

LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA EN MADERA:

Una alternativa eficiente?

Tesina 2012

Curso: El proyecto con las energías | Farq | Udelar

Lucía Chirico Videla

Tutores: Arq. Alicia Picción / Arq. María Noel López

Tutor en Madera: Arq. María Calone

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	pág. 2
2. PRESENTACION DEL MODELO DE VIVIENDA	pág. 8
3. PRESENTACION DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	pág. 12
3.1. SISTEMA LIVIANO DE MADERA A ESTUDIAR	pág. 12
3.2. SISTEMA CONVENCIONAL	pág. 16
4. ESTRATEGIA METODOLOGICA	pág. 18
5. COMPARACIONES	pág. 19
5.1. COMPORTAMIENTO TERMICO DE LA ENVOLVENTE	pág. 19
5.1.1. TRANSMITANCIA TERMICA	pág. 21
5.1.2. CAPACIDAD TERMICA	pág. 29
5.1.3. CONCLUSIONES SOBRE EL COMP. TERMICO	pág. 33
5.2. COSTO DE CONSTRUCCION	pág. 36
5.3. TIEMPO DE CONSTRUCCION	pág. 45
6. CONCLUSION	pág. 49
7. BIBLIOGRAFIA	pág. 52
8. ANEXO	pág. 55

*“Satisfacer las necesidades de la población
de una manera racional, perdurable y ecológicamente sensata
es el principal reto de las sociedades modernas.”*

Raymundo Dávalos Sotelo.^[1]

1. INTRODUCCION

En la actualidad, el problema de la Eficiencia Energética se plantea de manera casi excluyente a la hora de proyectar en arquitectura. Pero construir de manera energéticamente eficiente no implica solamente obtener buenas condiciones de acondicionamiento o confort sin un elevado consumo energético, sino que también debe considerar que el sistema constructivo empleado sea eficiente: que produzca la menor agresión posible al medio ambiente y que la energía necesaria para su producción sea la menor posible.

Previo a analizar el concepto de Eficiencia Energética, se debe definir el de **EFICIENCIA en el USO de RECURSOS**. Según la Real Academia Española, “la eficiencia es la **óptima utilización** de los recursos disponibles para la obtención de resultados deseados”. O sea, implica un **uso racional** de los recursos con los que se cuenta (la menor cantidad posible), para alcanzar un objetivo deseado, logrando así una mejor optimización y rendimiento de dichos recursos.

En el caso de la construcción en arquitectura, el objetivo deseado es el de materializar el edificio que se proyecta, en donde los principales recursos que deben ser manejados de manera óptima son el de la energía requerida para la construcción y el uso del edificio, el costo y el tiempo de construcción.

[1] DÁVALOS SOTELO, Raymundo. Importancia ecológico-económica del aprovechamiento de los bosques. Madera y Bosques vol. 2 núm. 002.

El correcto manejo del recurso **Energía**, es lo que permite hablar de Eficiencia Energética.

La **Eficiencia Energética** en arquitectura, pone en consideración la relación que debe tener el **edificio** que se proyecta, con el **usuario** y el **lugar** en el que se inserta. El correcto desempeño térmico y energético del edificio, debe ser una consecuencia de la adecuación del mismo a las características climáticas y culturales, desarrollo tecnológico y realidad socioeconómica del lugar donde se emplaza.

El concepto de Eficiencia Energética implica optimizar las condiciones de habitabilidad del edificio, con el menor consumo posible de los recursos energéticos y económicos. La aplicación de estrategias o criterios de diseño energéticamente eficientes, tanto a nivel de proyecto del edificio (especialmente en la consideración de la envolvente) como en la selección de los materiales de construcción, debe permitir y contribuir, junto con la contemplación de otros aspectos, a un ahorro en el uso de recursos y consumo de energía y a la preservación del medio ambiente (disminución de impactos, emisiones y residuos, entre otros).

Cada clima presenta requerimientos específicos para el correcto desempeño de los edificios. El desafío radica en detectar y aplicar soluciones a esos requerimientos, ya desde la elaboración del proyecto del edificio.

En el caso del Uruguay, la situación climática es la de clima templado húmedo, diferenciando dos zonas, una al sur (caracterizada por Montevideo) con un clima templado – frío y otra al norte (caracterizada por Salto) con temperaturas más elevadas. En ambas zonas, la Humedad Relativa es superior al 60%. En Montevideo, las temperaturas oscilan entre los 0 y 35°C con una Amplitud térmica anual de 9°C, mientras

que en Salto las temperaturas van desde 0 a 40°C, con una Amplitud térmica anual de entre 10 a 14°C.

Con respecto a las sensaciones de confort o desconfort térmico, en Montevideo un 20.9% de las horas del año hay confort, mientras que el 79.1% de las horas del año se está en situación de desconfort térmico. El problema del desconfort en Montevideo se presenta mayormente relacionado con el frío (64.6% de las horas del año, mientras que el desconfort con el problema del calor es de un 14.5% de las horas del año). En Salto el porcentaje de confort es levemente mayor (29.8%), con un desconfort menor (70.2%). A su vez el período de frío en Salto se presenta de manera un poco menos problemática que en Montevideo, pero de igual manera el frío sigue siendo más problemático que el calor (el frío representa un 49.1% del desconfort y el calor un 21.1%).^[2]

Los valores de Amplitud térmica, junto con los problemas de frío y de calor que caracterizan el clima del Uruguay, constituyen los principales problemas o desafíos que se presentan y que deben ser considerados en el diseño de una edificación en nuestro país.

La Eficiencia Energética radica en la consideración de estos requerimientos y el planteo de estrategias de diseño (estrategias pasivas) que respondan a estos problemas. Las principales estrategias de diseño para nuestro país se encuentran en: la orientación del edificio, su morfología, ventilación, protecciones solares, sombreamiento y el diseño de la envolvente (su inercia térmica). Las estrategias buscarán, para el período frío, aumentar la temp. interior media (mediante la captación de energía solar y evitando las pérdidas de calor) y para el período caluroso, la reducción de la temp. interior media (aumentando las pérdidas térmicas mediante ventilación y evitando el ingreso al interior de energía solar).

^[2] Datos extraídos de material de apoyo académico del curso Acondicionamiento Térmico, Farq. UdelaR. Capítulo 2: Medio Exterior – Clima.

A su vez las estrategias buscarán para ambos períodos, a través del diseño de la envolvente (su inercia térmica), estabilizar y regular las condiciones interiores de la vivienda, buscando amortiguar y retrasar las variaciones de temperatura exterior.

El diseño de una envolvente que represente una estrategia pasiva, involucra la selección del sistema constructivo a emplearse (pesado o liviano), lo cual a su vez implica una elección de materiales.

En la actualidad se plantea el tema de la utilización de la madera como material de construcción eficiente, donde la bibliografía que refiere al tema destaca el hecho de que se trata de un recurso renovable y altamente aprovechable, con un empleo de energía por unidad de producción significativamente menor que el resto de los materiales de construcción convencionalmente usados, y presenta a los sistemas constructivos de madera como poseedores de buenas ventajas en lo referente a aislamiento térmico.

La consideración de utilizar la madera como material de construcción puede plantearse a su vez dentro del tema de la vivienda social en nuestro país, donde investigadores afirman que “en la construcción de vivienda de interés social en Uruguay un porcentaje cada vez mayor se realiza con sistemas constructivos livianos o de baja inercia térmica”.^[3] Según la bibliografía asociada a la temática de la construcción con madera, además de las ventajas energéticas que afirma brinda la madera para la construcción de viviendas y su uso (confort), parece presentar ventajas en lo referente a los costos y al tiempo de construcción, dos aspectos no menores en lo referente a la temática de la vivienda social.

[3] PICCION A., CAMACHO, M., CHEIRASCO, G., LOPEZ, M., MILICUA, S. Evaluación del desempeño térmico de estrategias de diseño bioclimáticas aplicadas en un prototipo liviano para la situación climática de Uruguay. 6^{as} Jornadas de Investigación en Arquitectura. Farq., UdelaR., octubre de 2007, pág. 89.

El problema de la vivienda social es un tema muy complejo que se presenta en nuestro país con carácter de inmediato y necesita de soluciones eficientes, que no implican simplemente la construcción de viviendas, sino aspectos mucho más profundos. Dentro de estos aspectos a considerar, se encuentra el de habitabilidad y confort de la vivienda social, garantizar condiciones adecuadas y satisfactorias de habitabilidad, la necesidad de disminuir costos (de inversión, de mantenimiento, de confort), reducir el tiempo de construcción, entre otros.

El estudio de la construcción de vivienda en madera se presenta en esta investigación no como una solución al tema de la vivienda social, sino como un aporte a dicha temática.

El objetivo de esta investigación consiste en analizar aspectos o características de la construcción en madera, que potencialmente puedan generar alternativas eficientes en la construcción de viviendas (eficientes tanto desde el punto de vista energético como económico), basándose en la realización de comparaciones con los métodos más convencionales de construcción de viviendas en nuestro país (sistemas pesados de hormigón y mampostería). Se busca así aportar al conocimiento de la temática de la eficiencia de la vivienda, a través de la utilización de la madera como componente de sistemas constructivos livianos, una alternativa que se está utilizando cada vez más en nuestro país.

La investigación se basará en un modelo de anteproyecto para vivienda social a realizarse en madera, que se presentará en el capítulo 2. En el capítulo 3 se presentarán los dos sistemas a comparar: se realizará una descripción del sistema constructivo de madera seleccionado para esta investigación y una breve presentación del sistema convencional o pesado, en base al cual se realizarán las comparaciones. Luego, en el capítulo 4 se

plantearán las herramientas o métodos de comparación entre ambos sistemas (indicadores de las características seleccionadas como representativas de criterios de eficiencia en el uso de recursos). Finalmente, en el capítulo 5 se realizarán dichas comparaciones, de manera de obtener conclusiones.

Como resultado de esta investigación se pretende aportar a la temática y a la discusión actual de la utilización de la madera como material eficiente dentro la construcción. Se busca contribuir a que el uso de la madera como material de construcción no se vea simplemente limitado a aspectos secundarios dentro de la vivienda, sino que pueda considerarse como el componente principal de ésta.

2. PRESENTACION DEL MODELO DE VIVIENDA

Como ejemplo para esta investigación, se parte de un modelo de vivienda social con estructura de entramado de madera, elaborado durante la participación en el curso de Construcción 3 de la Facultad de Arquitectura, Universidad de la República, en el año 2008. La vivienda se planteó como propuesta habitacional para los trabajadores de un aserradero, que se encontraba en tratativas de instalarse en el pueblo Algorta en el departamento de Río Negro.



Imagen exterior de la vivienda modelo.

Al momento de elegir el sistema constructivo a utilizar en las viviendas, se debía seleccionar entre sistemas livianos cuyo material principal fuera la madera o derivados de ella, ya que dicho material era suministrado directamente por el aserradero. Se descartaron en primera instancia los desechos de madera del aserradero como materia prima a utilizar, ya que existía un proyecto para la futura utilización de esos desechos en la producción de energía calórica y eléctrica. Las alternativas entonces se presentaban entre tres sistemas: uno en base a madera maciza, otro en base a paneles de madera y el último en base a un entramado de madera.

Para determinar cuál de esos tres sistemas constructivos livianos se usaría, se utilizó como herramienta de selección una matriz de evaluación de los sistemas. La matriz presenta los criterios a considerar para la selección: criterios sociales, físicos y económicos. Cada uno de esos criterios se desglosó en una serie de requisitos a ser evaluados y ponderados, definiendo así la importancia relativa que representa cada uno con respecto a otro, dentro de cada criterio. El hecho de traducir los requisitos a parámetros cuantitativos, permite realizar una comparación del desempeño de cada uno de los tres sistemas constructivos pre-seleccionados. La matriz presenta resultados por criterio y el resultado total por sistema constructivo. No necesariamente el sistema constructivo mejor evaluado globalmente sea el que obtuvo el mayor puntaje en cada uno de los criterios, pero lo importante es que el sistema seleccionado por tener el mayor resultado global, lo obtuvo considerando todos los criterios de evaluación y en comparación con los otros dos sistemas constructivos.

