

Prefabricación con madera en Uruguay:
una alternativa posible

Prefabricación con madera en Uruguay: una alternativa posible

Tesina curso opcional Construcción con Madera
Facultad de Arquitectura
Universidad de la República
2014

Autores

Pompilio Eduardo Ferrando
Germán García da Rosa

Docentes tutores

Arq. María Calone
Bach. Susana Toran

Índice

| | |
|--|---------|
| 0. -Prólogo | Pág. 07 |
| 1. -Introducción | Pág. 08 |
| 2. -Casas prefabricadas con madera: una técnica con tradición | Pág. 10 |
| 2.1- La prefabricación | |
| 2.2- primeras experiencias históricas de prefabricación con madera | |
| 2.3- La prefabricación en la 2 ^{da} posguerra | |
| 2.4- El contexto actual | |
| 3. -El prototipo | Pág. 18 |
| 3.1- El proyecto | Pág. 22 |
| 3.2- Memoria constructiva | Pág. 24 |
| 3.2.1- El sistema constructivo | |
| 3.2.2- Memoria técnica | Pág. 26 |
| 3.2.3- Recaudos gráficos | Pág. 30 |
| 3.2.4- Estructura | Pág. 44 |
| 3.2.5- Materiales | Pág. 52 |
| 3.3- Comportamiento térmico | Pág. 56 |
| 3.4- Proceso de fabricación | Pág. 58 |
| 3.5- Proceso de montaje | Pág. 62 |
| 4. Viabilidad económica | Pág. 68 |
| 4.1- Metrajes y rubrado | |
| 4.2- Evaluación de costos | Pág. 77 |
| 5. Conclusiones | Pág. 78 |
| 6. Bibliografía | Pág. 81 |

0. Prólogo

El presente trabajo se enmarca dentro del plan de estudios vigente como tesina relativa al curso opcional “Construcción en madera”. El contenido del trabajo profundiza en las temáticas tratadas en el curso y refleja al mismo tiempo la inquietud de sus autores respecto a la disciplina tratada.

La presente tesina es a la vez un trabajo de investigación y un trabajo propositivo, pretende aportar una nueva visión del panorama actual en lo que se refiere a la construcción con madera. En el transcurso del trabajo se retoman aspectos tratados en el curso y de ésta manera formular un material que aporte conocimientos al saber general que se tiene en lo referente a la construcción con madera en nuestra facultad.

A su vez la temática tratada surge como una respuesta a un contexto local donde la madera, como material constructivo se encuentra relegada a un plano secundario dentro de lo que es el panorama constructivo actual en el país.

Son varios y de diversa índole los factores que han generado ésta situación. Uno de ellos podría definirse como de índole cultural, al existir cierta reticencia popular a considerar la madera como un material duradero. Esto puede deberse a malas experiencias realizadas en el medio a la vez que existe también el concepto popular de que la madera es un material pobre en lo que se refiere a sus características constructivas, sobre todo en el mantenimiento que requiere.

También el desarrollo forestal en el país podría considerarse un arma de doble filo en lo que respecta al desarrollo de la construcción con madera. Siendo que la madera producida es principalmente para la industria papelera (pasta de celulosa) , esto ha acelerado la produc-

ción de árboles, en la mayor parte de las plantaciones forestales se prioriza el crecimiento de árboles cuyas cualidades muchas veces no se adaptan a los requerimientos de utilización de esa madera en la construcción.

Por otro lado el desarrollo de la industria papelera impacta en cierta medida en el mercado maderero, al aumentar la demanda y como consecuencia su precio.

Esto ha contribuido a generar el sentimiento popular de que la madera es un material costoso para la construcción, lo cual sumado a lo anteriormente mencionado, deja en una muy mala posición a la madera y sus técnicas constructivas respecto a otros materiales y técnicas que están más instaurados popularmente y por lo tanto denominados como construcción tradicional.

Es así que surgen los motivos para elaborar el presente trabajo.

De esta manera en la presente tesina se propone el desafío de afrontar una opción constructiva con madera que supere estos aspectos, tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista económico enfrentándose al problema del “como hacerlo” y también al problema del “cuanto cuesta” hacerlo.

1. Introducción

Durante el curso de construcción en madera hemos visto ejemplos de otros países donde la construcción de viviendas sigue lógicas totalmente distintas a lo que acostumbramos ver en el ámbito local. Estos ejemplos son casi todos de países escandinavos y utilizan la madera como principal recurso. Lo más interesante de estos ejemplos, es que gran parte del proceso constructivo o de producción se realizaba en una planta industrial.

De ahí surge nuestra principal interrogante y el principal motivo para desarrollar el presente trabajo: es posible desarrollar algo así en nuestro país?

Este trabajo indaga la posibilidad del desarrollo de una opción de sistema prefabricado de construcción con madera que sea apropiado para nuestra realidad local. Las condiciones consideradas como parte del medio local comprenden la inserción de este sistema en el mercado inmobiliario actual como una opción que resulte atractiva desde el punto de vista constructivo y económico, pero sin descuidar el confort del usuario ni el diseño.

Consideramos que actualmente el ámbito de la construcción local sigue sin ofrecer mayores opciones en lo que respecta al desarrollo de viviendas unifamiliares pese a la introducción de materiales innovadores y sistemas racionalizados que son parte de las novedades que han surgido en los últimos años. A la hora de la edificación de vivienda unifamiliar el abanico técnico-constructivo está encabezado por las tecnologías que comúnmente denominamos como construcción tradicional, es decir la obra húmeda de mampostería y hormigón.

