



## MADERA Y PREFABRICACION ESCOLAR

### LOS PANELES DE MADERA CONTRALAMINADA KLH COMO SOLUCION EN LA CONSTRUCCION DE MODULOS ESCOLARES PREFABRICADOS

SANDRA BESTRATEN CASTELLS. PROFESORA ETSAB – UPC [SANDRA.BESTRATEN@UPC.EDU](mailto:SANDRA.BESTRATEN@UPC.EDU)  
EMILIO HORMIAS LAPERAL. PROFESOR EPSEB – UPC [EMILIO.HORMIAS@UPC.EDU](mailto:EMILIO.HORMIAS@UPC.EDU)

Los aularios de primaria de la escuela Waldorf Steiner el Til·ler han recibido una mención de honor en los Premios Medio Ambiente que entrega la Generalitat de Catalunya en la categoría de arquitectura sostenible, 2009. A éste último se une el Premio a la Innovación para arquitectos menores de 40 años en la 5 Bienal de Arquitectura del Vallés 2009 que organiza el Colegio de Arquitectos de Catalunya y entregados en noviembre. Este reconocimiento pone de manifiesto una nueva concepción de la prefabricación en madera.

1. Proyecto de escuela Waldorf-Steiner «El Til·ler»:  
El proyecto Waldorf a día de hoy

lo forman más de 1.500 centros de educación infantil y 870 de educación primaria y secundaria, repartidos por 55 países en los cinco continentes. La escuela Waldorf-Steiner El Til·ler está ubicada en un edificio existente en la ciudad jardín de Bellaterra, Cerdanyola del Vallés, Barcelona, donde se albergan los espacios de los cursos de infantil y demás equipamientos del centro. El proceso de consolidación de la educación primaria hacía necesario construir 6 aularios bajo unos parámetros realmente restrictivos: rapidez de ejecución, transportabilidad, cumplimiento del CTE y limitación económica. La pedagogía Waldorf-Steiner tiene como objetivo educar de manera

íntegra, «cabeza, corazón y manos», mediante un currículum donde se equilibren las actividades conceptuales (matemáticas, geometría, etc.), las artísticas (euritmia, música, pintura, madera) y las prácticas (jardinería y horticultura ecológica). El análisis de los principios pedagógicos y las herramientas de aprendizaje de la escuela, como los juguetes de madera, las telas sedosas, colores suaves o el contacto directo con la naturaleza mediante el bosque y el huerto escolar nos condujo de forma directa a una solución basada en la madera. El proyecto arquitectónico lo conforman 6 aulas en 3 módulos independientes de idénticas dimensiones, que se articulan alrededor de una plaza





de 12 x 12 metros. Se trata de un espacio de encuentro y de acceso a las diferentes aulas abierto a levante, que hace agradable la habitual actividad de canto al inicio del día.

La fuerza arquitectónica del voladizo de KLH de 3 metros que conecta los aularios consolida la imagen unitaria del conjunto y a su vez da identidad propia a cada uno de los módulos. El horizonte que define de tan sólo 9cm de espesor libera la rigidez de la prefabricación y favorece el diálogo con el entorno.

## 2. El material: paneles de madera contralaminada KLH

En el proyecto de construcción de la Escuela Waldorf-Steiner El Til-ler el material escogido es el panel de madera contralaminada de la empresa austriaca KLH. Este material cuenta con el certificado PEFC de madera procedentes de bosques de tala

controlada. Dada la disposición de las capas en dos direcciones perpendiculares, el panel de madera contralaminada puede transferir cargas en todas las direcciones, en función de las condiciones de apoyo.

**Protección contra incendios.** El comportamiento de muros y forjados ante el fuego es sensiblemente mejor que la solución convencional de prefabricados de entramado de madera dónde la estructura está expuesta en todas sus caras, mientras que los paneles de KLH sólo exponen una.

**Comportamiento acústico.** El panel de madera contralaminada tiene una densidad mucho más elevada que cualquier otro sistema constructivo actual en madera, hecho este que mejora su aislamiento acústico y lo hace ideal para una escuela.

**Durabilidad.** En la producción de paneles de madera maciza de KLH sólo se usa madera seca con una humedad de madera del 12% (+/-

2%). Con esto y un adecuado detalle constructivo se descarta la presencia de hongos y la actividad de insectos y otros parásitos.