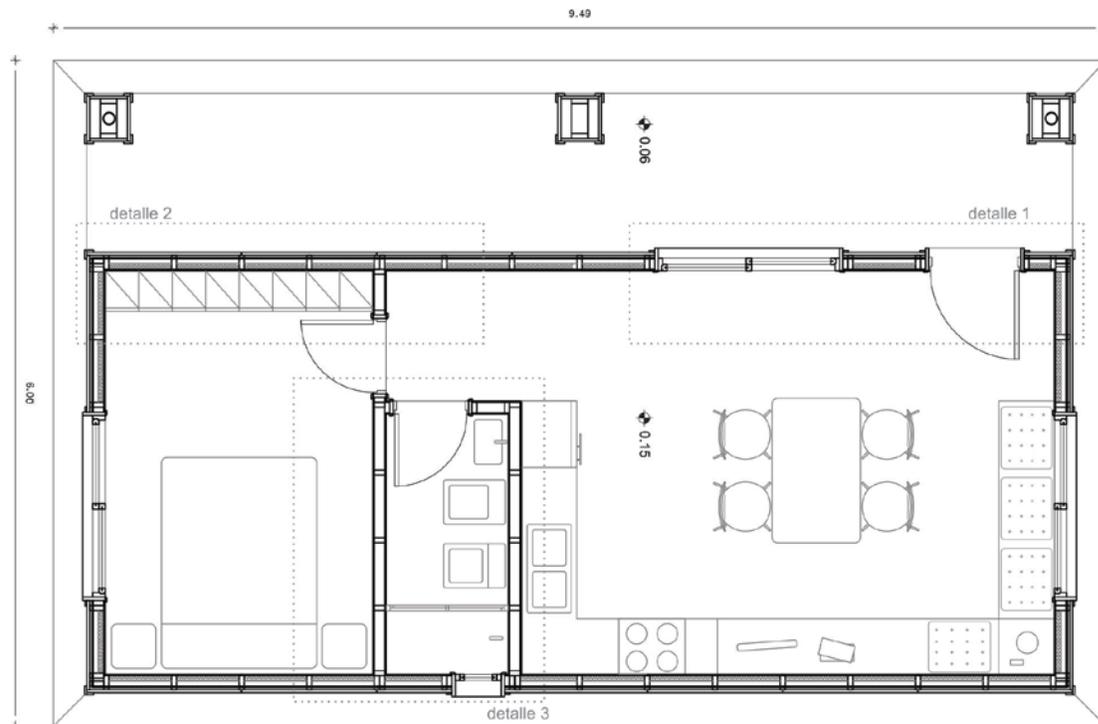
criterios de primer orden		alternativas tecnológicas					
		madera maciza		paneles de madera		entramado madera	
social	%						
aceptabilidad cultural	0.13	70	9.10	50	6.50	60	7.80
imagen urbana	0.03	50	1.50	60	1.80	70	2.10
tiempo disponible	0.42	60	25.20	90	37.80	80	33.60
disponibilidad de recursos	0.42	100	42.00	90	37.80	90	37.80
			77.80		83.90		81.30
físico	%						
seguridad estructural	0.30	90	31.50	70	24.50	80	28.00
seguridad al fuego	0.30	70	24.50	70	24.50	70	24.50
impermeabilidad	0.10	70	7.00	80	8.00	80	8.00
durabilidad	0.10	70	7.00	60	6.00	60	6.00
confort térmico	0.10	60	6.00	70	7.00	90	9.00
confort acústico	0.10	60	6.00	70	7.00	90	9.00
			82.00		77.00		84.50
económico	%						
costo total	0.50	50	25.00	70	35.00	70	35.00
costo de mantenimiento	0.50	80	40.00	80	40.00	80	40.00
			65.00		75.00		75.00
TOTALES			224.80		235.90		240.80

Matriz de evaluación utilizada.

A través de esta matriz de evaluación, el sistema que arrojó mejores resultados con respecto a los criterios considerados, fue el del entramado de madera. A partir de esta decisión, se comenzó a realizar el diseño de la vivienda tipo.

La vivienda consiste básicamente en un prisma con estructura de entramado, forrado en su exterior con madera y en su interior con revestimiento de placa de yeso. Consta de una galería exterior la cual se orienta al Norte para permitir optimizar la situación de la fachada tanto en verano como en invierno a través del alero. El techo, el cual es de chapa, se oculta tanto al exterior a través del forrado de los pretiles en madera, como en el interior a través de placas de OSB.

La vivienda cuenta con un ambiente de living-comedor con cocina integrada, un baño y un dormitorio. Todos los elementos que componen la envolvente, paredes, puertas, ventanas y estructura portante, son realizados en madera, mientras que la fundación consiste en una platea de hormigón sobre la cual descarga todo el entramado de madera.



Planta de la vivienda modelo.

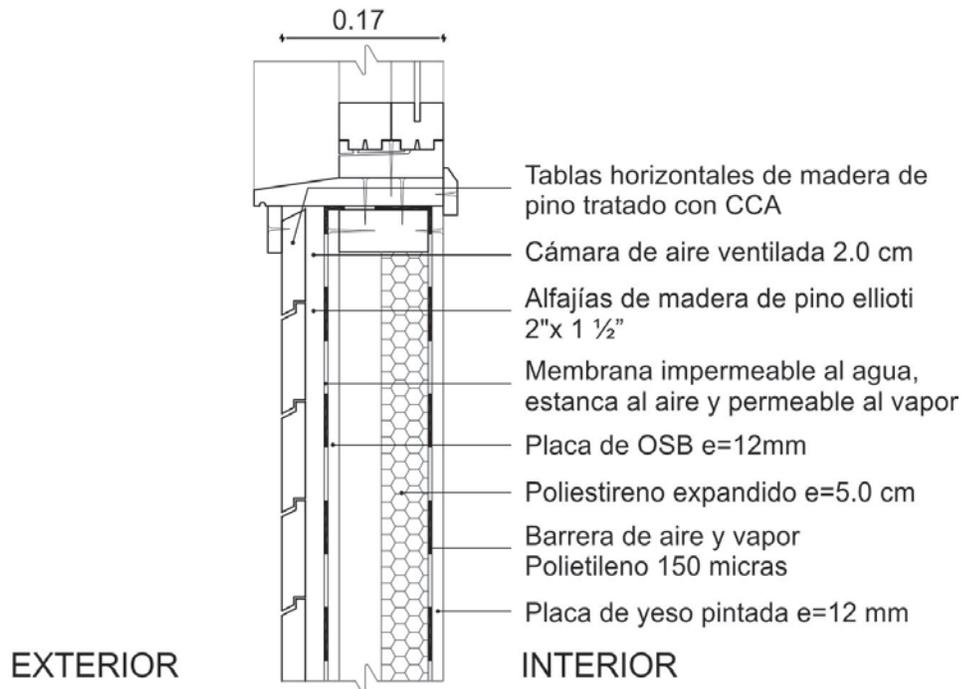
La secuencia constructiva de la vivienda se puede esquematizar de la siguiente manera:



Esquema de la secuencia constructiva de la vivienda.

Se presenta a continuación un corte del tabique interior – exterior, mostrando las capas que componen el cerramiento (material, espesor y orden de posicionado). Los detalles de los encuentros con aberturas, piso y techo se presentan en el Anexo.

CERRAMIENTO VERTICAL LIVIANO DE MADERA



Detalle en corte del cerramiento vertical interior – exterior.

3. PRESENTACION DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

3.1. SISTEMA LIVIANO DE MADERA A ESTUDIAR

El sistema con que se proyectó el modelo de vivienda a estudiar, pertenece a la categoría de sistemas livianos dentro de la construcción. Un sistema liviano se caracteriza por la poca masa de sus cerramientos (menor o igual a 150 kg/m²) y por su baja inercia térmica.

Por lo general los sistemas livianos se caracterizan por su montaje o ejecución “en seco”, diferenciándose del método de ejecución de muros y otros elementos de la construcción convencional (de mampostería), los cuales se podrían englobar en sistemas “húmedos” ya que requieren de agua para la hidratación de sus aglomerantes.

Dentro de los sistemas livianos en madera, se encuentra el sistema de entramado, el cual se puede definir como una “disposición constructiva basada en la utilización de piezas estructurales de tipo lineal, que se combinan en diversas posiciones para constituir elementos estructurales.”^[4]

El sistema de entramado de madera se basa en la utilización de barras como elemento básico de la estructura. Las barras (que pueden ser pilares, pies derechos, soleras, entre otros), ya sean trabajando asociadas a otros elementos, o por sí solas, permiten la transmisión de las cargas del techo y/o de un entrepiso a las fundaciones. De acuerdo a la manera en que se transmiten estas cargas, es que pueden diferenciarse dos subsistemas

^[4] Definición extraída de “Construcción en Madera” Universidad del Bio-Bio, Chile.

dentro del entramado de madera: el de vigas y pilares de madera (donde las vigas reciben las descargas del techo y/o entrepisos, y las transmiten a los pilares, los cuales a su vez descargan en los cimientos) y el sistema de tabiques (los tabiques, que pueden tener variadas composiciones, son los encargados de transmitir las descargas del techo y/o entrepisos a los cimientos).

El sistema de construcción que se seleccionó para el caso de la vivienda a estudiar es el de **entramado de madera de tabiques conformado por pies derechos**. El entramado de madera es la estructura portante, y conforma un volumen arriostrado de gran rigidez donde las cargas se transmiten de manera repartida hacia las fundaciones.

El sistema de entramado de madera consiste en una estructura liviana de pies derechos de madera arriostrados. “Los pies derechos son unidades de sección transversal pequeña y a su vez muy esbeltos, que están dispuestos a corta distancia entre ellos de manera vertical”^[5] (por lo general dicha separación es de 40, 60 u 80 cm). Entre los pies derechos, se colocan las capas de aislante térmico, barrera de vapor, impermeabilización y cámara de aire, con las cuales se conforma el cerramiento. Las capas, sus componentes, sus espesores y su orden, variarán de acuerdo a la función del cerramiento (si pertenece a la envolvente exterior, si es un tabique interior simplemente separativo, si necesita ser aislante acústico, etc.). La estructura a su vez, se une a través de alfajías de madera, a un sistema de placas (exteriores e interiores en madera o interiores de yeso) que conformarán la terminación del cerramiento.

[5] Definición extraída de artículo “Construir con Madera. Alternativa para Resolver Necesidades Habitacionales”. Sandra Viviana Murillo. IDEADE - Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo.

Las piezas estructurales que componen un tabique son: soleras (barras horizontales, inferiores y superiores), pies derechos (barras verticales) cortafuegos (piezas horizontales colocadas entre los pies derechos) y piezas para conformar los vanos. Todos estos elementos son piezas aserradas de madera, con dimensiones ya estandarizadas, que se colocan a una distancia modulada entre sí.

La madera a utilizar en las piezas estructurales del sistema de entramado puede ser de madera maciza o madera laminada encolada (laminas de madera maciza unidas por medio de adhesivo). En nuestro país se utilizan ambos sistemas, principalmente con madera de pino o eucalipto (de las especies de madera más plantadas en nuestro país y que se pueden adquirir directamente en los aserraderos en gran variedad de dimensiones ya aserradas y tratadas), mientras que en otros países suelen utilizarse además de estas especies, el abeto, abeto rojo, alerce, entre otros^[6]. Por tratarse de madera maciza estructural, la misma debe estar seca, con un contenido de humedad menor al 20%, valor promedio de contenido de humedad de equilibrio en nuestro país, para evitar las variaciones volumétricas y sus consecuencias, fisuras y grietas, que pueden afectar negativamente a la construcción. Para ello, la madera es secada en hornos en los aserraderos.

Además del secado, si la madera cumple una función estructural o va a ser utilizada como parte de elementos o cerramientos exteriores, se deben tomar medidas de protección adicional: siempre debe ser tratada, para lograr una mayor durabilidad y protegerse de los insectos.

^[6] Datos obtenidos de publicación "Construcción con Madera. Detalles – Productos - Ejemplos". Theodor Hugues, Ludwig Steiger, Johann Weber. Detail Praxis. Editorial Gustavo Gili Barcelona, 2007.

El tratamiento más utilizado en nuestro país y en el resto del mundo, es el tratamiento con C.C.A. (compuesto hidrosoluble de óxidos cromo-cupro-arsenicales), con el cual, a través de dichas sustancias químicas, se logra que la madera se proteja de hongos, larvas de insectos, termitas, y otros organismos que las puedan atacar, prolongando así su vida útil^[7]. El sistema consiste en la impregnación de la madera, donde la madera de pino debe impregnarse totalmente, mientras que los eucaliptos admiten impregnación solamente en la albura ya que el duramen ofrece resistencia a la penetración del producto”^[8].

^[7] Información obtenida de www.oxipal.com.

^[8] Información obtenida de publicación Cubiertas de Tejas con Estructura de Madera. Instituto de la Construcción. Farq. Udelar. Autores: María Calone, Carlos Meyer, Susana Torán.

3.2. SISTEMA CONVENCIONAL

La vivienda en estudio, a efectos de hacer posible una comparación de sistemas constructivos, puede ser interpretada en términos de construcción mediante un sistema convencional o “pesado”.

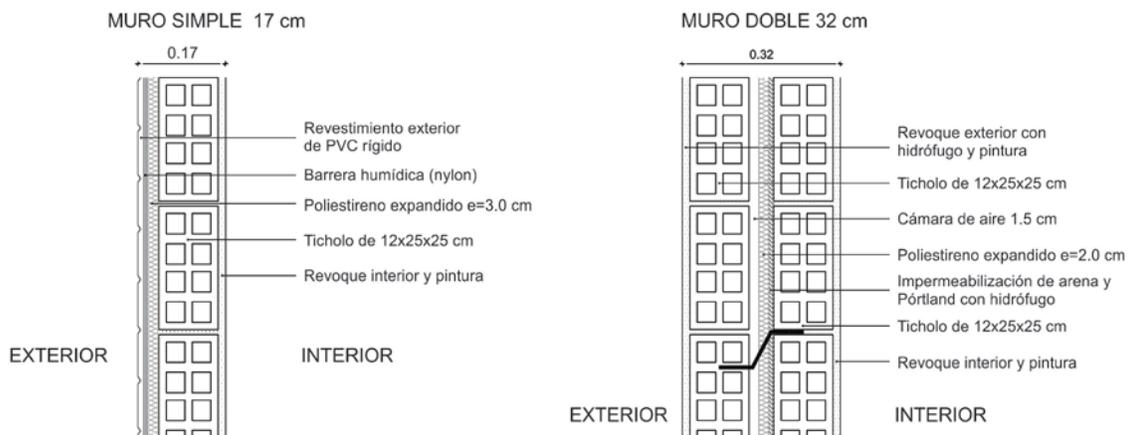
El sistema convencional o tradicional de nuestro país, corresponde a un sistema de construcción caracterizado por ser “pesado”, ya que engloba la construcción de cerramientos pesados o de gran masa, generalmente constituidos por materiales cerámicos (como ticholos o ladrillos), por bloques de hormigón, piedra, hormigón, entre otros, y se sustenta por lo general en estructuras de muros portantes o de hormigón armado. Es denominado también como “húmedo” ya que se basa en la utilización de agua para la realización de la mayoría de los trabajos.