A pesar del desarrollo forestal que se viene dando en el país desde

hace ya algunas décadas llama la atención que no se haya incorporado a la construcción el uso de la madera de una forma más extendida.

Tal vez una posible explicación a esta situación se debe a que nuestro país carece de una tradición constructiva con madera, principalmente como consecuencia de que la flora autóctona se caracteriza por árboles de poco porte y lento crecimiento. Esto se traduce entonces en poca disponibilidad de materia prima y maderas de mala calidad para ser aserradas en piezas que pudieran utilizarse con fines estructurales.

Sin embargo la introducción de especies extranjeras, como el pino en el siglo XIX ha modificado las características del paisaje local de la mano del desarrollo forestal y de un clima que posibilita el rápido crecimiento de especies de porte medio y maderas semi-duras como el eucalipto. Estas especies se han comportado incluso mejor en nuestro país que en sus regiones originales. La ley forestal de 1987 a su vez dio amparo a las plantaciones con fines industriales lo cual favoreció la producción de un volumen considerable de madera.

Recientemente las nuevas técnicas que se han denominado como tecnologías alternativas a la construcción tradicional, tienen su mayor característica innovadora en lo que respecta a la racionalización del proceso de construcción, sobre todo mediante la industrialización de componentes. Como sistema novedoso y en amplio desarrollo podríamos mencionar el steel-frame. Sin embargo, aún una parte importante del proceso de la obra se realiza *in situ* y además son pocas las experiencias de producción nacional, siendo que gran parte de los componentes que se comercializan en el mercado consisten en ma-

teriales importados. Otro aspecto negativo de estos sistemas, surge al evaluar el impacto ambiental que significa la producción de estos componentes los cuales generan una importante huella de carbono en su producción debido a la gran cantidad de energía necesaria en el proceso industrial y también en el transporte desde los países productores.

Además de lo anterior, en el proceso de reducir costos, muchas veces quedan en un grado menor de prioridad otros aspectos en lo que refiere a la calidad constructiva, la durabilidad y la versatilidad de los diseños. Por lo tanto muchas veces estas tecnologías novedosas no logran ser aceptadas por los usuarios en el medio local, lo cual en un mercado pequeño como el nuestro resulta en que las iniciativas no prosperen.

Por otro lado las experiencias con madera prefabricada en el país no han resultado del todo positivas y por lo tanto no han tenido buena aceptación sobre todo debido a la baja calidad de las casas que se importaron en los años 80 desde Brasil. Cabe considerar que en este caso el gran problema es que no eran aptas para nuestro clima frío y húmedo. En su mayoría fueron empleadas con fines turísticos o casas de balneario a pesar de los incentivos del BHU para construcción de vivienda de interés social con esta técnica.

Por estos motivos es que nuestra inquietud que se plasma en este trabajo consiste en desarrollar un sistema que utilice la madera como principal material constructivo y que a la vez atienda a las condiciones del mercado local.

Para poder verificar nuestra premisa primero abordaremos la temática de la prefabricación y la manera en que a través de la historia se ha relacionado con la madera, sobre todo en el siglo XX.

Como siguiente paso, sobre la base de las experiencias analizadas en el primer capítulo, es que se propone un prototipo, el cual será desarrollado hasta un nivel de análisis equiparable al de un proyecto ejecutivo. El prototipo propuesto consiste en una vivienda unifamiliar de 57.50m². En el desarrollo del proyecto se ha considerado especialmente que la mayor parte del mismo sea realizado *ex situ* considerando que los procesos de producción puedan ser industrializados y que el montaje del mismo pueda ser efectuado en poco tiempo y sin la necesidad de herramientas específicas. La propuesta entonces consiste en una vivienda kit, es decir pronta para su armado.

Esto plantea un gran desafío ya que los componentes de la vivienda y los detalles de sus uniones han sido especialmente diseñados para que sea posible lo anterior. Otros aspectos condicionantes han sido el transporte de la casa desarmada y la calidad de los cerramientos para que se comporten adecuadamente desde el punto de vista higrotérmico.

A modo de conclusión el último capítulo de la tesina consiste en el metraje y presupuestación del prototipo mencionado de modo de establecer un valor económico objetivo que permita establecer comparaciones en términos concretos.

2. Casas prefabricadas con madera: una técnica con tradición

2.1 La prefabricación

La prefabricación es una técnica que ha estado presente en la humanidad desde mucho tiempo antes de la revolución industrial. A partir del siglo XIX se extendió y popularizó como manera de producir en masa productos, simplificar y optimizar procesos productivos de la mano de conceptos innovadores para la época como la estandarización de componentes.

El concepto de prefabricación puede resumirse como la práctica de montar en un sitio piezas elaboradas anteriormente en otro lugar, esto lo distingue del proceso de construcción convencional de transporte de materiales a la obra para ser utilizados en la elaboración, es decir la producción *in situ*. La prefabricación presenta varias ventajas en comparación con la elaboración *in situ* como la posibilidad de racionalizar recursos en una fábrica y sobre todo en lo que respecta a la construcción poder evitar las inclemencias climáticas que muchas veces interfieren con los cronogramas establecidos. Una buena manera de establecer el grado de prefabricación en una obra, consiste en evaluar la cantidad de residuos generados ya que al ser un sistema diseñado racionalmente podríamos establecer que cuanto menos desperdicios mayor cantidad de elementos prefabricados en obra.