**Ciclo de vida.** En el proceso del encolado se utiliza un adhesivo libre de compuestos orgánicos volátiles o formaldehído, de forma que no se produce ningún tipo de emisión tóxica. Esta estrategia de durabilidad, permite que al final de su vida útil el material pueda reciclarse sin miedo a la presencia de productos dañinos en la madera, pudiendo incluso volver directamente a la naturaleza sin ningún tipo de impacto de biocidas.

## 3. Prefabricación y sostenibilidad

Podríamos sintetizar que la industrialización de los procesos constructivos representa una mejora respecto las cualidades sostenibles de un proyecto. La obra en seco permite minimizar el consumo de agua en el proceso de ejecución, reducir los residuos y





# arquitectura



## EL PROYECTO

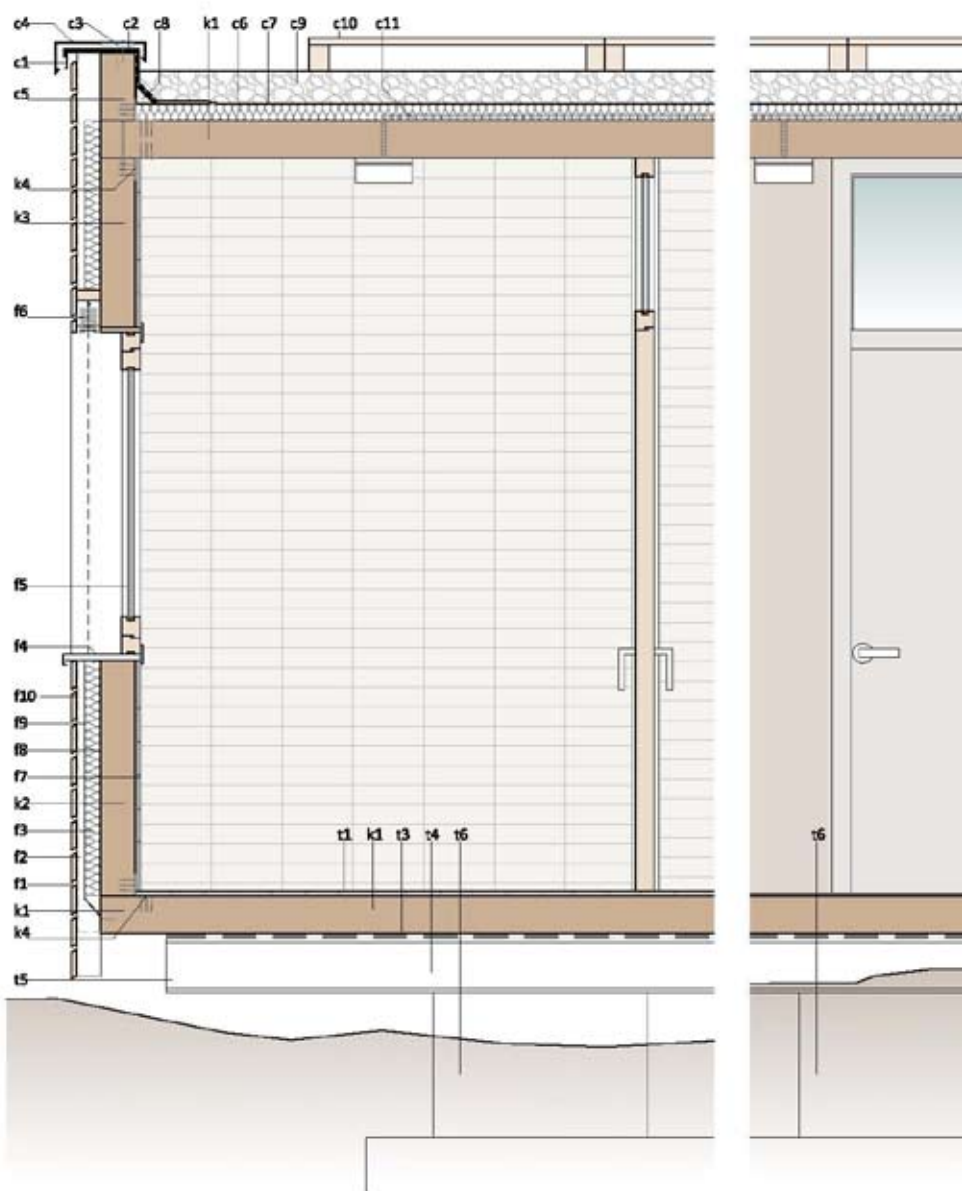
facilitar el posterior reciclaje. A la vez, los sistemas prefabricados de construcción permiten acortar la planificación propia de las obras con construcción tradicional, mejorando la precisión de ejecución e incluso la seguridad. Si al valor añadido de la prefabricación incorporamos un material con bajo impacto ambiental, reciclable y sin componentes contaminantes como la madera, estaremos reduciendo considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, en relación a las soluciones basadas en el hormigón o el acero.

