDAD BASICA	CALIDAD VISTA INDUSTRIAL	CALIDAD VISTA DOMESTICA
T3-57	€ 67	€ 75	€ 84
T3-72	€ 76	€ 84	€ 92
T3-94	€ 81	€ 89	€ 97
T5-95	€ 94	€ 102	€ 111
T5-128	€ 104	€ 112	€ 120
T5-158	€ 112	€ 120	€ 128
L3-60	€ 67	€ 75	€ 84
L3-78	€ 76	€ 84	€ 93
L3-90	€ 80	€ 89	€ 97
L3-95	€ 81	€ 89	€ 97
L3-108	€ 91	€ 99	€ 108
L3-120	€ 94	€ 102	€ 110
L5-117	€ 97	€ 106	€ 114
L5-125	€ 102	€ 110	€ 118
L5-140	€ 104	€ 113	€ 121
L5-146	€ 108	€ 116	€ 125
L5-162	€ 115	€ 123	€ 131
L5-182	€ 131	€ 139	€ 148
L5-200	€ 137	€ 145	€ 154
L7-202	€ 139	€ 147	€ 156
L7*-208	€ 148	€ 156	€ 165
L7-226	€ 144	€ 152	€ 160
L7*-230	€ 152	€ 160	€ 168
L7*-248	€ 166	€ 174	€ 182

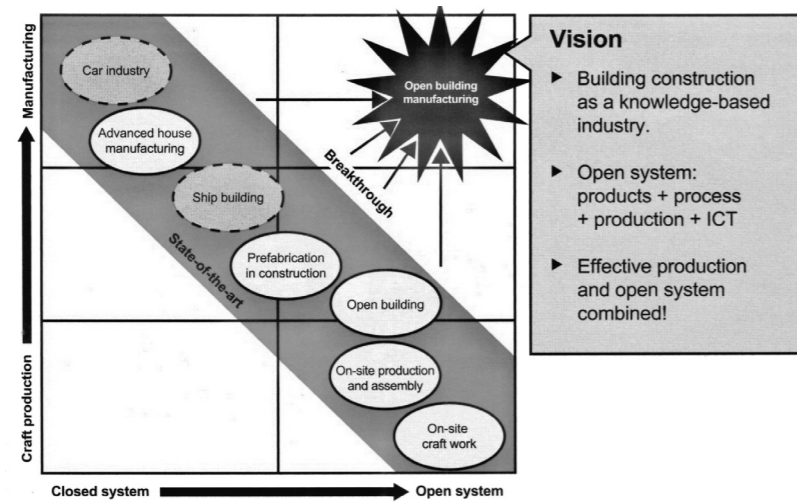
L7* indica que las dos capas superiores e inferiores son longitudinales

6. CONCLUSIONES.

CONCLUSIÓN, VENTAJAS DEL SISTEMA.

El sistema constructivo a partir de Tablero Contralaminado tiene las ventajas implícitas de las de construir con un sistema prefabricado más las ventajas que conlleva trabajar con madera, que serían las siguientes:

1. Sistema constructivo prefabricado.
 - 1.1 Control de costes.
 - 1.2 Rapidez, reducción del tiempo de obra.
 - 1.3 Construcción en seco.
 - 1.4 Control de residuos.
 - 1.5 Facilidad del montaje (sistemático).
 - 1.6 Seguridad en la obra.
 - 1.7 Desmontable.
2. Sistema constructivo abierto y compatible con otros sistemas.
3. Sistema con gran libertad de diseño.
4. Materia prima renovable.
5. Amortiguador climático.
 - 6.1 Barrera al aire y cierta al vapor.
 - 6.2 Trasmisancias bajas.
 - 6.3 Eliminación de los puentes térmicos
7. Valorización de la madera.
8. Permite cerrar el ciclo de vida de la estructura del edificio.



Comparativa de los sistemas.



Sistema en madera, materia prima renovable.

ÁMBITO TÉCNICO.

Desde el **ámbito técnico**, creo que durante todo el trabajo se han ido tratando los requerimientos básicos y en rasgos generales se puede decir que es competitivo y en grados mayor o menor según el tema que estemos tratando.

Está claro que, ante el **FUEGO** tenemos una realidad diferente a la que estamos acostumbrados y se debe abordar y dar soluciones como se han ido dando en estructuras metálicas que a día de hoy nadie duda de su utilidad como estructura.

A nivel **ACÚSTICO**, en comparación a la masividad del hormigón, poco se puede competir pero sí y mucho en términos de control de propagación de las vibraciones. Es decir peca en aéreo pero es mucho mejor para impacto.