2.2 Primeras experiencias de prefabricación con madera: el sistema americano (balloon)

La madera comienza a tener relación con la prefabricación a mediados del siglo XVIII en los Estados Unidos. El crecimiento del país en la etapa de la expansión hacia el oeste requería de nuevas construccio-

nes generalmente en lugares inhóspitos del territorio donde el principal material disponible era la madera. El desarrollo de este sistema constructivo podría situarse en la ciudad de Chicago alrededor del año 1830. El sistema americano o balloon surge entonces como una adaptación de los métodos constructivos utilizados en las viviendas de madera que se hacían en Europa a los medios disponibles en norteamérica, donde existía abundancia de madera y por el contrario había escasez de carpinteros y mano de obra calificada. El sistema se caracteriza por sustituir las vigas y pilares de madera por elementos estructurales más manejables y livianos que eran producidos todos con las mismas dimensiones. La utilización de piezas estructurales más livianas permitió sustituir juntas de carpintería complicadas por piezas rectangulares que generalmente eran de 1" x 2" y se unían clavándolas entre sí. Esto simplificaba significativamente el proceso de construcción ya que no eran necesarias herramientas específicas y sobre todo la mano de obra podía ser no calificada.

2.3 Prefabricación en la 2^{da} posguerra

En los años posteriores a la segunda guerra mundial se vivieron dos fenómenos donde la prefabricación cumplió un rol decisivo. Por un lado la situación en Europa era caótica en los años posteriores a la guerra. La mayoría de las ciudades habían sufrido grandes pérdidas y el problema principal era alojar a la población, además de la reconstrucción en general de todo lo que había sido destruido.

Por otro lado Estados Unidos comenzaba a vivir una época de esplendor sin precedentes conocida como "baby boom" que sentó las bases de la sociedad de consumo actual. Fue el momento donde surgió



Primeras construcciones balloon frame
USA, 1864/1867
Fuente: Archivo fotografico
www.shorpy.com

la publicidad masiva y también nuevos productos enfocados hacia la nueva clase media que estaba surgiendo, como electrodomésticos y autos. Sin embargo y a pesar de darse una realidad antagónica a la europea el problema fue el mismo que en Europa: alojar a la población. Mientras que en Europa la reconstrucción se centró en la manera de poder darle un lugar donde vivir a personas damnificadas, en Estados Unidos eran los soldados retornados y la nueva clase media quien requería una solución rápida y económica para resolver sus necesidades de alojamiento. El hormigón entonces se constituyó en el principal material con el que Europa salió de las cenizas y varios fueron quienes vieron en él las posibilidades que presentaba para poder confeccionar componentes prefabricados en masa, los cuales constituirían los grandes conjuntos habitacionales. En cambio en los Estados Unidos fue la casa unifamiliar de madera la que protagonizó la explosión demográfica y urbana de las ciudades norteamericanas de mediados del siglo XX.

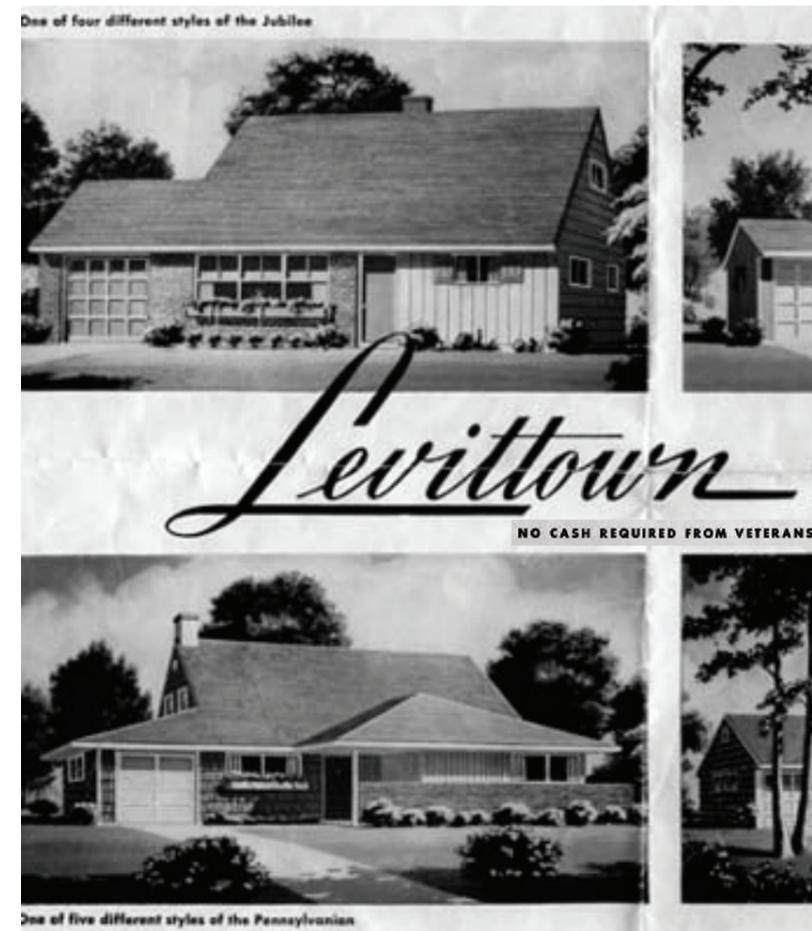
La casa suburbana americana.