Es el sistema de construcción tradicionalmente más utilizado en el Uruguay, y que presenta fuertes vínculos culturales ya que debido a su considerable “masa” o gran espesor de sus muros, refleja una imagen de solidez y seguridad de la vivienda. Por ser el más antiguo y más utilizado en nuestro país, cuenta con mano de obra calificada y poseedora de sabiduría del “buen construir”, transmitida por generaciones anteriores.

Para poder interpretar el modelo de vivienda planteado en términos de construcción convencional, se modifican tanto los componentes constructivos, como el sistema estructural.

- La estructura puede considerarse como sistema independiente de vigas y pilares de hormigón.

- Los elementos techo y piso pueden mantenerse iguales al caso del sistema de entramado de madera a efectos de simplificar las comparaciones: techo de chapa con cielorraso y componentes aislantes, y para el caso del piso, una platea de hormigón (realizada sobre balasto apisonado), sobre la platea un alisado y revestimiento cerámico.
- Los cerramientos verticales serían conformados por elementos pesados y que difieren entonces en mayor medida de los del sistema liviano de entramado de madera: muros compuestos por mampuestos cerámicos (ladrillos o ticholos), conformando muros simples o dobles. Se plantearán dos configuraciones posibles de muro exterior – interior, de manera de realizar comparaciones con el cerramiento vertical del sistema de entramado de madera: un muro simple (con aislación térmica) y uno doble.



Detalle en corte del muro simple.

Detalle en corte del muro doble.

4. ESTRATEGIA METODOLOGICA

Como estrategia para esta investigación, se seleccionan algunas características demostrativas de la construcción de la vivienda, las cuales se plantean como herramientas de comparación entre el sistema de madera planteado y el sistema convencional. Las características fueron seleccionadas de entre varios aspectos de la construcción de una vivienda en nuestro país, buscando aproximarse a criterios de eficiencia en el uso de recursos del sistema constructivo, eficiencia tanto en aspectos energéticos como económicos. A través de las comparaciones se pretende extraer conclusiones sobre la consideración del sistema de construcción liviano de madera como sistema eficiente.

Las características seleccionadas para la comparación de los dos sistemas constructivos son:

- a. **Comportamiento energético de la envolvente:** en particular se estudiará la **INERCIA TERMICA de los cerramientos verticales**. Los indicadores que permitirán comparar la Inercia Térmica de los cerramientos serán la Transmitancia Térmica (U) o su inverso la Resistencia Térmica (R), y la Capacidad Térmica (CT).
- b. **Costo de construcción:** el indicador utilizado será el del costo de la construcción de un m² de la vivienda en estudio, contemplando el costo de los materiales, mano de obra y beneficio de la empresa y también se comparará mantenimiento necesario y vida útil estimada de la vivienda.
- c. **Tiempo de construcción:** se evaluará el tiempo promedio aproximado de construcción del prototipo, cuyo indicador será la cantidad de días de duración de la obra.

5. COMPARACIONES

5.1. COMPORTAMIENTO TERMICO DE LA ENVOLVENTE.

De manera de poder evaluar la calidad térmica de ambos sistemas constructivos, se estudiará el comportamiento térmico de la envolvente, limitándose el análisis a los cerramientos verticales exteriores, ya que se supuso el caso de que tanto el techo como el piso de la vivienda construida convencionalmente sean básicamente los mismos que en el caso liviano: techo de chapa (con sus respectivas capas) y piso de platea de hormigón con revestimiento cerámico.

El hecho de no analizar comparativamente el cerramiento horizontal superior (techo) entre ambos sistemas constructivos, sino simplificar adoptando la misma solución constructiva en ambos casos, responde además a que este cerramiento es el más comprometido dentro de la envolvente, ya que es el que presenta mayor consumo de energía. De modo de controlar la cantidad de calor que incide sobre la envolvente en el período caluroso y controlar las pérdidas térmicas en el período frío, se debe prestar especial atención al plano horizontal (el techo de la vivienda apenas presenta una inclinación con respecto a un plano horizontal, por lo que se convierte en el más débil de los cerramientos que componen la envolvente). Por esto, se opta por simplificar la investigación, centrándose el estudio de la envolvente en los cerramientos verticales exteriores – interiores.

Cuando se considera la envolvente de la vivienda, los cerramientos son los responsables de actuar como barrera o protección entre el interior y el exterior, donde la **Inercia Térmica** de un cerramiento opaco, es la que permitirá controlar y mantener las condiciones interiores de la vivienda.

Los cerramientos opacos actúan como reguladores de los aportes solares que reciben diariamente, ya que tienen la capacidad de aislar y almacenar la energía que reciben. La capacidad de aislamiento se debe a su capacidad de Resistir o Transmitir el pasaje de calor entre el exterior y el interior de la vivienda, mientras que el concepto de almacenamiento de la energía dentro del cerramiento se debe a la Capacidad Térmica de dicho cerramiento. Estos dos conceptos (Resistencia o Transmitancia y Capacidad Térmica) son los que nos permiten analizar la Inercia Térmica del cerramiento.

La **Inercia Térmica** se puede definir como la resistencia que presenta un cerramiento a:

- la transmisión del calor, o sea su “aislamiento”, lo cual influye sobre la temperatura interior de la vivienda,
- y la resistencia a las variaciones de temperatura que se dan en el exterior, ya que el cerramiento absorbe o almacena el calor proveniente del exterior y lo transmite al interior con un retardo.

La Inercia Térmica indica la capacidad que tiene el cerramiento de amortiguar el flujo de calor que llega a la envolvente y transmitirlo al interior con un retardo^[9]. El hecho de que amortigüe y retarde el flujo de calor es importantísimo en nuestro país, ya que se presentan variaciones diarias de temperatura exterior del orden de 10 a 14°C. La envolvente es la responsable mantener una temperatura interior lo más estable posible y lo más cercana posible a condiciones de confort, lo cual se consigue gracias a una alta Inercia Térmica, combinando la actuación de la Resistencia con la Capacidad Térmica de los cerramientos: $I = R + CT$.

[9] Definición extraída de material de apoyo académico del curso Acondicionamiento Térmico, Farq. Udelar. Capítulo 5: Cerramientos Opacos – Inercia Térmica.

Para comenzar el análisis del comportamiento térmico, se realizarán comparaciones de los cerramientos verticales para cada sistema constructivo, evaluando las características de Transmitancia Térmica y Capacidad Térmica.

5.1.1. TRANSMITANCIA TERMICA

De manera de poder evaluar el comportamiento como aislante del cerramiento vertical exterior – interior, se calculará para ambos sistemas (liviano y convencional) su Transmitancia Térmica.

La Transmitancia Térmica, la cual se expresa en $W/(m^2 \times K)$, se define como el calor transmitido de un medio a otro a través de $1 m^2$ cerramiento, cuando la diferencia entre las temperaturas de los dos medios es de $1K$ ^[10]. Es el concepto inverso al de Resistencia Térmica, el cual se refiere a la resistencia que presenta el cerramiento a la transmisión de calor de una superficie del cerramiento a la otra. La resistencia térmica global de un cerramiento, es la suma de las resistencias de cada una de sus capas, y se expresa en $(m^2 \times K)/W$.

La Transmitancia Térmica que presenta un cerramiento dado, depende de las propiedades térmicas de los materiales que lo componen: su conductividad térmica (k) y espesor.

^[10] Definición extraída de “Arquitectura y Clima. Acondicionamiento térmico natural” Arq. Roberto Rivero. Farq, UdelaR. ANEXO B. Pág. 206.

La Conductividad Térmica de un material se define, según Roberto Rivero, como el calor transmitido en régimen estacionario desde una superficie a otra paralela a través de un cuerpo homogéneo. Indica la capacidad del material de ser mejor o peor conductor del calor.

La conductividad está vinculada con la densidad del material, a menor densidad, menor es la conductividad. Cuanto mayor sea la cantidad de aire quieto contenido dentro del material (material liviano, de baja densidad), el pasaje del calor se verá interrumpido por ese aire quieto, el material será un mal conductor del calor. Un material que presenta una menor conductividad térmica que otro, es mejor aislante que el otro.

A continuación, se presenta una tabla con valores de conductividad térmica (k) de los materiales más utilizados en la construcción.

MATERIAL	k (W/m.°C) ^[11]
Cobre	390
Aluminio	230
Acero	47
Hormigón	1.10 a 1.90
Ladrillo de prensa	0.80 a 1.00
Ladrillo de campo	0.65 a 0.79
Maderas naturales	0.10 a 0.19
Maderas laminadas y aglomerados	0.10 a 0.20
Corcho	0.035 a 0.069
Poliestireno expandido	0.035
Lana de vidrio	0.036
Aire	0.024

[11] Datos obtenidos de "Arquitectura y Clima. Acondicionamiento térmico natural" Arq. Roberto Rivero. Farq, UdelaR. ANEXO B. Pág. 209-210.

Esta tabla permite apreciar cómo la madera posee un bajo valor de Conductividad Térmica, y al ser comparada con los principales materiales de construcción es posible ver que se trata de un material con buena capacidad de aislación.

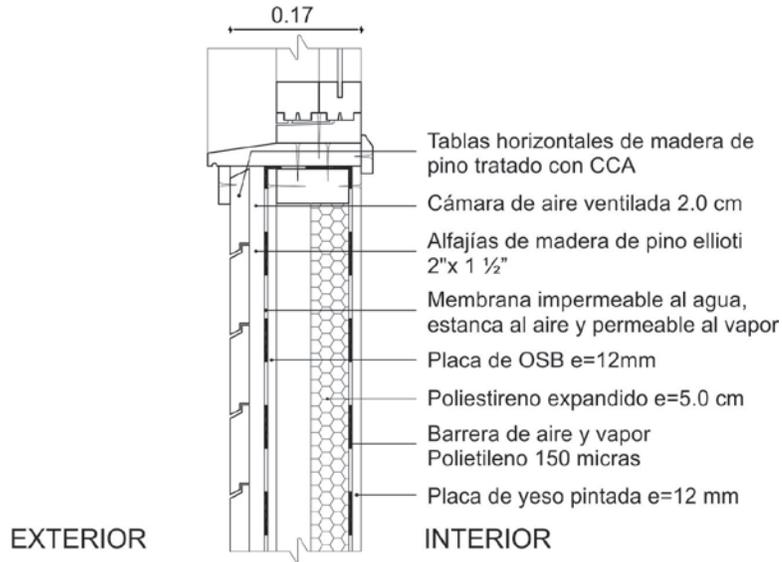
Para el cálculo de la Transmitancia Térmica de los cerramientos verticales de ambos sistemas (liviano y convencional), se recurrirá al software proporcionado por la página web de la Intendencia de Montevideo: Calculo de la Transmitancia Térmica, para la construcción de viviendas en Uruguay. Ingresando datos de la composición del cerramiento (cada capa en orden, su material y espesor), se obtiene un valor que corresponde a la Transmitancia Térmica de ese cerramiento.

La DINAVI establece dos niveles de desempeño de los cerramientos opacos verticales exterior – interior, donde para el primer nivel establece una Transmitancia máxima de $1.60 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, correspondiente al definido en el Reglamento de Producto, y para el segundo nivel, una Transmitancia máxima de $0.85 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. Este último se corresponde con las condiciones establecidas por la Norma UNIT incorporada al Digesto Municipal, y corresponde por lo tanto al valor máximo admisible por la Intendencia de Montevideo para la aprobación de permisos de construcción.

A los efectos de las comparaciones que se van a realizar, se tomará como valor máximo el establecido por la Intendencia de Montevideo: $0.85 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

En primer lugar, se va a calcular U para el caso del sistema liviano de entramado de madera. Se muestran a continuación un detalle del cerramiento y una imagen del cálculo de U a través del software de la Intendencia.

CERRAMIENTO VERTICAL LIVIANO DE MADERA



Componentes del cerramiento liviano.

Formulario de Transmitancia Térmica



Capas del Cerramiento

- ✓ El código del Cerramiento es obligatorio.
- ✓ Debe ser de la forma TI o MEI (según se trate de un Techo o un Muro Exterior, con $i \geq 1$).
- ✓ Este código debe ser el mismo que se use en el plano para identificar el Cerramiento.

Ingrese el código para este MURO EXTERIOR:

Capas

✓ La primera fila de la tabla representa la Capa más interior.