A nivel **TÉRMICO**, se podría decir que le falta inercia pero esa falta de inercia lo suple o contrarresta de forma espectacular con su baja transmitancia lo que genera una construcción sin pérdida debido a la no existencia de puentes térmicos y al control de las juntas, por lo que podemos decir que es enormemente más competitivo.

A nivel **ESTRUCTURAL**, funciona y funciona igual que el hormigón o el acero. Podríamos decir que con espesores muy finos funciona pero a la vez no hay que pasarse porque puede funcionar a nivel de cálculo pero después puedes tener problemas al generar forjados muy flexibles. (L/C=20-30).

En lo que sí que el sistema de TCL es absolutamente competitivo es en lo que implica a la ejecución en obra de las **UNIONES**. No es comparable con ningún otro sistema, la sencillez es tal que a la vez hace dudar que funcione.

A nivel de **SISMO**, tampoco tiene competencia como estructura sismorresistente tanto como eficacia como en el coste.

FUEGO	↓
ACÚSTICO	↓ ↑
TÉRMICO	↑
ESTRUCTURAL	=
UNIONES	↑ ↑
SISMO	↑ ↑

Personalmente creo que a nivel técnico el SETCL es más competitivo que el hormigón y el acero y **SI** que es una **alternativa**, y no hay ninguna razón técnica que recomiende escoger sistemas tradicionales antes que el TCL.



Obra en Lleida. Trassarquitectura. Ramón Llobera.

ÁMBITO ECONÓMICO.

Desde el ámbito de **costes** como ya hemos visto, el cálculo de los costes no es tan directo como simplemente mirar o comparar los costes materiales de las obras, sino que implica muchos más parámetros, según hasta donde se valore (obra, vida útil).

Un ejemplo es el caso del proyecto de Ramon Llobera (Trassarquitectura) de Lleida, nos encontramos con un promotor privado que construye para alquilar viviendas y no para venderlas. Lo que provoca que su sensibilidad ante los costes durante la vida del edificio y sus consumos los repercute al coste de la obra y le merezca la pena construir en TCL.

A día de hoy, parece ser que a nivel de costes es una alternativa en países con sistemas más complejos de control y organización, “modelo anglosajón”, donde mayor es el coste de mano de obra y un sistema prefabricado tiene gran potencial. Hay que recordar como en los estudios presentados, el sistema a partir de cierta altura, es igual o mas barato que los sistemas convencionales (estudios EUA o Canada).

Finalmente, decir que las últimas obras residenciales en TCL tanto en Australia como en Inglaterra son de promoción privada por lo que es el mejor indicador de que sí que es competitivo.

Es decir, si nos referimos a la media altura residencial, a partir de 8 plantas, se puede decir que sus costes son iguales o más barato que otros sistemas.



Molino de viento, gran competencia a nivel de costes.



ÁMBITO SOCIAL.

Respecto al ámbito **social**, me refiero al reconocimiento del sistema desde los diferentes estamentos, desde el individuo que tiene sus miedos culturales por no ser un sistema rígido y pesado como lo que se ha hecho “toda la vida”, (mismo problema que existe con los tabiques de cartón yeso) hasta las entidades de control y aseguradoras que a día de hoy dificultan de manera extraordinaria la elaboración de obras con sistemas no convencionales.

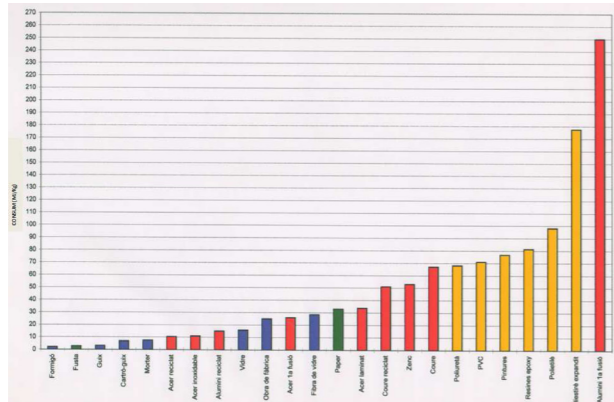
Los miedos individuales es una lucha que poco a poco a partir de ejemplos existentes la gente se dará cuenta que vale la pena, si su competitividad está asegurada por un lado u otro.