De la mano de este nuevo estilo de vida americano surge el concepto de **suburbia** es decir barrios de clase media y de casas prefabricadas. A la vez estos barrios crecen en las afueras de las ciudades potenciados por el uso del auto y la búsqueda de un entorno natural alejado de la congestión urbana. Uno de los primeros ejemplos de esto lo constituyen las llamadas "Levittowns". Estas eran barrios suburbanos creados en la periferia de las ciudades. Su nombre se debe a que fueron desarrollados por un empresario privado llamado William Levitt quien era también arqui-

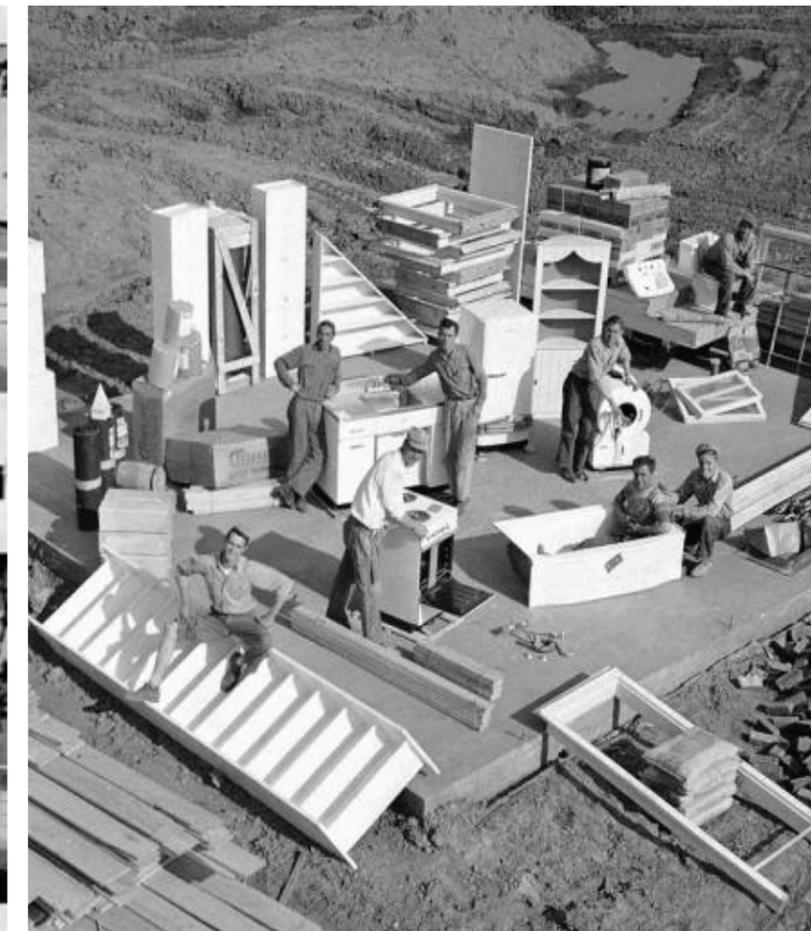
tecto. Estos barrios nuevos creados en los extra radios de las grandes ciudades pasaron a ser símbolo de un nuevo estilo de vida y lo más importante aún, es que también pasaron a formar parte de los objetos comercializables de la nueva sociedad de consumo. Los nuevos vecinos podían escoger de un catálogo la casa que más se acomodara a sus necesidades o a su gusto. Estas eran conformadas por elementos constructivos producidos en serie mediante métodos racionalizados dentro de plantas industriales. El sistema constructivo era el sistema plataforma, una variante del sistema balloon americano pero que simplificaba el proceso de construcción y reducía las dimensiones de algunas piezas. Este sistema constructivo es básicamente igual al anterior con la variante de que los forjados separan la estructura de las construcciones en varios niveles.

Jean Prouvé y la madera en la industrialización de la vivienda unifamiliar.

Jean Prouvé originalmente fue diseñador y fabricante de muebles, estuvo vinculado fuertemente con la herrería hasta que paulatinamente fue variando su interés hasta el diseño íntegro de la unidad edilicia debido al momento de posguerra en Francia y dándose la situación de necesidad de viviendas a escala masiva. Prouvé se interesó entonces en el diseño de viviendas modulares que pudieran ser fabricadas en masa con procesos industriales para posteriormente ser montadas en cualquier lugar. Prouvé fue de los pioneros en la utilización de paneles contrachapados en la construcción. Desde los años 30 comienza a desarrollar multitud de modelos de casas individuales cuya principal característica fue su bajo precio y que a su vez eran pensadas como



Pagina de catalogo de venta de casas de Levittown USA, 1950
Fuente: <http://www.nytimes.com/>



Montaje de una vivienda prefabricada. Mobiliario forma parte de Kit Levittown USA, 1950
Fuente: <http://www.nytimes.com/>

un kit para ser auto construidas por sus usuarios. Otra característica innovadora resultó ser que estas casas kit estaban diseñadas para ser fabricadas en serie dentro de la industria que el propio Prouvé tenía en las cercanías de Nancy. Los principios resultantes de prefabricación, flexibilidad y movilidad fueron utilizados como respuesta de diseño a la necesidad que estaba viviendo el país en ese momento y además de todo debía conformar un producto accesible económicamente. Prouvé ensayó distintos modelos llegando a la elaboración de variados prototipos, los cuales eran una solución sorprendentemente moderna y práctica para viviendas temporales, construidos en madera y metal podían ser armados en el lugar en un día por tres personas. Debido a la escasez de materiales y financiación, y la necesidad de vivienda permanente, la producción de estas estructuras temporales no fue más allá de unas pocas series limitadas. Como casos destacados se encuentran la casa 6x6 y la 8x8 de los años 1944 y 1945, ambas aplican los conocimientos que Prouvé tenía acerca de la herrería y carpintería donde las premisas son la ligereza y la prefabricación utilizando armónicamente ambos materiales para conformar la estructura y los cerramientos. En estos dos casos la madera cumple la función de generar los paramentos utilizando madera natural e industrializada como tableros de madera contra chapada. Posteriormente siguió trabajando más a fondo la utilización de madera contra chapada en el diseño de la casa "Maison des Jours Meilleurs" de 57 metros cuadrados la cual se planteaba como casa de emergencia para los sin techo de París, esta consistía en dos dormitorios y un gran salón. Estas viviendas también podían ser montadas por unos pocos hombres utilizando un mínimo de herramientas simples. Le Corbusier se fascinó con los prototipos de Prouvé con el que compartía el ideal de la ar-