Espesor (m)	Material	Densidad (Kg/m ³)	Conductividad (W/m.K)	Res. Térmica (m ² .K/W)	
0.012	Placa de yeso	700.0	0.21	0.06	<input type="checkbox"/>
0.0015	Polietileno baja densidad	920.0	0.33	0.0	<input type="checkbox"/> ↑
0.05	Poliestireno (EPS)	15.0	0.04	1.25	<input type="checkbox"/> ↓
0.012	Panel de fibras orientadas (OSB)	400.0	0.1	0.12	<input type="checkbox"/>
0.0010	Poliamida (Nylon)	1150.0	0.25	0.0	<input type="checkbox"/> ↑
0.025	Madera	700.0	0.18	0.14	<input type="checkbox"/> ↓

Transmitancia Térmica Total (U): 0.5732 W/(m².K) (valor máximo admitido: 0.85 W/(m².K))

✓ El Cerramiento es válido

Cálculo de la Transmitancia Térmica en página web de la Intendencia de Montevideo.

Al colocarse la información de cada capa que conforma el cerramiento (material y espesor), ordenada de acuerdo a su posición dentro del cerramiento, el software calcula la Transmitancia Térmica total del cerramiento, y aclara si ese valor es aceptable o no para los valores máximos admitidos. En este caso, el valor de Transmitancia Térmica del cerramiento liviano es de **0.5732 W/(m².K)**, el cual es menor al máximo admitido por la Intendencia (0.85 W/(m².K)).

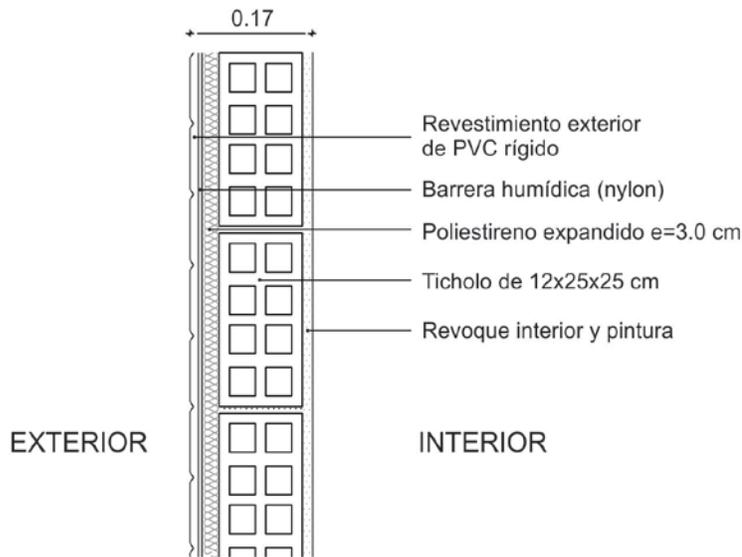
Aclaración: la cámara de aire que se encuentra entre las alfajías que se colocan para clavar el revestimiento exterior de madera, no fue considerada para el cálculo de la Resistencia Térmica, ya que se trata de una cámara de aire ventilada y que por lo tanto no se desempeña como aislante térmico ya que no ofrece una resistencia al pasaje del calor a través del cerramiento.

A continuación se procede a realizar el mismo procedimiento del cálculo de la Transmitancia Térmica, con el mismo software, pero para la situación de construcción por sistema convencional.

Se comienza buscando comparar con un muro simple de mampostería, con un espesor similar al propuesto en el caso liviano (17 cm), que aún siendo muro simple cumpla con el valor máximo de Transmitancia Térmica establecido por la Intendencia y que por tratarse de una vivienda de carácter social, no se base en la utilización de materiales especiales y caros.

Se propone entonces un muro de 17 cm, compuesto por ticholo cerámico de 12 x 25 x 25 cm, de 8 bocas, con aislante térmico y revestimiento exterior de PVC rígido, tipo Siding.

MURO SIMPLE 17 cm



Componentes del muro simple.

Capas del Cerramiento

- ✓ El código del Cerramiento es obligatorio.
- ✓ Debe ser de la forma Ti o MEi (según se trate de un Techo o un Muro Exterior), con $i \geq 1$.
- ✓ Este código debe ser el mismo que se use en el plano para identificar el Cerramiento.

Ingrese el código para este MURO EXTERIOR:

Capas

- ✓ La primera fila de la tabla representa la Capa más interior.

Espesor (m)	Material	Densidad (K/m3)	Conductividad (W/m.K)	Res. Térmica (m2.K/W)	
0.01	Revoque interior	1800.0	1.0	0.01	<input type="checkbox"/>
0.12	Ticholo 12cm x 25cm x 25cm (8 huecos)			0.26	<input type="checkbox"/>
0.03	Poliestireno (EPS)	15.0	0.04	0.75	<input type="checkbox"/>
0.0050	Poliamida (Nylon)	1150.0	0.25	0.02	<input type="checkbox"/>
0.0050	Coloruro de polivinilo (PVC)	1390.0	0.17	0.03	<input type="checkbox"/>

« « » »

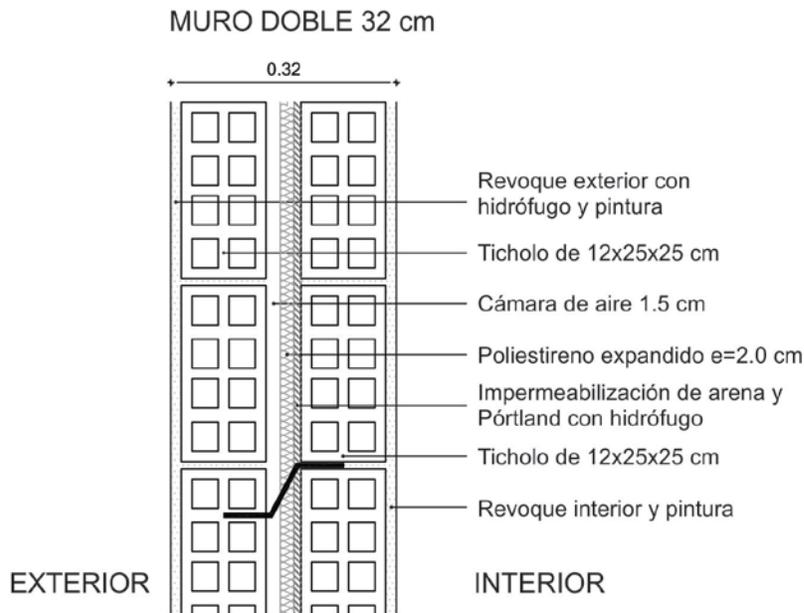
Transmitancia Térmica Total (U): **0.8068 W/(m2.K)** (valor máximo admitido: 0.85 W/(m2.K))

✓ El Cerramiento es válido

Formulario Cálculo de la Transmitancia Térmica en página web de la Intendencia de Montevideo.

La Transmitancia Térmica de este muro simple, de igual espesor que el de entramado de madera, es de $0.8068 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, menor al máximo admisible por la Intendencia. Aún así, es bastante superior al valor de Transmitancia que presenta el cerramiento vertical de entramado de madera ($0.5732 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$) de igual espesor.

De manera de poder aproximarse más al valor de Transmitancia del cerramiento liviano, se pasa a comparar con un muro doble. Se propone un muro de 32 cm de espesor, de doble ticholo de 12 cm, con aislante térmico y cámara de aire.



Componentes del muro exterior - interior.

Formulario de Transmitancia Térmica



Capas del Cerramiento

- ✓ El código del Cerramiento es obligatorio.
- ✓ Debe ser de la forma TI o MEI (según se trate de un Techo o un Muro Exterior), con $i \geq 1$.
- ✓ Este código debe ser el mismo que se use en el plano para identificar el Cerramiento.

Ingrese el código para este MURO EXTERIOR:

Capas

✓ La primera fila de la tabla representa la Capa más interior.

Espesor (m)	Material	Densidad (K/m3)	Conductividad (W/m.K)	Res. Térmica (m2.K/W)	
0.01	Revoque interior	1800.0	1.0	0.01	<input type="checkbox"/>
0.12	Ticholo 12cm x 25cm x 25cm (8 huecos)			0.26	<input type="checkbox"/> ↑
0.0050	Cemento y Arena	1800.0	1.0	0.0	<input type="checkbox"/> ↓
0.02	Poliestireno (EPS)	15.0	0.04	0.5	<input type="checkbox"/>
0.015	Cámara de aire vertical			0.17	<input type="checkbox"/> ↑
0.12	Ticholo 12cm x 25cm x 25cm (8 huecos)			0.26	<input type="checkbox"/> ↓
0.015	Revoque exterior	2100.0	1.4	0.01	<input type="checkbox"/>

«» «» 1 2 «» «»

Transmitancia Térmica Total (U): 0.7216 W/(m2.K) (valor máximo admitido: 0.85 W/(m2.K))

✓ El Cerramiento es válido

Cálculo de la Transmitancia Térmica en página web de la Intendencia de Montevideo.

Este muro presenta un valor de Transmitancia Térmica ($0.7216 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$), admisible por la Intendencia para un cerramiento vertical exterior. Aun así, el valor de Transmitancia Térmica de este muro doble es mayor al del cerramiento liviano propuesto:

Umuro doble = $0.7216 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}) > \text{Uliviano} = 0.5732 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

El bajo valor de Transmitancia Térmica del cerramiento liviano, se logra principalmente gracias al gran espesor cedido para el aislante térmico (poliestireno expandido) dentro del cerramiento. Los pies derechos, de sección $5 \times 10 \text{ cm}$, son colocados a 60 cm entre sí, de manera que entre un pie derecho y el siguiente se genera un espacio de 60 cm de ancho, 10 cm de profundidad, y altura regulable, dentro del cual se colocará la plancha de

poliestireno del ancho que se desee (entre 1 a 10 cm), sin implicar que el cerramiento deba ser más ancho (como sería en el caso de un muro de mampostería). El cálculo de la Transmitancia Térmica del cerramiento liviano fue realizado en base a una plancha de poliestireno expandido de 5 cm de espesor, la cual podría incluso haber sido más fina y aún verificar el máximo valor admisible de U por la Intendencia.

Las comparaciones realizadas nos sirven para visualizar cómo el cerramiento liviano, con tal solo 17 cm de espesor, utilizando los materiales y los espesores convenientes y colocados en el orden adecuado, logra transformarse en un cerramiento exterior de gran resistencia a la transmisión de calor.

Hasta aquí podríamos afirmar que el sistema constructivo liviano propuesto, presenta cerramientos verticales “mejores aislantes” que los de un sistema convencional de mampostería. Pero antes de poder extraer una conclusión sobre el **comportamiento térmico** del sistema liviano, no debemos dejar de lado otro aspecto importante dentro del concepto de Inercia Térmica de la envolvente: el de la Capacidad Térmica de los cerramientos.

5.1.2. CAPACIDAD TERMICA

Los cerramientos opacos, como se dijo anteriormente, tienen la capacidad de aislar y almacenar la energía solar que reciben. La capacidad de almacenamiento de energía que presenta un cerramiento, se puede medir a través de la Capacidad Térmica de dicho cerramiento.

La **Capacidad Térmica** se refiere a la resistencia que presenta un cerramiento a la oscilación o variación de la temperatura exterior: absorbiendo y almacenando el calor proveniente del exterior, lo transmite al interior de la vivienda con un retardo. Este retardo permite desfasar en el tiempo las ganancias de calor producidas por aportes solares.

La Capacidad Térmica de un cerramiento se define como la cantidad de calor necesaria para elevar en una unidad la temperatura de un cerramiento de área igual a la unidad ^[12]. Si la capacidad térmica del cerramiento es baja, significa que la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura en 1K es poca, por lo que el proceso de transmisión de calor se llevará a cabo de forma rápida, mientras que si el cerramiento presenta una capacidad térmica alta, el proceso de transmisión de calor será lento, provocando así un retardo en la transmisión del calor.

La Capacidad Térmica de un cerramiento depende del calor específico, de la densidad y del espesor de los materiales que lo componen: $CT_{\Sigma}=(c \times \rho \times e)$, y se expresa en $KJ/(m^2K)$. El calor específico es, según Roberto Rivero, la cantidad de calor necesaria para elevar 1 grado K la temperatura de una masa de 1Kg. Los principales materiales de construcción tienen valores de calor específico que no varían ampliamente unos de otros, siendo principalmente lo que diferencia la Capacidad Térmica de un cerramiento con otro, su masa, o sea el producto de la densidad de sus materiales por su espesor. Los cerramientos “pesados” o de masa considerable, presentan capacidad térmica alta, mientras que los livianos fallan por lo general en aportar capacidad térmica a la envolvente.

^[12] Definición extraída de “Arquitectura y Clima. Acondicionamiento térmico natural” Arq. Roberto Rivero. Farq, UdelaR. ANEXO B. Pág. 203.

A continuación se realizará el cálculo de la Capacidad Térmica de los tres cerramientos sobre los cuales se realizaron las comparaciones de Transmitancia Térmica.

El valor de Capacidad Térmica del cerramiento que se considerará aceptable deberá ser menor o igual a 150 KJ/(m².K) (valor recomendado por el DECCA), para que, funcionando con una Transmitancia Térmica menor a 0.85 W/(m².K) para el caso de cerramientos pesados, y menor a 0.68 W/(m².K) para el caso de cerramientos livianos verticales^[13], se logre un admisible retraso y amortiguación térmica de la temperatura.