Lo que no se puede admitir es que existan miedos “culturales” desde los agentes certificadores que simplemente deberían aceptar o no dependiendo si tiene las certificaciones necesarias del producto y esa debería ser la labor principal de las asociaciones que están alrededor del uso de la madera como Aitim, Incafust o el mismo Proholz España, asegurar que los proyectos que usen madera no tengan trabas administrativas simplemente por no ser convencionales.

Justamente es este ámbito el que dificulta que el TCL se implante en nuestro entorno y que solo con la “educación” se podrá salvar todos nuestros complejos y así poder avanzar hacia un sistema constructivo que en muchos puntos mejora de forma sobrada a los sistemas convencionales.



Maneras distintas de construcción.



Consumo de energía primaria para la fabricación de los materiales de construcción.

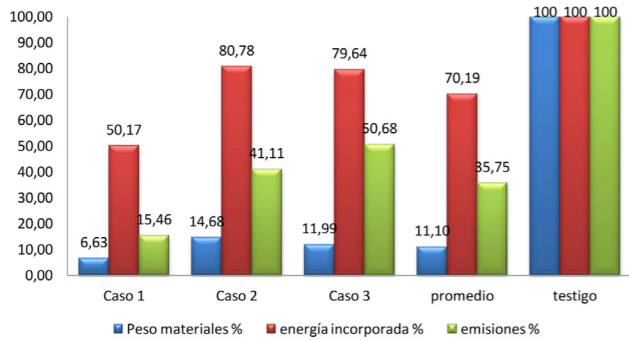
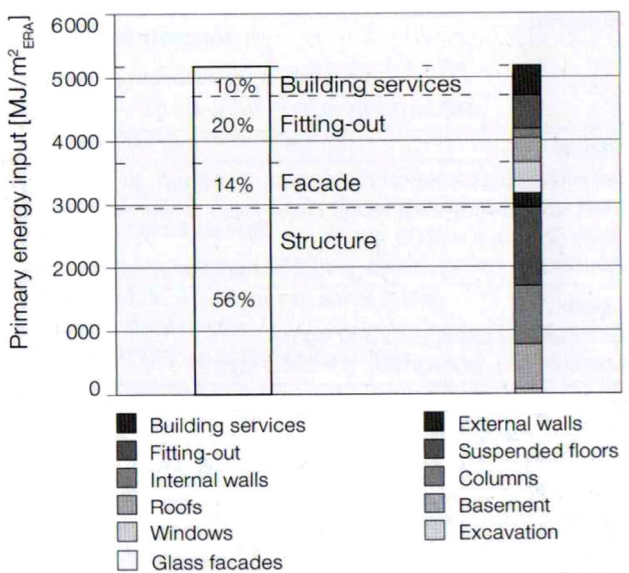


Ilustración 35: Proporción de indicadores de casos estudiados vs. caso testigo. Comparativa de tesis de Humberto Arreaza, Caso 3 = TCL, Testigo = Hormigón



Consumo de energía primaria por m2 de construcción.

Durante todo el trabajo no he querido entrar a valorar el TCL en términos de sostenibilidad, ni de eficiencia del sistema porque a pesar de la imagen inicial que tendríamos sobre la construcción en madera creo sinceramente que construir en madera no es la manera más sostenible que tenemos para construir todo lo que se ha construido.

El trabajo siempre a intentado dar una visión de un sistema constructivo, SETCL, viendo si era una **alternativa a los sistemas convencionales en media altura** en la situación existente de oferta y demanda y en términos de sostenibilidad creo que no, creo que todo lo que se ha construido no hubiera sido “sostenible” si hubiera sido en madera. En el capítulo de introducción del sistema se habla en este sentido, diciendo que es un **recurso inagotable, un recurso renovable pero dentro de un “escenario de consumo controlado”**.

El SETCL sería una alternativa indiscutible y la única en el sentido de construcción sostenible si hubiera un consumo controlado respecto la producción de madera pero eso no es así, ni lo será, el consumo viene fijado por otros parámetros que no se controlan desde la arquitectura ni desde las productora de materiales de construcción.

Por lo cual a día de hoy se podría decir que se ha construido de la manera más sostenible que se ha podido. Ahora lo que se debería hacer es un estudio de cuanta producción de madera destinada a TCL hay o podría llegarse a hace para ver realmente si es una **alternativa en términos de producción** y si el mercado maderero puede absorber la demanda o hasta que demanda puede aguantar.

En este sentido y refiriéndonos al estudio de Humberto Arreaza, si analizamos caso a caso, no hay ninguna discusión de la diferencia de impacto que tiene el hecho de construir con SETCL o con hormigón a pesar que los datos de energía incorporada podrían ser al revés de cómo nos lo presenta (TCL: 5.000Mj/m3 – Hormigón armado: 2.500Mj/m3), pero si que su peso es mucho menor y las emisiones de CO2 rondan solo un 30% de lo que sería en hormigón.