quitectura maquinista. A pesar de los aplausos de Le Corbusier, que la llamó "la casa más hermosa que conozco: el objeto más perfecto para vivir, el más brillante que se haya construido", sólo cinco de estas casas se construyeron. La Francia de la piedra y el hormigón encontró demasiado modernos, o demasiado simples, a las máquinas de habitar de Prouvé.

2.4 El contexto actual.

Muchas son las referencias actuales en lo que se refiere a la prefabricación de viviendas utilizando la madera como principal material. Sin embargo hay 2 experiencias las cuales consideramos de interés referenciar en este trabajo. Por un lado resulta interesante lo que se está desarrollando en la comunidad **wikihouse** que por sus características de proyecto globalizado y "open source" es decir de acceso libre que resulta totalmente innovador. Por otro lado y más acorde al ámbito local se encuentra la experiencia que está realizando actualmente la empresa EX-SITU quienes se dedican a la construcción modular combinando las ventajas de la producción industrializada con los beneficios del diseño personalizado ofreciendo soluciones integrales y utilizando como principal material la madera disponible en nuestro mercado local. Recientemente el uso de impresoras 3d ha posibilitado el desarrollo de una gran variedad de productos con la característica de que muchas veces los diseños están a disposición del gran público y cualquiera que disponga de una impresora podría producir el producto que desee. En lo referente a la temática que estamos tratando un caso paradigmático de este tipo de producción lo constituye la experiencia de la organización **Wikihouse** (www.wikihouse.cc). Ellos



Prototipos prefabricados y desmontables: "Maison 8x8", 1945
"Les Jours Meilleurs", 1956
Jean Prouvé
Fuente: Galería Patrick Seguin (www.patrickseguin.com)



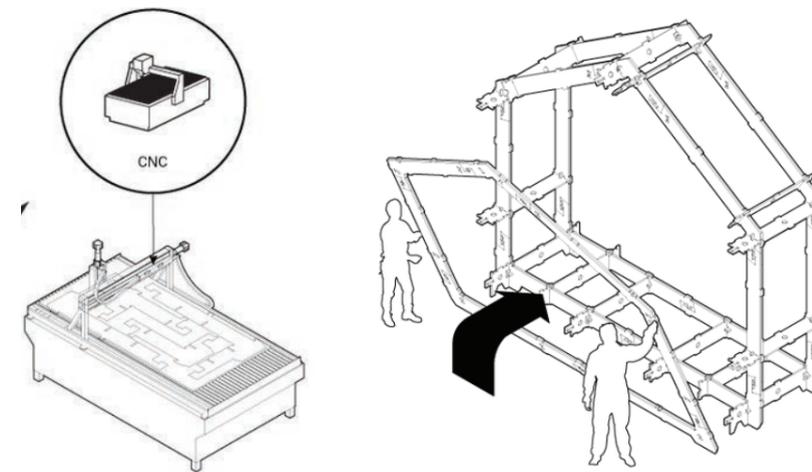
Interiores de la casa de Prouvé
Jean Prouvé sentado en el living de su casa
Fuente: Galería Patrick Seguin (www.patrickseguin.com)

se autodefinen como un set de construcción de código abierto mediante el cual cualquiera puede descargar los diseños o diseñar por sí mismo y después imprimir en tableros de madera contrachapada de 18mm (2,44m x 1,22m) todos los componentes de una vivienda que puede ser montada con procedimientos sumamente sencillos. Otro aspecto innovador de la propuesta consiste en que los diseños son compartidos en una biblioteca comunitaria online. Para esto desarrollaron una aplicación que funciona en programas de diseño 3d tales como Sketch-up, la cual genera un set de plantillas de corte que posibilita adaptar el diseño de cualquier vivienda para ser impresa con los plotters de corte en los paneles contrachapados.

Otra característica destacable consiste en que para el ensamblaje no se precisan materiales ni herramientas complejas, todos los ensamblajes están constituidos por los propios recortes en los paneles contrachapados, incluso las herramientas a utilizar están diseñadas para que se puedan construir de recortes en el contrachapado junto con las otras piezas de la casa. Para conformar los muros simplemente se atornillan a los componentes estructurales otros paneles los cuales generan las superficies. El poco peso de los componentes también posibilita el ensamblado manualmente sin necesidad de otras maquinarias adicionales. La iniciativa de wikihouse también tiene en cuenta que los materiales a utilizar presentan una baja huella de carbono, es decir, que son menos contaminantes que los materiales con los cuales normalmente se construyen casas.