Se calcula primeramente la Capacidad Térmica del cerramiento liviano de entramado de madera:

	material	calor específico (KJ/Kg.K)	densidad (Kg/m3)	espesor (m)	CT (KJ/m ² K)
INT	placa de yeso	1.000	700	0,012	8,4
	polietileno baja densidad	2.200	920	0,00015	0,3
	poliestireno expandido	1.200	15	0,05	0,9
	OSB	1.700	400	0,012	8,16
	poliamida (nylon)	1.600	1150	0,00015	0,28
	cámara de aire ventilada	1.000	1,2	0,02	0
EXT	madera de pino	1.298	700	0,025	22,56
				CT TOTAL	40,6

El valor de Capacidad Térmica del cerramiento liviano es de 40.6 KJ/(m².K), un valor muy por debajo de lo recomendado (150 KJ/(m².K)). Esto se debe a la poca masa del cerramiento, ya que a pesar de ser un cerramiento de 17 cm de espesor, el material de mayor espesor dentro de él (poliestireno expandido) es un material de muy baja densidad, tan liviano que no logra “aumentar” la masa total del cerramiento.

[13] Valores de referencia y recomendaciones surgidas a partir de investigaciones realizadas por el DECCA. Farq. UdelaR.

Se calcula ahora la Capacidad Térmica del muro simple:

	material	calor específico (KJ/Kg.K)	densidad (Kg/m ³)	espesor (m)	CT (KJ/m ² K)
INT	revoque (cal y arena)	1.000	1800	0,01	18
	ticholo cerámico	-	-	0,12	111
	poliestireno expandido	1.200	15	0,03	0,54
	poliamida (nylon)	1.600	1150	0,00015	0,28
EXT	PVC rígido	900	1390	0,005	6,26
				CT TOTAL	136,08

Este muro simple presenta una Capacidad Térmica total de 136.08 KJ/(m².K), un valor que aunque no llega al recomendado, se acerca mucho a él. De cualquier manera, se diferencia ampliamente del cerramiento liviano de entramado de madera.

Por último se calcula la Capacidad Térmica del muro doble:

	material	calor específico (KJ/Kg.K)	densidad (Kg/m ³)	espesor (m)	CT (KJ/m ² K)
INT	revoque (cal y arena)	1.000	1800	0,01	18
	ticholo cerámico	-	-	0,12	111
	arena y Pórtland	1.000	1800	0,005	9
	poliestireno expandido	1.200	15	0,02	0,36
	cámara de aire	1.000	1,2	0,015	0,02
	ticholo cerámico	-	-	0,12	111
EXT	revoque (cal y arena)	1.000	2100	0,015	31,5
				CT TOTAL	280,88

El caso del muro doble se diferencia ampliamente de los anteriores, ya que presenta un elevado valor de Capacidad Térmica de 280.88 KJ/(m².K). Este valor se debe a la gran masa de este cerramiento, lograda principalmente por las dos capas de ticholo que lo componen.

5.1.3. CONCLUSIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO TERMICO

Luego de analizar el cerramiento vertical de entramado de madera, comparándolo con muros pesados de construcción convencional en las características de Transmitancia y Capacidad Térmica se tratan de extraer conclusiones sobre su comportamiento térmico.

En nuestro país, para que la envolvente de la vivienda trabaje de manera óptima, cumpliendo los cerramientos su función de filtro entre el interior y el exterior de la vivienda, regulando las transferencias de calor diarias, se debe aprovechar las propiedades de Inercia Térmica (masa térmica + aislamiento térmico). Esto implica que se debe lograr combinar el trabajo de los dos parámetros que engloba la Inercia Térmica (Resistencia o Transmitancia y Capacidad Térmica). Los efectos que produce la combinación de la Resistencia al paso de la temperatura junto con la Capacidad Térmica del cerramiento, son un retraso térmico (o desfase de la oscilación en el tiempo) y una amortiguación de la oscilación de la temperatura interior respecto a la oscilación de la temperatura exterior. La combinación de estos dos parámetros es fundamental en el clima de Uruguay, debido a que es necesario amortiguar y desfasar las variaciones de la temperatura existentes en el exterior a lo largo del día, de manera de poder regular y asegurar las condiciones interiores. Esto permite en el período frío poder mantener el calor generado en el interior de la vivienda y beneficiarse de la energía solar incidente almacenándola en los cerramientos, y en el período caluroso retrasar y amortiguar el flujo de calor proveniente del exterior.

El cerramiento vertical liviano de entramado de madera analizado, presenta una buena Resistencia a la transmisión del calor, pero valores muy bajos de Capacidad Térmica, ya

que se trata de un cerramiento con muy poca masa, fallando en el almacenamiento de energía y transmisión del calor al interior con retardo.

La Capacidad Térmica es un punto no menor a tener en cuenta en el análisis del comportamiento térmico de la envolvente, ya que en soluciones convencionales se encuentra por lo general contemplado, o en cierta manera es resuelto debido a la **gran masa** de los cerramientos verticales y horizontales, pero que en soluciones livianas falla debido a la poca masa de los cerramientos.

Lo que se puede concluir, es que las herramientas utilizadas (comparaciones de U y CT entre ambos sistemas constructivos) no permiten obtener datos precisos sobre la capacidad de los cerramientos verticales de controlar los flujos de calor en el tiempo y el consumo de energía que se requerirá. Para determinarlos, se hacen necesarios otros estudios que utilicen herramientas más complejas, como por ejemplo simulaciones o ensayos del prototipo liviano.

Aún así, con los resultados de las comparaciones realizadas, se puede realizar una **evaluación sencilla** de la eficiencia del sistema de entramado de madera: la utilización de uno de los principales recursos o estrategias adecuadas al clima de nuestro país para lograr condiciones de confort de la vivienda (la Inercia Térmica: masa térmica + aislación térmica), no es manejada de forma óptima por los cerramientos verticales de entramado de madera, ya que presentan muy buena aislación pero muy poca masa.

A pesar de no poder realizar una evaluación positiva sobre la eficiencia energética del cerramiento vertical de entramado de madera, se pueden plantear alternativas para aumentar la Capacidad Térmica de toda la envolvente de la vivienda.

Una alternativa consiste puede considerar el aporte en Capacidad térmica que agrega el cerramiento inferior (el piso). Este cerramiento está compuesto por una platea de hormigón, con un alisado y pavimento cerámico, y por debajo de la platea una capa de balasto apisonado. Todas estas capas conforman una masa más generosa que la de los cerramientos verticales o el techo, al menos en una de las caras de la envolvente de la vivienda. Aún así, se deberían realizar ensayos o pruebas específicas para determinar si este aporte en Capacidad Térmica a la envolvente de la vivienda, resulta en una alteración positiva del comportamiento térmico, o sea en un mayor control de los flujos de calor en el tiempo.

5.2. COSTO DE CONSTRUCCION

Como se definió en el primer capítulo, la eficiencia en el uso de recursos radica en una óptima utilización de los mismos. Se busca a través de un uso racional de los recursos disponibles, alcanzar el objetivo planteado, logrando el mejor rendimiento posible. Este concepto implica el uso correcto de los recursos no solo desde el punto de vista energético, sino también desde el punto de vista económico. Este último aspecto, contempla tanto el tema del costo como el del tiempo de construcción de una edificación. Manejar estos dos aspectos de manera eficiente, implica obtener buenos resultados con el menor costo posible, y en el menor tiempo posible.

La segunda característica seleccionada como demostrativa de la eficiencia en el uso de recursos para la construcción de la vivienda, es la del costo de construcción. La contemplación de este recurso es imprescindible, ya que representa uno de los factores de producción necesarios para la construcción de una vivienda. En especial para el caso de la vivienda de carácter social, la eficiencia en el manejo de este recurso es fundamental de manera de obtener mayor productividad y así economizar los costos de construcción de la vivienda.

El indicador utilizado para realizar las comparaciones entre el sistema de entramado de madera y el sistema pesado convencional, será el costo actual del metro cuadrado de construcción en nuestro país. También se comparará el costo de mantenimiento de la vivienda construida por ambos sistemas, así como su vida útil estimada.

El valor del m² de construcción estimado para la etapa de anteproyecto se calcula a partir del costo de materiales, mano de obra y beneficio de la empresa constructora, incluyendo si se desea en el precio, el impuesto al valor agregado (I.V.A.) y el monto por Leyes Sociales referentes a la mano de obra.

Para el caso de la vivienda en estudio, el **costo del m² de construcción por sistema pesado convencional** se puede estimar, a enero de 2012, en **U\$S 1.036**. Este valor considera la construcción de una vivienda económica, bien construida, con materiales económicos y terminación regular.

Este valor fue tomado del cuadro comparativo de precios unitarios por metro cuadrado de construcción para el período de enero 2011 – enero 2012 de la publicación Costos de Componentes de Obra de Inca, edición enero 2012. El valor seleccionado corresponde al de una vivienda económica aislada. El costo del m² de construcción de una vivienda aislada se calculó, según la publicación de Inca, en base a una vivienda de dos dormitorios de 55 m² de superficie. El método de obtención del valor se hizo de acuerdo al estudio de prototipos representativos de cada tipología, seguido de un planillado de cómputos utilizando los valores que se obtienen de los Costos de Componentes de Obra. De acuerdo a esta publicación, los precios de los materiales surgen de los valores promedio de mercado. El valor de la mano de obra incorpora no solo la mano de obra directamente aplicada para ejecutar el trabajo, sino también la incidencia de capataces y serenos. El precio que se aplica a la mano de obra surge de los valores que usualmente se pagan en plaza, a partir de las categorías establecidas dentro del personal incluido en el Decreto Ley N° 14.411. El beneficio de la empresa es un porcentaje que se aplica directamente sobre el valor de los insumos y mano de obra que integra cada ítem.

Ahora se realizará el mismo análisis de costo del m² de construcción, para el caso de construcción liviana por sistema de entramado de madera.

El costo aproximado del m² de construcción mediante sistema de entramado de madera se encuentra en los U\$S 750. Este valor corresponde al precio de la vivienda terminada, realizada sin empresa. Esto significa que no se está considerando en el costo total del m² el costo del beneficio que obtendrá la empresa constructora al realizar la obra. Este valor del beneficio de la empresa se puede estimar en 11.58% del valor del m² de construcción, de acuerdo la distribución paramétrica del costo del m² de construcción (mano de obra 27.65%, materiales 40.32%, Leyes Sociales 20.45%, beneficio de la empresa 11.58%)^[14].

En realidad, la distribución de los costos de construcción de una vivienda de madera varía según el proyecto y el tipo de vivienda y difiere de la de una vivienda convencional, pero a modo de simplificación para la obtención del porcentaje correspondiente al beneficio de la empresa, se adoptan estas relaciones.

Agregando el valor de beneficio de la empresa al costo inicial de U\$S 750, se llega a un **costo total del m² de construcción de la vivienda por sistema de entramado de madera** de aproximadamente **U\$S 837**.

Este valor es menor al del m² de construcción convencional, representa casi un 20% menos. Una de las razones del menor costo de construcción del sistema de entramado de madera, es que requiere menos mano de obra en el manejo de materiales (debido fundamentalmente al menor peso de la madera con respecto a materiales como el hormigón) y para la construcción de la estructura, que en el caso de construcción húmeda convencional.

^[14] Valores obtenidos de publicación "Inca. Costos de Componentes de Obra" edición enero de 2012.

Con respecto al mantenimiento de la vivienda, se analizarán solo los aspectos referentes a los cerramientos verticales, ya que el piso y techo de la vivienda se consideraron iguales para ambos casos de utilización de sistema constructivo (liviano y pesado).

El mantenimiento que requiere la vivienda de entramado de madera es mayoritariamente necesario en el exterior de la vivienda. La madera colocada como revestimiento debe ser conservada, ya que se ve sometida a las agresiones del clima (exposición al sol, lluvias, humedad, entre otros). La regularidad con que se deben realizar las acciones de mantenimiento depende de varios factores, como el tipo de madera colocado, el tipo de barniz u otro protector utilizado, la orientación del cerramiento, la exposición o no a lluvias, entre otros. Lo esencial es protegerla del sol, por lo que la madera perteneciente a la fachada norte, es la que requiere mayor cuidado.

El mantenimiento de las fachadas de madera consiste primeramente en una limpieza del polvo que se adhiere a la madera. Esta acción es muy sencilla y se recomienda que se realice anualmente. Luego la acción principal de mantenimiento de las fachadas consiste en la aplicación de barnices, del tipo que no formen una película sobre la superficie, ya que estos no permiten respirar a la madera. Esta aplicación es muy sencilla y rápida, ya que no requiere de sucesivas capas ni de lijar la madera previamente, de modo que resulta en una acción bastante económica. Según los fabricantes de barnices, se recomienda que la aplicación se realice cada 4 o 5 años, aunque no necesariamente deba realizarse en todas las fachadas, sino solo aquellas que reciban mayor cantidad de radiación solar. Las aplicaciones posteriores a la primera, van alargando los plazos pudiendo llegar a durar desde siete a diez años.

Las fachadas de las viviendas de construcción convencional, por otro lado, presentan por lo general acabados de tipo revoques (con variedad de tipos), revestimientos (de piedra, cerámicos, etc.), ladrillo visto, o pinturas.

El mantenimiento del exterior de viviendas convencionales consiste primeramente en la revisión general, cada 5 años o menos, del estado de la fachada, observando la posible aparición de fisuras, moho, suciedad o desprendimientos del material de terminación y en caso de ser necesaria, su restauración o sustitución. Se recomienda a su vez, cada 5 años, la realización de una limpieza de la fachada mediante hidrolavado o similar, y el repintado de la superficie, o en caso de ser necesario (si la superficie se encuentra en mal estado luego de algunos años) el decapado de la pintura existente.