Construir con Sistema Estructural de Tablero Contralaminado es, en la actualidad, una alternativa indudable a la construcción convencional de media altura en el ámbito de sostenibilidad o de impacto porque a la vez de tener en cuenta los impactos durante la construcción también debemos pensar en los consumos durante la vida útil y es innegable que es un tipo de construcción que pone las bases para que los consumos posteriores sean muy bajos.

Es decir, **Construir con Sistema Estructural de Tablero Contralaminado es una alternativa** a la construcción convencional en todos los ámbitos quedando ciertas reservas a los tabús sociales de cada lugar. No hay razones por lo que no se aconseje el uso de **SETCL** en vez de los sistemas convencional por lo que seguramente será un sistema que en un futuro cercano cada vez veremos más en nuestro entorno.



Stora Enso.

7. REFERENCIAS.

LIBROS

- **AA.VV.**; *"Madera I"*; Tectonica 11; Madrid, 1998.
- **AA.VV.**; *"Madera II"*; Tectonica 13; Madrid, 2001.
- **AA.VV.**; *"Acústica I"*; Tectonica 14; Madrid, 2002.
- **AA.VV.**; *"Handbook. Cross-Laminated Timber"*. FPInnovations. 2011.
- **AA.VV.**; *"Handbook 1 - timber structures"*, TEMTIS; 2008
- **AENOR**; *"UNE. 56544. clasificación visual de la madera aserrada"*; 2003.
- **Aitim**; *"Guía para la construcción de la madera"*; 1994.
- **CEN**; *"Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera"*; 1995.
- **CEN**; *"Eurocódigo 8. Disposiciones para el proyecto de estructuras sismorresistente. Parte 1,2 y 3"*; 1998.
- **Confemadera**; *"Guía de construir con madera"*.
- **Federico de Arias**; *"Carpintería antigua y moderna. Tratado de Carpintería"*; 1893.
- **Higini Arau**; *"ABC de la acústica"*. 1999.
- **Josef Kolb**; *"Bois, système constructifs"*. 2011.
- **Ministerio de vivienda**; *"Código Técnico de la edificación.C.T.E."*. 2006.
- **Teresa Guevara Pérez**; *"Arquitectura moderna en zonas sísmicas"*; 2009.

ARTÍCULOS / ESTUDIOS

- **AA.VV.**; Resumen anual de "Papers" de TU Graz; 2006.
- **Dr. Ing. Roberto Aguilar Falconi**; *"Factor de reducción de fuerzas sísmicas en edificios de hormigón armado"*. 2007.
- **FAO**; *"Evaluación de los recursos forestales Mundiales 2005"*; 2006.
- **Humberto Arreaza Rubín**; *"Estudio del impacto ambiental de la madera como material de construcción de viviendas plurifamiliares de varias plantas"*; 2012.
- **Javier Domingo de Miguel**; *"Evaluación del comportamiento térmico e higrotérmico de cerramientos de madera"*; 2012.
- **Jean-François Ploteau**; *"Impact économique des éco-matériaux. Le bois structure - panneaux de bois massif"*; 2012.
- **Miguel Ángel Carcacia Vilches**; *"Estudio comparativo de sistemas constructivos en madera para edificios de más de 3 plantas"*. 2011.
- **Natalino Gattesco, Rita Franceschinis**; *"Numerical simulation of the seismic response of timber frame multi-storey building"*; World Conference on Timber Engineering. New Zealand. Julio 2012.

- Presentaciones del Cross Laminated Timber Symposium. Vancouver, Canadá. Febrero 2011:

- **AA.VV.**; *"Fire Performance of CLT Assemblies"*; FPInnovation.
- **AA.VV.**; *"CLT- Assessing the Market Opportunity in North America"*; FPInnovation.
- **AA.VV.**; *"Design for Durability: Cross-Laminated Timber (CLT) Construction"*; FPInnovation.
- **AA.VV.**; *"Environmental Performance of Cross-Laminated Timber"*; FPInnovation.
- **Ario Ceccotti**; *"Cross Laminated Timber, Introduction to Seismic Performance European"*; FPInnovation.
- **Brad Wang, Ciprian Pirvu, Conroy Lum**; *"Manufacturing of Cross Laminated Timber (CLT)"*; FPInnovation.
- **Ciprian Pirvu, Ph.D., Erol Karacabeyli P.Eng., Dr.techn. Gerhard Schickhofer**; *"Preliminary Duration of Load and Creep Factors for Cross Laminated Timber"*; FPInnovation.
- **Erol Karacabeyli, Richard Desjardins**; *"Cross Laminated Timber (CLT) in the Context of Wood Building Systems"*. FPInnovation.
- **Frank Lam**; *"CLT - Research and Testing at UBC"*; Department of Wood Science , Faculty of Forestry University of BC.
- **Gerhard Schickhofer, Alexandra Thiel**; *"CLT – Research and Testing at TU Graz"*; Institute for Timber Engineering and Wood Technology, Graz University of Technology.
- **Gerhard Schickhofer**; *"CLT – European Experiences"*; Institute for Timber Engineering and Wood Technology, Graz University of Technology.
- **Lin J. Hu**; *"CLT Floor Vibration Control"*; FPInnovation.
- **Marjan Popovski, Erol Karacabeyli**; *"Cross Laminated Timber, Introduction to Seismic Performance Canadian"*; FPInnovation.
- **M. Mohammad**; *"Connections in CLT Assemblies"*; FPInnovation.
- **Robert Malczyk**; *"Cross-Laminated Timber in British Columbia"*; Wood Works.
- **Sylvain Gagnon, Eng**; *"CLT – Acoustic Performance"*; FPInnovation.
- **Sylvain Gagnon, Eng**; *"CLT – Structural Design"*; FPInnovation.
- **Tristan Wallwork**; *"Norwich Academy and Other European Projects"*. Ramboll.
- **Ramón Argüelles Álvarez**; *"Uniones: Un reto para construir con madera"*. 2010.
- **Shiling Pei, J. Daniel Dolan, Hongyan Liu, John van de Lindt, and James M. Ricles**; *"Active Damping for Cross-Laminated Timber Structures to Improve Seismic Performance"*. World Conference on Timber Engineering. New Zealand. Julio 2012.
- **Shiling Pei, Marjan Popovski, John W. van de Lindt**; *"Seismic design of a multi-story cross laminated timber building based on component level testing"*; World Conference on Timber Engineering. New Zealand. Julio 2012.

WEB

- www.confemadera.es/. Confederación Española de Empresas de la Madera.
- www.cstinnovations.ca/. Canadian Sustainable Timber Innovations.
- www.crosslamtimber.com.au/. Sustainable Building Resources
- www.cltdesigner.at/. holz.bau forschungs gmbh
- www.dataholz.com/. Catálogo de materiales de construcción de madera.
- www.eota.eu/. European Organisation for Technical Assessment
- www.infomadera.net/. Aitim. Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera.
- www.lignum.at/. Lignum. Timber Engineering and Wood Technology
- www.panelcontralaminado.com/.
- www.proholz.at/. Asociación Austriaca para la Promoción de la Madera
- www.tugraz.at/. Graz University of Technology.
- www.woodsolutions.com.au/. Australia's natural resource for timber design.
- woodworks.org/. Wood Products Council, North American.

Industria:

- www.ageka.fr/. Ageka
- www.amatex.es/. Amatex
- www.binderholz.com/. Binderholz bausysteme gmbh
- www.binderholz-bausysteme.com/. Manual for Solid Wood Construction de Binderholz
- www.derix.de/. Derix Group
- www.egoin.com/. Egoin s.a.
- www.eugen-decker.de/. Eugen Decker Holzindustrie KG
- timbory.com/. Haas Holzprodukte GmbH.
- www.hasslacher.at/. Hasslacher Norica Timber
- www.hms-systeme.eu/en/. HMS Bausysteme GmbH
- www.klh.at/. KLH Massivholz GmbH
- www.lignotrend.de/. Lignotrend produktions gmbh
- www.massifbois.fr/. Massif Bois
- www.merkleholz.de/. Merkle Holz GmbH
- www.metsawood.fi/. Metsä group
- www.mm-kaufmann.com/. Mayr-Melnhof Kaufmann
- www.moser-holzbau.com/. Moser holzbau
- www.pius-schuler.ch/. Pius Schuler AG
- www.purbond.com/. Purbond
- www.rothoblaas.com/. Rotho Blaas
- www.systeme-bois-massif.com/. Systeme Bois Massif. SBM
- www.schilliger.ch/. Schilliger Holz AG
- www.stephan-holz.de/. Paul Stephan GmbH.
- www.storaenso.com/. Stora Enso Group
- www.tilly.at/. Illy-Holzindustrie