Sin embargo a pesar de lo innovador que resulta el concepto de una casa imprimible de madera todavía no se ha desarrollado un prototipo que sea funcional para ser habitable. Muchos de los diseños disponibles no han sido testeados estructuralmente. El propósito del set de

construcción Wikihouse es lograr una estructura que esté pronta para resistir la intemperie integrando a esa estructura los revestimientos, aislaciones, membranas, ventanas y las instalaciones. Es decir que para lograr un artefacto habitable y funcional es necesario integrar otras tecnologías para lograr las condiciones de confort y durabilidad, donde surgen los problemas de integrar distintos materiales y resolver detalles de mayor complejidad que también integren las instalaciones. Como una experiencia más cercana en lo que se refiere a prefabricación y construcción modular con madera se encuentra a la empresa EX-SITU (www.exsitu.com.uy) quienes han desarrollado en el medio local una serie de módulos prefabricados. Estos módulos son producidos en una planta industrial y posteriormente trasladados al lugar de la vivienda. Como principal característica cabe destacar que los módulos integrados todas las instalaciones y terminaciones por lo tanto una vez instalados quedan totalmente funcionales. Vemos como principales ventajas la posibilidad de reducir notoriamente los costos de mano de obra y producción debido a la racionalización del proceso de fabricación. Maximizando el proceso constructivo en planta se eliminan demoras, complicaciones y desvíos de costos típicos en los sistemas de construcción tradicionales, así como de otros sistemas alternativos con mayor incidencia de trabajo en sitio. Sin embargo el traslado de los módulos terminados resulta un factor limitante del diseño ya que los mismos no pueden superar ciertas dimensiones relacionadas con el camión que los transporta, ancho de calles y carreteras, alturas de puentes. Por ese motivo las características espaciales de las viviendas se ven demasiado restringidas. Resulta a su vez sumamente relevante el hecho de que ya existen en nuestro país viviendas fabricadas por esta empresa.



Arriba:
Vivienda modular construida por *ex-situ* en uruguay
Del catalogo Online de Ex-situ
Fuente: www.ex-situ.com.uy

Abajo:
Proceso de construcción de un prototipo wikihouse
Fuente: www.wikihouse.cc

3. El prototipo

En el marco de la investigación sobre las posibilidades de utilizar técnicas de prefabricación para construir con madera es que se propone el desarrollo de un prototipo.

El mismo se plantea como motivo de estudio del presente trabajo con el objetivo de poder extrapolar la experiencia hacia otras tipologías de viviendas. También el desarrollo y estudio exhaustivo del prototipo se constituye como un fin en si mismo, siendo un objeto enteramente funcional para ser fabricado.

Como premisas de diseño se ha considerado que el mismo sea viable en el contexto local. Estos conceptos consideran el hecho de que la madera se encuentra relegada a un lugar subsidiario en el panorama constructivo actual. Esta situación responde por un lado a la normativa edilicia vigente para Montevideo y a la propia morfología de la ciudad. Por otro lado hay cierta reticencia cultural respecto a las construcciones con madera debido al uso inadecuado de las técnicas constructivas que han dado como resultado construcciones de baja calidad, poco durables y han presentado patologías constructivas como el caso de las viviendas prefabricadas importadas en las décadas de los 80's y 90's desde Brasil. Estas viviendas no consideraban las características del clima local con valores altos de humedad relativa del aire y diferencias importantes de temperatura en el día (amplitud térmica). Otro aspecto a considerar para lograr la buena aceptación de esta propuesta constructiva lo constituye el factor económico, con el cual pretendemos equilibrar los otros factores en contra anteriormente mencionados. Consideramos que la evaluación económica respecto a la construcción llamada tradicional en nuestro país, constituye un aspecto que determina la decisión de los usuarios para volcarse a

construir sus viviendas con opciones alternativas Un claro ejemplo lo constituyen las construcciones en steel-frame y la creciente utilización del yeso tanto en las nuevas edificaciones como en reciclajes de edificaciones antiguas . Esto también viene asociado al peso económico que ha adquirido el rubro de la mano de obra en la construcción tradicional. Una manera de lograr la eficiencia en este aspecto consiste en reducir el trabajo a pie de obra y diseñar de manera más minuciosa los componentes que puedan ser fabricados *ex situ* para ser posicionados posteriormente en la implantación definitiva. A su vez el prototipo se encuentra diseñado respetando un modulo el cual se corresponde con la modulación en la cual se comercializan la mayoría de los materiales empleados. De esta manera es que la utilización de los recursos se realiza de manera eficiente logrando minimizar desperdicios, consumo de energía y tiempo de trabajo. El objetivo final del prototipo es conformar un Kit el cual pueda ser fabricado en serie y comercializado como un producto pronto para ser montado.

Por lo tanto el sistema constructivo propuesto se basa sobre las siguientes premisas, las cuales serán desarrolladas a continuación:

- Fabricación centralizada.
- Estandarización de componentes.
- Reducción de trabajo *in situ*.
- Optimización del transporte.
- Simplificación de montaje.
- Reducción del impacto ambiental.

Fabricación centralizada

El desarrollo de las piezas en fábrica permite una producción industrializada, masiva y tecnológicamente más avanzada. Vemos que uno de los principales factores que inciden en el costo económico y cronológico de una obra convencional resultan del montaje logístico que implica disponer de todos los insumos y recursos físicos necesarios en el momento preciso en que son requeridos. Como se ha insistido en los cursos de construcción y en los cursos de practicantado de nuestra facultad, el hecho de realizar una obra consiste a grandes rasgos en montar una fabrica *in situ*. La principal desventaja de esta lógica productiva resulta en que una vez terminada la obra esa especie de fabrica se desmantela, y para realizar una nueva obra es necesario volver a montarla. De este modo entonces resulta lógico que para poder optimizar recursos y tiempo sea razonable montar una fabrica permanente. De este modo la producción se realiza en un lugar centralizado donde se disponen de todos los insumos necesarios.