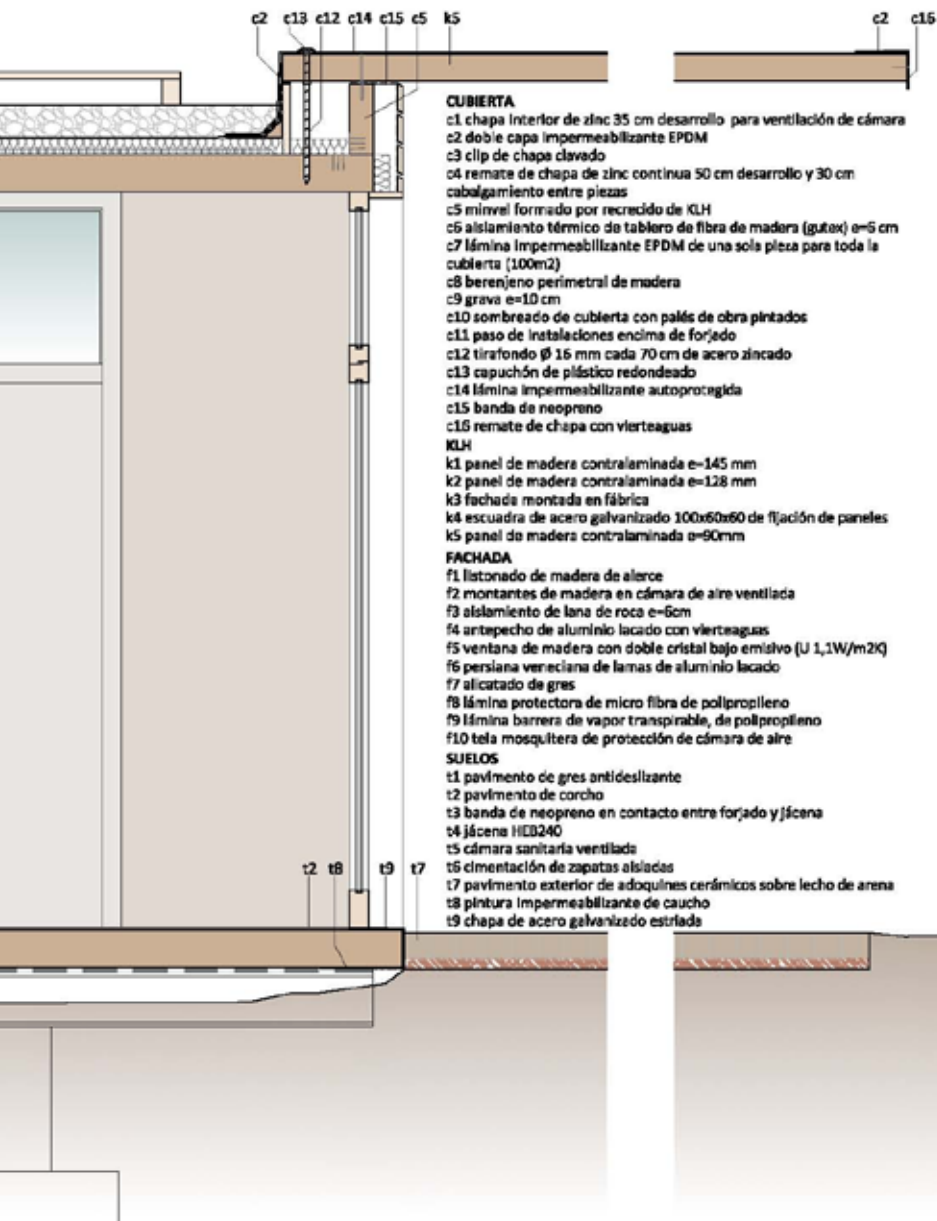
Con la unión de la prefabricación y la madera estaremos dando un paso adelante en la búsqueda de modelos de construcción sostenible.