Los problemas que pueden presentar las fachadas de viviendas de construcción convencional, como fisuras, grietas, desprendimientos, pueden provocar consecuencias importantes a la vivienda, como por ejemplo la entrada de agua al interior de la misma. Por esto, el mantenimiento periódico de la fachada, mediante hidrolavado y repintado es fundamental. Por otro lado, la fachada de madera de la vivienda de construcción liviana, necesita simplemente del tratamiento periódico de la madera mediante barnizado, y solo en aquellos cerramientos verticales que se vean directamente afectados por la radiación solar incidente. A su vez, no se presentarán problemas de fisuras en la fachada y posible entrada de agua al interior, ya que la misma está compuesta por tablas de madera, no conformando una superficie continua como es la del caso de revoque y pintura, y donde la detención de entrada de agua está garantizada además por la separación del revestimiento de madera, de la membrana impermeable colocada al interior sobre una placa de OSB.

Con respecto al mantenimiento del interior de la vivienda, en el caso de la vivienda de construcción liviana este es prácticamente inexistente, ya que consiste básicamente en el mantenimiento de la placa de yeso que conforma el revestimiento interior de los cerramientos verticales, el cual es mínimo. Se requiere simplemente de una observación periódica de la superficie (cada 5 años aproximadamente), para corroborar que no aparezcan fisuras o suciedades y siempre contemplar que no se claven elementos pesados a la placa de yeso, ya que esta tiene poco espesor y puede provocar que se rompa o agriete.

La posibilidad de aparición de hongos en el yeso es muy baja, debido a que a pesar de que se genere vapor dentro de un ambiente, ya sea por mala ventilación o por presencia de elementos que generen mucho vapor de agua, es difícil que este condense en contacto con la superficie del yeso. Esto sucede gracias a la colocación de dos membranas, una permeable y la otra impermeable al vapor, y la combinación de la placa de yeso, más el aislante térmico, lo cual hace que el yeso se encuentre aislado de las temperaturas exteriores, manteniéndose a una temperatura similar a la del ambiente, evitando que se pueda producir una condensación de vapor de agua en la superficie del yeso.

La limpieza de la placa de yeso consiste simplemente en pasar un trapo sobre la superficie, el cual no debe estar húmedo sino seco, ya que la placa no debe estar nunca en contacto con agua (a menos que se trate de placa verde o similar, cuya composición la hace apta para el contacto con el agua, para su colocación en baños, cocinas y al exterior). La superficie se deberá repintar cuando se observen marcas, roces o deterioro de la pintura.

En el caso del interior de una vivienda convencional, las superficies de los muros son por lo general terminadas con revoque y pintura. El mantenimiento que estas requieren

consiste en revisar periódicamente las superficies, para detectar la presencia de suciedades, fisuras y grietas, al igual que en la fachada exterior, pero especialmente para detectar la presencia de hongos, los cuales aparecen generalmente al interior de la vivienda, debido a la condensación de vapor de agua generada en ambientes poco ventilados. Los fabricantes de pinturas para interior recomiendan que se realice un repintado de las superficies cada 5 años aproximadamente, siempre verificando que el pintado se realice sobre una superficie en buenas condiciones, de lo contrario se necesitará reparar la superficie antes de proceder a repintar.

El mantenimiento interior de los cerramientos verticales es en ambos casos (sistema liviano y sistema pesado) bastante sencillo y similar, complejizándose en el caso de una aparición de hongos en las superficies interiores de muros pesados.

Con respecto a la vida útil esperada de la vivienda, se compararán los valores estimados para la vivienda construida por ambos sistemas, liviano y pesado.

El concepto de vida útil de una edificación se puede definir, según la ASTM (American Society for Testing and Materials) como el período de tiempo después de la construcción durante el cual todas las propiedades esenciales alcanzan o superan el valor mínimo aceptable con un mantenimiento rutinario. La vida útil esperada de una edificación es el período de tiempo que se estima o supone como vida útil de dicha edificación.

La vida útil estimada de una vivienda de tipo de interés social, construida mediante un sistema convencional, con estructura de hormigón armado, cerramientos verticales de mampostería y techo liviano de chapa, es de entre 50 a 70 años (con la consideración del mantenimiento y sustitución de los elementos con menor vida útil, como ser por ejemplo la

sustitución del techo de chapa cada 10 años aproximadamente). Este valor es elevado y se debe principalmente a la gran durabilidad de los elementos “pesados”: la estructura de hormigón y los muros de ladrillo, los cuales soportan los ataques del medio exterior. Los elementos que disminuirán la vida útil de la vivienda (instalaciones, techo, carpintería, entre otros) serán los que necesiten de mayor mantenimiento regular, de manera de no acortar demasiado la vida útil de la vivienda.

Con respecto a la vivienda construida por sistema de entramado de madera, la vida útil estimada es la misma que para una vivienda convencional, siempre que cumpla con un correcto uso, que se realicen las acciones de mantenimiento adecuadas y que la vivienda cuente con un buen diseño de proyecto y una adecuada construcción. Esto implica que el proyecto se haya confeccionado de acuerdo a los requerimientos que presenta el sistema de entramado y que se consideren y resuelvan detalles, encuentros, terminaciones y requerimientos específicos de la madera para su utilización, ya que la misma no solo se utiliza como terminación exterior sino que su importancia radica en su función estructural.

La consideración de estos requerimientos, es lo que se denomina Protección por Diseño, lo cual implica la protección de la madera ante la humedad y los hongos, ya que se trata de un material higroscópico y poroso con gran capacidad de absorción de agua (líquida o en forma de vapor).

Las principales causas de humedecimiento de la madera en la construcción se dan por acción capilar, por condensación y por el agua de lluvia, pudiendo provocar consecuencias, cuando la humedad no puede salir hacia el exterior, como la alteración de sus propiedades mecánicas, dilataciones, disminución de su capacidad térmica, mayor rapidez en la transmisión del calor, y aumento de su vulnerabilidad a ataques

biológicos^[15]. Es por esto que es muy importante ya en la etapa de proyecto, la contemplación de estos riesgos, a través de un correcto diseño de los cerramientos (terminaciones, encuentros, detalles, selección del material, su espesor y su orden con respecto a otra capa dentro del cerramiento, etc.) y de la correcta elección de los productos que se aplicarán como protectores de la madera (deben distinguirse entre los que se pueden utilizar al interior de la vivienda de los que se deben utilizar para la madera al exterior). Otro de los aspectos fundamentales que deben considerarse, es el control de la madera cuando esta llega a la obra, ya que la madera debe estar clasificada de acuerdo a su calidad, su contenido de humedad y su protección, de manera de separar la madera de que cumplirá una función estructural del resto de las maderas que se utilicen en la obra.

La consideración de todos estos aspectos, tanto a nivel de proyecto como durante la construcción, permite, junto con un correcto uso y un adecuado mantenimiento, lograr una vida útil estimada de la vivienda de entramado de madera similar a la de una vivienda construida con materiales pesados.

[15] Información obtenida de publicación Cubiertas de Tejas con Estructura de Madera. Instituto de la Construcción. Farq. UdelaR. Autores: María Calone, Carlos Meyer, Susana Torán.

5.3. TIEMPO DE CONSTRUCCION

El tiempo en que tarda en construirse una edificación, es un aspecto no menor en lo referente a manejar de forma eficiente los recursos con que se cuenta. El tiempo de construcción va de la mano del costo de la construcción, ya que optimizar en el tiempo significa disminuir el costo total de la obra. Por esto, la última característica seleccionada como demostrativa de la eficiencia en el uso de recursos para la construcción de la vivienda, es la del tiempo promedio de construcción, cuyo indicador será la cantidad de días aproximados de duración de la construcción de la vivienda modelo según ambos sistemas, liviano y pesado.

La construcción de una vivienda de entramado de madera, se realiza por lo general en equipos de 5 personas cada uno, trabajando de forma sucesiva, los cuales se van encargando de distintas etapas de la obra. Este sistema de trabajo, permite que se pueda ir realizando más de una construcción a la vez, en donde las viviendas se encontrarán en etapas diferentes entre sí.

Para la construcción de la vivienda en estudio de **entramado de madera**, se estima que el tiempo de duración de la obra es de alrededor de **40 días** (5 y ½ semanas aproximadamente).

La primer parte de la obra (implantación, replanteo, nivelación del terreno), junto con la construcción de la platea de hormigón (ejecución de sanitaria, armado y llenado de la platea), y la elevación de la estructura de entramado de madera de todos los cerramientos verticales (replanteo de muros, montaje de pies derechos, soleras, jambas y cortafuegos), se estima requiere una semana y media de trabajo, con un equipo de 4 o 5 personas.

Las siguiente semana se dedica a la ejecución de la estructura de madera del techo (montaje de vigas y correas, conformación de la pendiente del techo), el montaje del techo de chapa, la colocación del revestimiento exterior de madera y la colocación de los marcos de madera.

Las siguientes dos semanas, se conforma otro equipo de trabajadores que se encargan de la parte más bien “húmeda” de la obra: se dedican a las instalaciones sanitaria y eléctrica, la colocación de terminaciones interiores (placa de yeso y revestimiento del baño y cocina), la colocación del pavimento cerámico y de la carpintería tanto de muebles como de aberturas.

La última semana corresponde a la etapa de pintura, la cual la realizan 4 personas aproximadamente, de las superficies interiores (placa de yeso) y exteriores (barnizado de la madera de revestimiento exterior) y a la culminación de los trabajos de instalación sanitaria y eléctrica. Además se realizan detalles de terminaciones, y limpieza de la obra.

A continuación se analiza el caso de la vivienda en estudio, construida por **sistema convencional “pesado”** de hormigón armado y mampostería.

El tiempo estimado de construcción de dicha vivienda es de **60** días aproximadamente (8 y ½ semanas).

Las primeras tres semanas se dedican a la implantación, nivelación del terreno, replanteo y construcción de la platea de hormigón, junto con el armado de todo el encofrado, colocación de armaduras y llenado de vigas y pilares.

Las siguientes dos semanas consisten en el levantado de muros exteriores e interiores de mampostería, la colocación del techo de chapa y de los marcos.

Luego se procede en las 2 semanas y media siguientes aproximadamente, a realizar la instalación sanitaria y eléctrica, a revocar los muros, revestir en baño y cocina, colocar el pavimento cerámico y la carpintería de muebles y aberturas.

La última semana se dedica a la pintura de todas las superficies revocadas, interiores y exteriores, a la culminación de las instalaciones de sanitaria y eléctrica, a la ejecución de detalles y limpieza de obra.

Se puede observar como la construcción de la vivienda mediante sistema de entramado se realiza en menos días que mediante el sistema de construcción convencional o “pesado”.

Esto se debe principalmente al que las tareas de elevación de la estructura, requieren de mucho menos tiempo en el caso de estructura liviana (montaje de piezas aserradas de maderas) que en comparación con la estructura de hormigón, la cual requiere un proceso complejo de armado de encofrado, doblado de los hierros, posicionado de la armadura, llenado y secado del hormigón. Además, los materiales que se utilizan para la estructura liviana (pies derechos, montantes, soleras y cortafuegos) llegan a la obra ya aserrados y tratados (se pueden obtener en estas condiciones en un aserradero) por lo que solo es necesaria su colocación y clavado de piezas para conformar los cerramientos verticales, sin necesidad de esperas para la unión de piezas entre sí y para la colocación de la terminación del cerramiento. Otra consideración importante, es que como la madera tiene menor peso específico que el hormigón, se necesita menos mano de obra y menos cantidad de equipos auxiliares para manejar los materiales y levantar la estructura, lo cual se traduce en una construcción más rápida y económica.

A su vez, la construcción de la vivienda de entramado de madera permite trabajar en equipos especializados que realizan los trabajos de forma sucesiva, pudiéndose llevar a

adelante más de una construcción de vivienda a la vez, optimizando así los rendimientos de mano de obra, lo cual se logra gracias a una planificación detallada de cómo debe ser todo el proceso constructivo y del armado de dichos equipos de trabajo.

Todo esto demuestra cómo el manejo del tiempo de construcción en los sistemas de entramado de madera funciona de manera eficiente, logrando que la duración de la obra sea bastante corta.

6. CONCLUSIÓN

A través de estudios existentes sobre la madera y de las comparaciones realizadas entre los sistemas constructivos liviano y pesado, se pueden extraer algunas conclusiones referentes a la eficiencia en el uso de los recursos que presenta el sistema constructivo de entramado de madera.

De acuerdo a la bibliografía consultada referente al tema de la utilización de la madera como material de construcción, se destaca el hecho de que se trata de un material que constituye un recurso renovable y altamente aprovechable, para cuya producción se emplea una cantidad de energía significativamente menor a la que se requiere para la producción de los principales materiales de construcción como el acero y el hormigón. Estos datos, reafirmados por la gran mayoría de la bibliografía que trata el tema, demuestran que la madera involucra un **manejo eficiente** del recurso que ella misma representa **como material de construcción**.

Además de su participación como material de construcción, la eficiencia se busca en la utilización de este gran material en la conformación de la estructura y los cerramientos de la vivienda.

La eficiencia en la construcción, implica el manejo adecuado de los recursos existentes (capital, tiempo, materiales, mano de obra, energía), con el menor consumo posible de estos, de manera de lograr óptimas condiciones de habitabilidad de la edificación. Al analizar el sistema de entramado de madera, se evaluó que el manejo de los recursos energía, costo y tiempo, se realice de forma eficiente, para así tildar este sistema constructivo de eficiente tanto energética como económicamente.