Estandarización de componentes

Para poder lograr un grado aceptable de racionalización productiva primero que nada vemos necesario acotar el universo de posibilidades a realizar. Como premisa para este principio partimos del diseño de un objeto, que en nuestro caso es el prototipo, el cual pueda ser realizado con componentes producidos en serie o que puedan ser adquiridos a granel con proveedores locales. Para lograr este objetivo el prototipo que proponemos se encuentra basado en una modulación básica que coincide con la manera en que se comercializan unitariamente la mayoría de los insumos a utilizar como las placas de yeso o las placas de OSB. También los tornillos y herrajes a utilizar

son fácilmente accesibles en plaza, así como los demás componentes de terminaciones e instalaciones. El sistema constructivo propuesto se basa en la fabricación de paneles. Estos paneles que conforman la vivienda son fabricados integrando la estructura, aislaciones, revestimientos e instalaciones. Cada panel resulta terminado y pronto para ser montado con los demás y están precisamente diseñados para ser producidos en serie.

Reducción de trabajo in situ

Esta es una de las principales finalidades del sistema constructivo que pretendemos desarrollar. El concepto es trasladar la mayoría del trabajo que normalmente se realizaría a pie de obra hacia una planta industrial a cubierto de las inclemencias del tiempo. Esto nos permite eliminar demoras, contar con la capacidad de maximizar los controles de calidad de los componentes y evitar complicaciones que podrían resultar en desvíos de costos que son tan frecuentes en la construcción tradicional. Por lo tanto el trabajo a pie de obra solamente consistirá de 3 instancias: fundaciones, proceso de montaje y colocación de terminaciones finales. La principal ventaja resulta en reducir la incidencia de los factores climáticos en el proceso de obra. El proceso de montaje esta diseñado para que pueda realizarse en 1 día y al día siguiente poder realizar los trabajos interiores de terminaciones y montaje de las instalaciones.

Optimización del transporte

El empaquetado optimizado permite transportar todos los componentes en un espacio mínimo, reduciendo las emisiones a la hora de trasladar las piezas. Todos los paneles que componen el kit del pro-

totipo fueron diseñados para que puedan transportarse en un camión convencional o mejor aún en un camión con grúa de los que son frecuentes encontrar en las obras actualmente. Los paneles se transportan en posición vertical para optimizar la capacidad de carga del camión. También se tuvo en cuenta en este aspecto que para el momento de ser transportados, todos los paneles apoyen en piezas de madera con función estructural que no se deforme ni se pueda estropear al momento de cargar, descargar y montar el panel. El objetivo de diseñar también la manera en que el kit es transportado es lograr la mayor independencia posible del proyecto a ésta condicionante. Por otro lado reducir a lo menos posible el rubro transporte por dos motivos concretos: el primero es el costo del arriendo del medio de transporte a utilizar y el segundo el impacto ecológico del consumo de combustibles fósiles que implica. El prototipo que hemos diseñado se puede transportar en un sólo viaje en un camión con grúa convencional de 9.30mts de largo.

Simplificación de montaje

El montaje de toda la envolvente ha sido especialmente pensado para que no sean necesarias herramientas especializadas. Todos los paneles de muros se apoyan en las fundaciones donde hay pernos de espera cada 61cm a los cuales se tornillan. Los paneles entre ellos se fijan por medio de herrajes que también van tornillados a elementos estructurales de cada panel. Todo el montaje es posible realizarlo con tornilladoras eléctricas. Como para posicionar los paneles es necesario contar con la grúa del camión se estima que todo el montaje puede realizarse en 1 día, de esta manera se reducen costos de arrendamiento de la maquinaria. Una vez que los muros y la cubierta están coloca-

dos se prosigue con los trabajos de terminaciones e instalaciones en el interior. Este proceso se prevé que se realice en 2 o 3 días de trabajo teniendo en cuenta el enhebrado de la eléctrica, los trabajos de sanitaria y colocación de pavimentos. Para lograr un óptimo desarrollo del proceso de montaje las uniones entre paneles han sido diseñadas, llegando a 4 tipos de uniones: paneles con fundaciones, paneles muro entre si, paneles pared con paneles de techo y por ultimo paneles de techo entre si.

Reducción del impacto ambiental

Al ser un proyecto diseñado y fabricado en nuestro país con materiales locales, se concibe desde el óptimo aprovechamiento de los recursos naturales, constituyendo un sistema integral donde las emisiones de gases de efecto invernadero se ven sensiblemente reducidas. Las obras "húmedas" son sumamente contaminantes principalmente por los desperdicios que se generan y por la energía que consumen lo cual puede cuantificarse como la huella de carbono, es decir cuantos Kg de carbono han sido emitidos a la atmósfera para producir un producto. En una obra convencional se hace casi imposible cuantificar esta magnitud pero el hecho de centralizar la producción permite administrar mejor el uso de los insumos y reducir el transporte de los mismos. Esto se traduce en una menor utilización de combustible y energía en el proceso de fabricación. Además la madera se considera como un material con huella de carbono positiva, es decir que favorece al ambiente la utilización de este material. En nuestro país se hace un poco difícil cuantificar la huella de carbono de nuestro caso debido a que no siempre es posible contar con la trazabilidad de los materiales utilizados.