### 4. Prefabricación y diseño

**Industrialización.** El KLH se manufactura en paneles de hasta 16,5 x 2,95 metros y son mecanizados en fábrica según las especificaciones del proyecto arquitectónico usando control numérico con medios informáticos, sin tener necesidad de amortizar el diseño de moldes.

**Modelo de Prefabricación.** Los elementos prefabricados no son volumétricos, sino componentes superficiales, todas las fachadas han sido completamente montadas en fábrica: incluyendo KLH estructural, aislamiento, impermeabilización, acabado de listones de alerce e incluso las carpinterías y protecciones solares. De este modo se optimiza el transporte en contraposición a las soluciones que prefabrican volúmenes.





- CUBIERTA**
- c1 chapa interior de zinc 35 cm desarrollo para ventilación de cámara
  - c2 doble capa impermeabilizante EPDM
  - c3 clip de chapa clavado
  - c4 remate de chapa de zinc continua 50 cm desarrollo y 30 cm cabalgamiento entre piezas
  - c5 minivál formado por recrecido de KLH
  - c6 aislamiento térmico de tablero de fibra de madera (gutax) e=5 cm
  - c7 lámina impermeabilizante EPDM de una sola pieza para toda la cubierta (100m<sup>2</sup>)
  - c8 berenjeno perimetral de madera
  - c9 grava e=10 cm
  - c10 sombreado de cubierta con palés de obra pintados
  - c11 paso de instalaciones encima de forjado
  - c12 tirafondo Ø 16 mm cada 70 cm de acero zincado
  - c13 capuchón de plástico redondeado
  - c14 lámina impermeabilizante autoprotégida
  - c15 banda de neopreno
  - c16 remate de chapa con vierteaguas
- KLH**
- k1 panel de madera contralaminada e=145 mm
  - k2 panel de madera contralaminada e=128 mm
  - k3 fachada montada en fábrica
  - k4 escuadra de acero galvanizado 100x60x60 de fijación de paneles
  - k5 panel de madera contralaminada e=90mm
- FACHADA**
- f1 listonado de madera de alerce
  - f2 montantes de madera en cámara de aire ventilada
  - f3 aislamiento de lana de roca e=6cm
  - f4 antepecho de aluminio lacado con vierteaguas
  - f5 ventana de madera con doble cristal bajo emisivo (U 1,1W/m<sup>2</sup>K)
  - f6 persiana veneciana de lamas de aluminio lacado
  - f7 alicatado de gres
  - f8 lámina protectora de micro fibra de polipropileno
  - f9 lámina barrera de vapor transpirable, de polipropileno
  - f10 tela mosquitera de protección de cámara de aire
- SUELOS**
- t1 pavimento de gres antideslizante
  - t2 pavimento de corcho
  - t3 banda de neopreno en contacto entre forjado y jicera
  - t4 jicera HEB240
  - t5 cámara sanitaria ventilada
  - t6 cimentación de zapatas aisladas
  - t7 pavimento exterior de adoquines cerámicos sobre lecho de arena
  - t8 pintura impermeabilizante de caucho
  - t9 chapa de acero galvanizado estrada

**FICHA TÉCNICA:**

Tipología: Centro de Educación Primaria

Emplazamiento: Bellaterra, Cerdanyola del Vallès (Barcelona)

Superficie construida: 360 m<sup>2</sup>

PEC sin IVA: 500.000 €; 1.388 €/m<sup>2</sup>

Fecha de inicio de obra: mayo de 2008

Fecha final de obra: agosto de 2008

Promotor: La Brúixola Serveis Educatius SCCL.

Escuela Infantil y Primaria Waldorf Steiner «El Til·ler».

Arquitectos:

Bestraten Hormías Arquitectura SLP  
www.bharquitectura.com

Sandra Bestraten, arquitecta.