A través de las comparaciones en lo referente a costos y tiempos de construcción, el sistema de entramado de madera demostró representar una alternativa muy ventajosa frente a los sistemas de construcciones pesados o convencionales de hormigón y mampostería en nuestro país, debido a los bajos costos y la breve duración de obra que involucra este sistema. Estos aspectos son fundamentales en lo referente a la construcción de viviendas de carácter social, ya que es necesario hacer hincapié en la posibilidad de abaratar costos de inversión y mantenimiento y en la rapidez de construcción de la vivienda. Mediante las comparaciones realizadas sobre el costo del m² de construcción, mantenimiento requerido, vida útil y tiempo de construcción, se puede concluir que el sistema de entramado de madera se puede **evaluar de forma positiva en lo referente a su eficiencia desde el punto de vista económico.**

La evaluación sobre su eficiencia desde el punto de vista energético, no es tan clara como la económica. De acuerdo al análisis realizado sobre el comportamiento térmico de los cerramientos verticales de entramado de madera, el sistema presenta altos valores de aislación térmica, pero **no se comporta de manera óptima en lo referente a la utilización de su Inercia Térmica**, característica de suma importancia para el clima de nuestro país, el cual se caracteriza por problemas de frío y de calor, junto con valores medios de Amplitud térmica.

La eficiencia del sistema constructivo radica en la consideración de estos problemas, y su respuesta mediante estrategias de diseño o estrategias pasivas, una de las cuales es la utilización de la Inercia Térmica de los cerramientos de la vivienda. El aprovechamiento de la Inercia Térmica (masa térmica + aislamiento térmico), combina el trabajo de los dos parámetros que la engloban (Capacidad Térmica y Resistencia o su inverso la

Transmitancia Térmica), por lo que una evaluación positiva de la eficiencia energética del sistema constructivo implica un comportamiento óptimo de ambos parámetros.

El sistema de entramado de madera analizado presentó muy buenos valores de Resistencia Térmica, pero valores bajos de Capacidad Térmica, lo cual se debe fundamentalmente a su poca “masa”. Esto hace que, a pesar de ser un buen aislante, no logra combinar el trabajo de los dos parámetros: masa térmica + aislamiento térmico.

Esta “falla” en la optimización de la Inercia Térmica del cerramiento vertical de entramado de madera, es lo que debe impulsar a que se realicen más investigaciones, pruebas, ensayos, de manera de encontrar soluciones o alternativas que puedan incrementar los valores de Capacidad Térmica de los sistemas livianos, para lograr un comportamiento térmico eficiente de los mismos. La necesidad de continuar investigando se debe no solamente a que se deberían aprovechar las grandes cualidades que presenta la madera como material de construcción y las ventajas del sistema de entramado en aspectos económicos, sino porque además, los sistemas de construcción livianos se están utilizando cada vez más en nuestro país como alternativa a los sistemas “pesados” o convencionales. Esto hace que amerite la realización de más estudios, de manera de poder asegurar la **eficiencia energética** de los sistemas de entramado de madera, y de los sistemas livianos en general.

7. BIBLIOGRAFIA

LIBROS:

- ALONSO, N.; CALONE M.; CAMPOLEONI, M.; RECALDE S.; RODRÍGUEZ M.; TORÁN, S. Evaluación de tecnologías para la vivienda social. El caso de Cerro Pelado en Maldonado. 6 as Jornadas de Investigación en Arquitectura. Farq. UdelaR. Montevideo, Octubre de 2007.
- CALONE, María; MEYER, Carlos; TORÁN, Susana. Cubiertas de Tejas con Estructura de Madera. Instituto de la Construcción, Farq. UdelaR. Montevideo, 2008.
- ELDER A.J.; HODGKINSON, Allan; PUGH, Brian; O'BRIAN, Turlogh. Construcción. Manuales AJ. Editado por A.J. Elder y Maritz Vandenberg. H. Blume Ediciones.
- HUGUES, Theodor; STEIGER, Ludwig; WEBER, Johann. Construcción con Madera. Detalles – Productos – Ejemplos. Detail Praxis. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 2007.
- LAVIGNE, Pierre; BREJON, Paul; FERNÁNDEZ, Pierre. Arquitectura Climática. Una contribución al desarrollo sustentable. Tomo 2: Conceptos y dispositivos. Editorial Universidad de Talca. Talca, Noviembre de 2003.
- PICCION, A.; CAMACHO, M.; CHEIRASCO, G.; LOPEZ, M.; MILICUA, S. Evaluación del desempeño térmico de estrategias de diseño bioclimáticas aplicadas en un prototipo liviano para la situación climática de Uruguay. 6^{as} Jornadas de Investigación en Arquitectura. Farq. UdelaR. Montevideo, Octubre de 2007.

- PICCION, A.; CAMACHO, M.; CHEIRASCO, G.; LOPEZ, M.; MILICUA, S.
Pautas de diseño bioclimático para optimizar sus condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial. 6^{as} Jornadas de Investigación en Arquitectura. Farq. UdelaR. Montevideo, Octubre de 2007.
- RIVERO, Roberto. Arquitectura y Clima. Acondicionamiento Térmico Natural. Farq. UdelaR.
- UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO, CHILE. Construcción en Madera.

ARTÍCULOS:

- BARRIOS, Eric; CONTRERAS Wilver; OWEN Mary. “Repercusiones Energéticas y Económicas del Uso de la Madera como Elemento Constructivo para Viviendas de Interés Social en Venezuela”. 2006. Rev. For. Lat. N° 40
 - BELTRÁN DEL CORRAL, Joaquín. “Eficiencia energética de viviendas en madera”. AITIM. En: *Construcciones en Madera*. Julio – Agosto de 1997. Boletín de Información Técnica N° 188.
 - DÁVALOS SOTELO, Raymundo. “Importancia ecológico-económica del aprovechamiento de los bosques”. En: *Madera y Bosques*, vol. 2 núm. 002.
 - GONZÁLEZ MORA, Ronny. “Vida Útil Ponderada de Edificaciones”. Director: David Sánchez. Maestría. [Tesis]. Universidad Estatal a distancia de Costa Rica. Escuela de Ciencias Exactas y Naturales. San José, Setiembre, 2005.
 - MURILLO, Sandra. “Construir con Madera. Alternativa para resolver necesidades habitacionales”. IDEADE – Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo.
 - PELAGALLO, Alberto. “Sistemas Constructivos de Casas de Madera”.
 - SÁNCHEZ ACOSTA, Martín. “Curso Cubiertas con Estructura de Madera”.
- Material revisado por el INTA Concordia, Entre Ríos.

OTROS:

- *Costos de Componentes de Obra*. Edición Enero de 2012. Inca.
- Estándares Mínimos de Desempeño y Requisitos para la Vivienda de Interés Social. DINA VI. Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.
- Fichas de Cátedra de Acondicionamiento Térmico. Farq. UdelaR.
- Libro de Mantenimiento del Usuario de la Vivienda. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid.
- Memoria Constructiva General para Edificios Públicos. Edición 2006. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Dirección Nacional de Arquitectura.

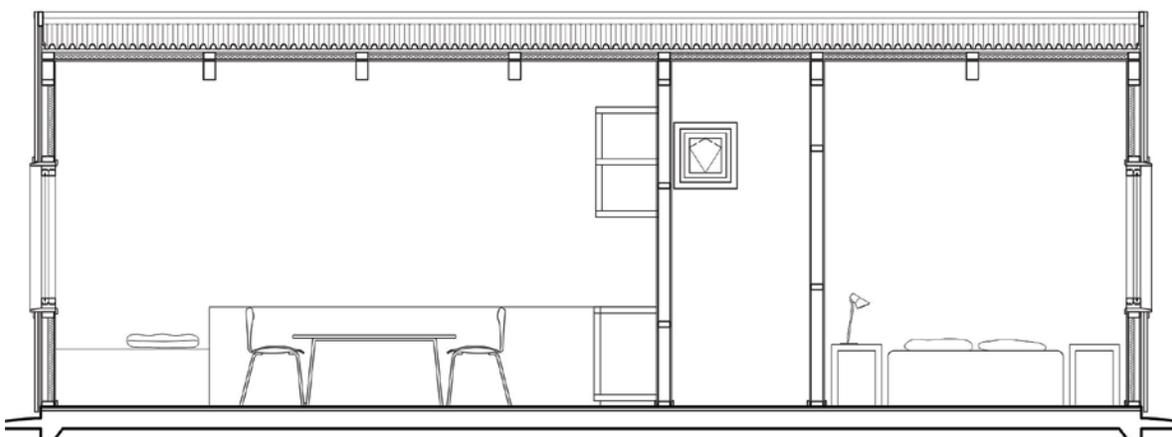
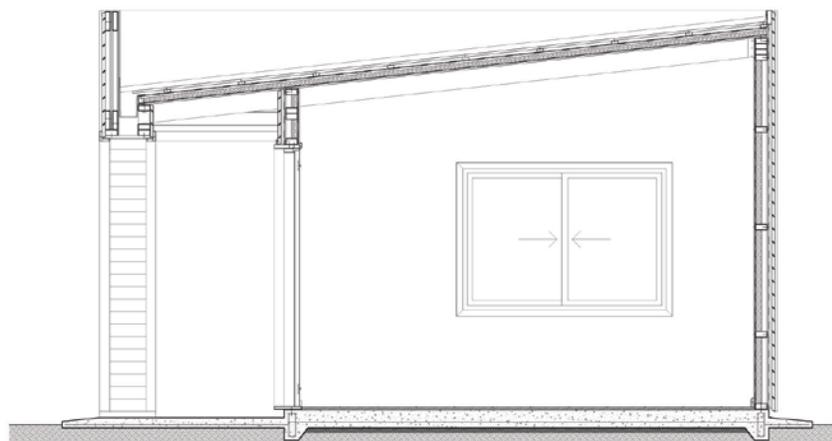
SITIOS WEB:

- www.montevideo.gub.uy
- www.rae.es
- www.oxipal.com
- <http://www.chaletmadera.com/aspectos-de-interes.htm#7>
- http://issuu.com/profesionalsanitario/docs/manual_de_construccion_en_madera
- <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>
- <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=22>