Profesora ETSAB - Universidad Politécnica de Catalunya, Cátedra UNESCO de Sostenibilidad

Emilio Hormías, arquitecto.

Profesor EPSEB - Universidad Politécnica de Catalunya

Estructura: Miguel Nevado, Crespiera

Simó Diagonal Arquitectura SLP

Ingeniería: Kalok Empresarial SLP

Módulos prefabricados: KLH

www.klh.at

Instalación madera:

Germans Verdaguer

Obra civil: Renfreu SL



Únicamente los baños se han transportado en un volumen previamente ensamblado y dotado de todos los acabados interiores y equipamiento instalados con el objetivo de reducir los tiempos de ejecución de obra. Libertad de diseño. Este material permite diseñar con libertad sin las restricciones propias de otros sistemas de prefabricación. Esto permite generar edificios con identidad propia y mejorar aspectos vinculados a la distribución, dimensiones de los espacios con criterios de accesibilidad, aberturas en fachada, ventilación e iluminación natural. Seguridad, durabilidad y confort. Aunque la escuela cumple todos los requisitos de normativas y confort, está concebida para ser desmontada y transportada a cualquier otro emplazamiento.

Rapidez de construcción. La ejecución material de la construcción es muy rápida, el montaje propio de los 3 módulos duró 5 días con una grúa y 5 operarios. A estos tiempos hay que añadir los trabajos previos de cimentación con 8 puntos de apoyo sobre el terreno y 4 HEB 240 por módulo, minimizando el impacto sobre el terreno. Una vez montados los módulos el tiempo de montaje de la cubierta, remates de obra civil y urbanización. La ejecución de la obra completa se ha desarrollado en 4 meses.

El orden del montaje: se instala el módulo prefabricado central del baño y después se van montando forjados y fachadas utilizando dicho módulo como elemento arriostrador.

Viabilidad económica. El diseño de los módulos ofrece precios competitivos respecto a soluciones de prefabricación convencional. En concreto la escuela ha costado 1.388 Euros/m<sup>2</sup> incluyendo obra civil y urbanización (precios de 2008).

## 5. Criterios de sostenibilidad:

### Emisiones de CO<sub>2</sub> y comportamiento climático

Emisiones: La madera, en su proceso de producción (bosques sostenibles) no sólo no emite CO<sub>2</sub>, sino que lo elimina, convirtiéndolo en oxígeno. En criterios de sostenibilidad el proyecto ha supuesto una reducción del 58% de emisiones de CO<sub>2</sub> en la cons-

trucción comparado con un módulo prefabricado de aula convencional del mercado y con datos de consumo de CO<sub>2</sub> del ITEC (Instituto de Tecnologías de la Construcción).

Climatización: A nivel de climatización, la fachada ventilada, las protecciones solares exteriores regulables, la cubierta y los aislamientos permiten un ahorro energético del 37%.

Energías renovables: El proyecto también incorpora el uso de energías renovables con colectores solares en la cubierta para el uso de agua caliente.

Sistemas de ahorro energético:

Fachada ventilada

Cubierta con aislamiento de gutex (fi-

bras de madera) con protección solar mediante palés.


Iluminación natural en horario lectivo  
Sensores que apagan la luz artificial cuando la natural es suficiente.

Ventilación natural cruzada.

Carpinterías de madera y acristalamientos de alta eficiencia

Control solar mediante persianas exteriores orientables.

Agua caliente sanitaria mediante placas solares.

En conjunto, este proyecto se presenta como una experiencia sostenible y alternativa a la construcción modular de aulas, y un camino con muchas más posibilidades arquitectónicas para explorar 

	Módulo Metálico	Módulo de Madera	
Emisiones de CO <sub>2</sub> durante la construcción*	801,89 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	331,56 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	-58%
Consumo de calefacción**	41.34 kWh/m <sup>3</sup> año	26.07 kWh/m <sup>3</sup> year	-37%
Ug (aislamiento térmico global)**	0.96 W/m <sup>2</sup> °C	0,53 W/m <sup>2</sup> °C	55%

\* CO<sub>2</sub> Emisiones de: Banco de datos del Instituto de Tecnología de la Construcción ITEC

\*\* Cálculos de consumo: Programa Archisun, Universitat Politècnica de Catalunya.





## PROCESO CONSTRUCTIVO





# arquitectura