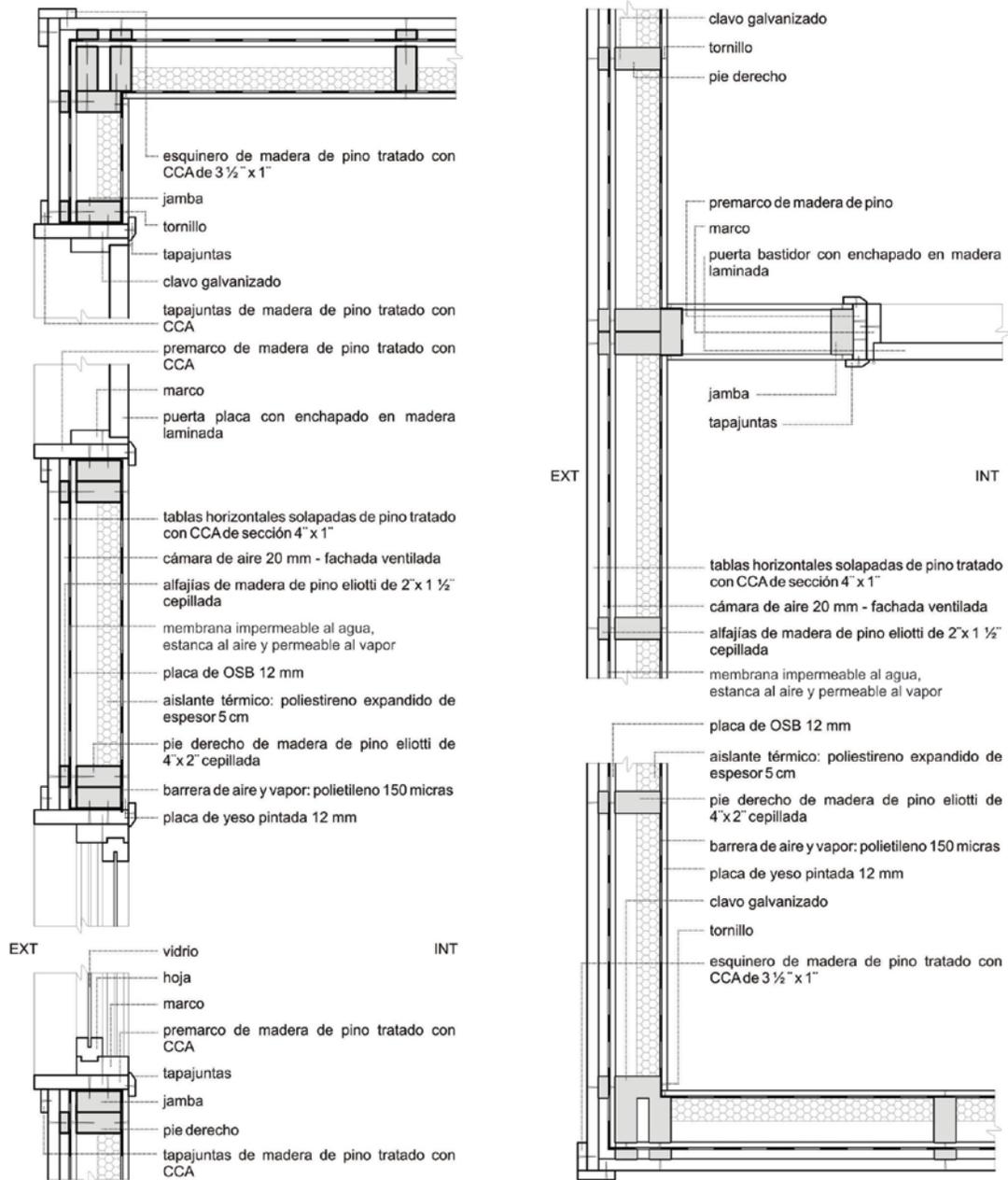
fachada



cortes

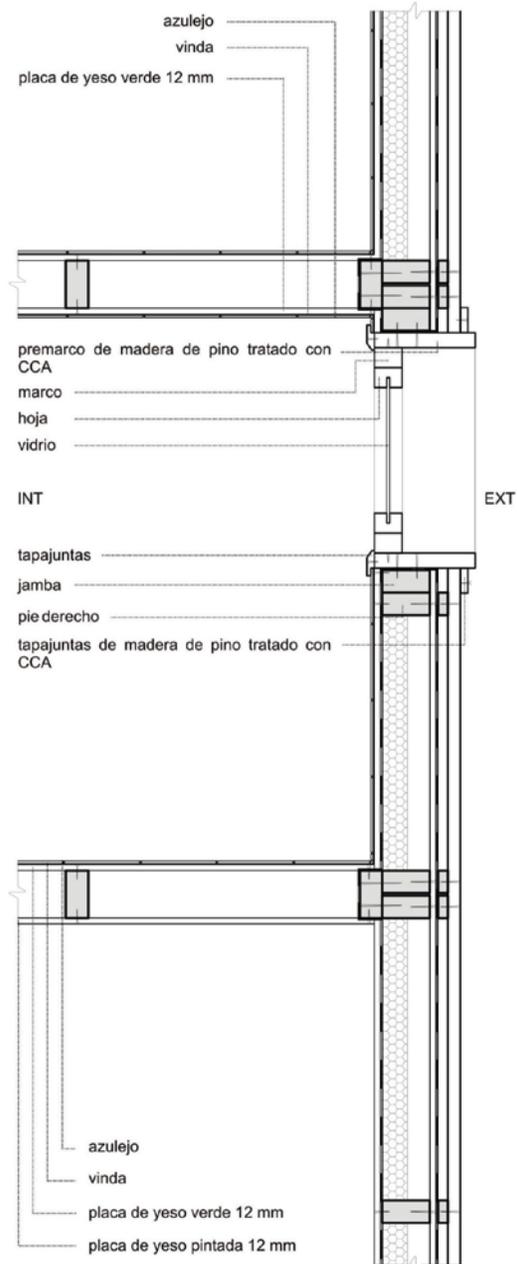


detalles cerramiento vertical interior-exterior - planta

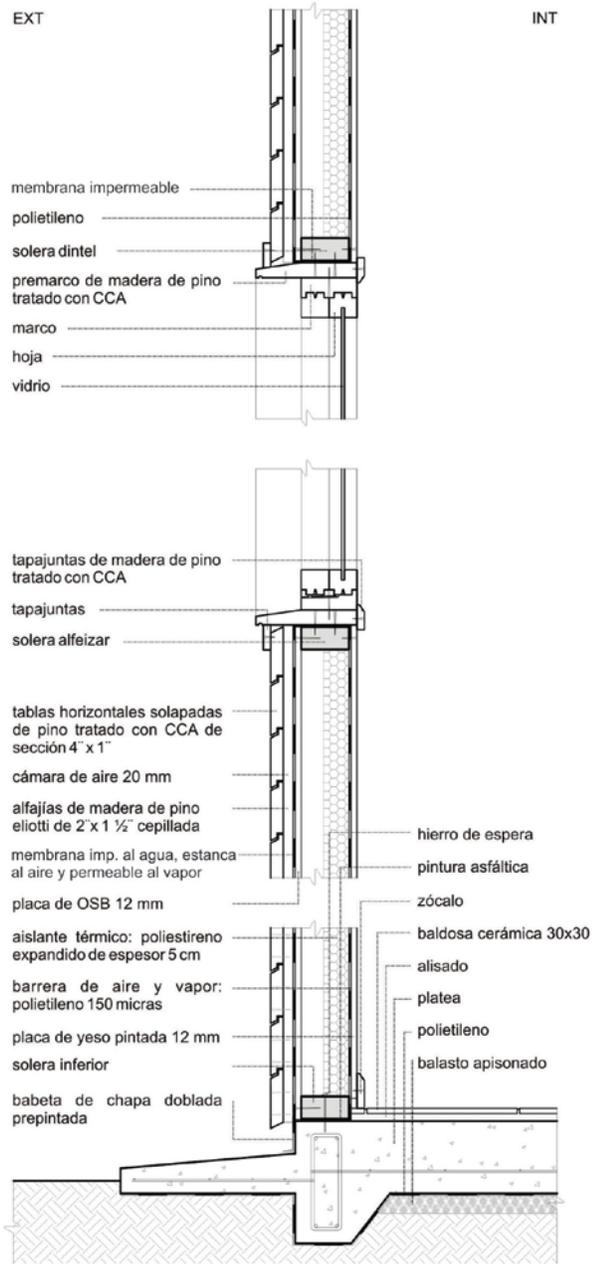


detalles cerramiento vertical interior-exterior

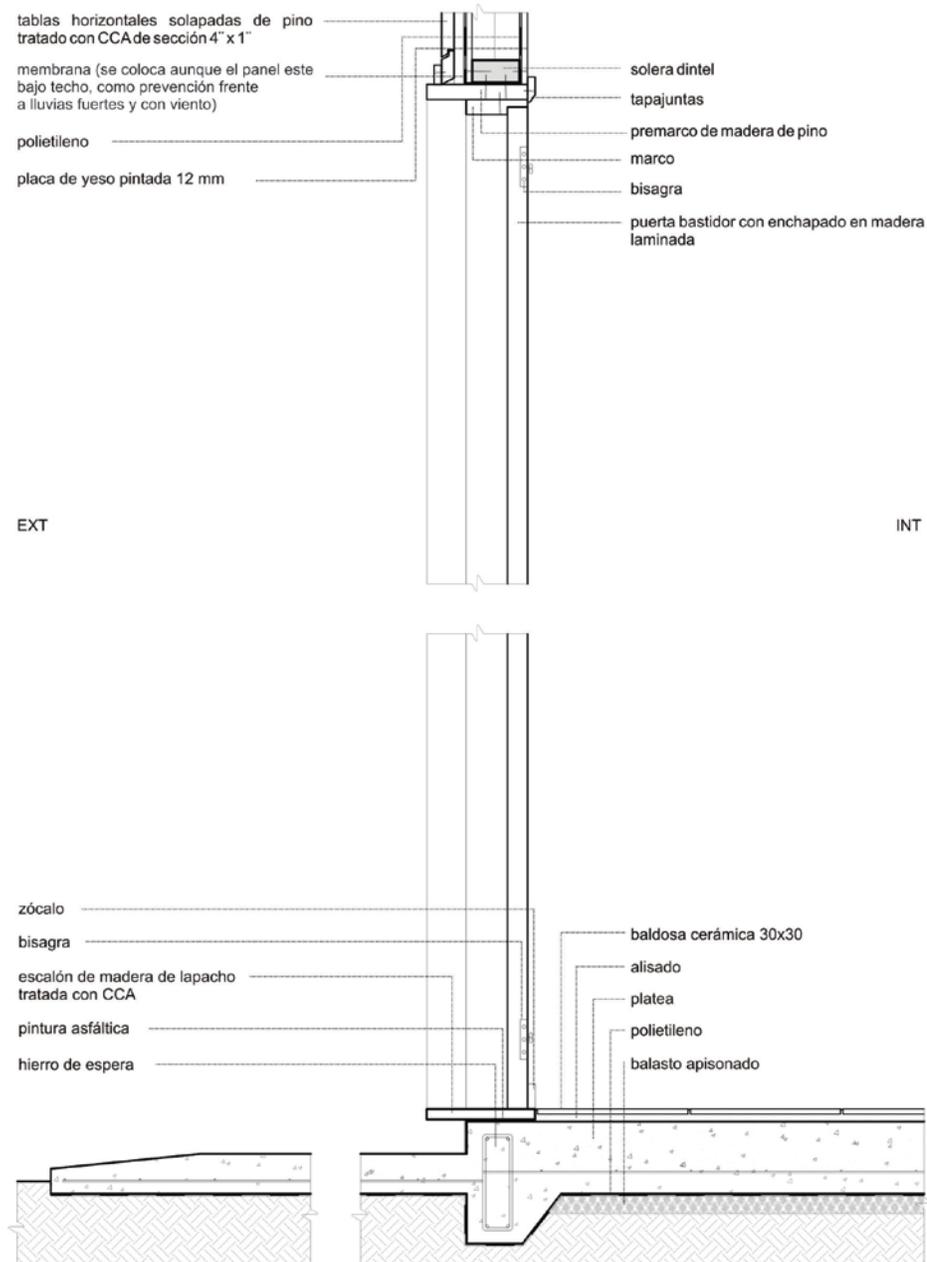
detalle - planta



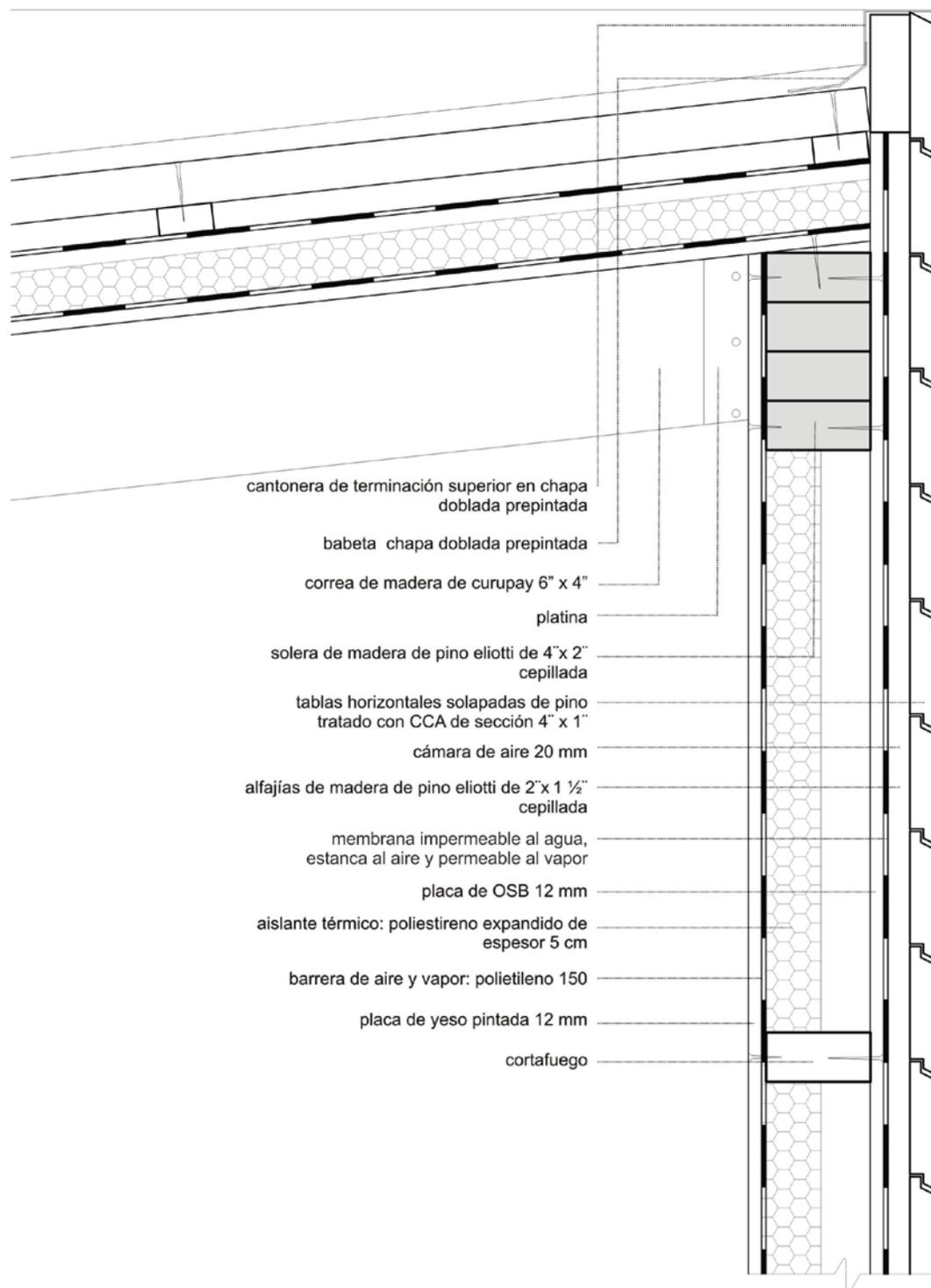
detalle - corte



detalles cerramiento vertical interior-externo - corte



detalles encuentro cerramiento vertical con techo - corte



detalles encuentro cerramiento vertical con techo - corte