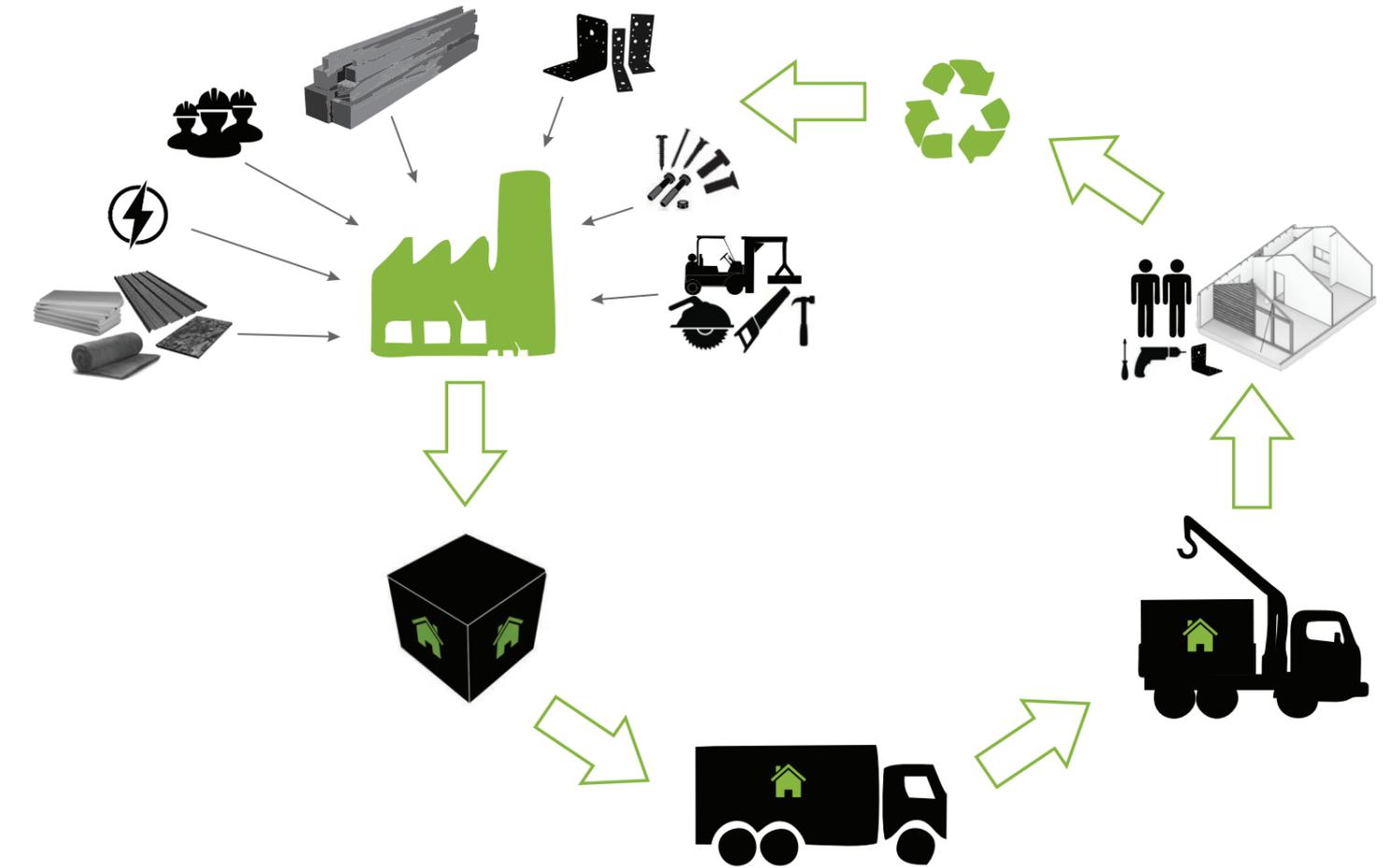


Diagrama de lógica productiva.
Desde abastecimiento de insumos hasta
obsolescencia

3.1 El proyecto

El prototipo se conforma como una vivienda permanente pequeña o una casa de balneario. Las complejidades surgidas de la resolución de este programa básico pueden trasladarse entonces a programas de mayor escala.

La intención del desarrollo de este prototipo es tener un marco práctico donde poder enfrentar las diferentes problemáticas que implican desarrollar un objeto habitable que sea 100% prefabricado. Por lo tanto las soluciones que se diseñen para hacer construable este prototipo se conforman como un sistema constructivo extrapolable a módulos complementarios mayores o a proyectos de más porte.

Programa.

La vivienda consta entonces de un dormitorio, baño, sala de estar, cocina, comedor y un espacio exterior.

El proyecto consiste entonces en un habitáculo cerrado que se divide en 2 espacios por medio del tabique central, por un lado el espacio de estar, que está integrado a la cocina y el comedor y por otro lado el sector privado de la casa, es decir el dormitorio acompañado del baño. A estos 2 espacios interiores se le suma un espacio exterior techado o terraza.

El espacio interior habitable tiene un área de 45,50 m², siendo 22,30 m² el área de estar y 23,20 m² el área de dormitorio. El espacio de la terraza tiene un área de 7,50 m² con un ancho de 1,20 mts lo cual permite que en ese espacio se puedan colocar mobiliarios para darle el uso que el usuario desee.

La altura máxima interior en la cumbre es de 3,50 mts y la mínima de 2,25 mts en las uniones con lo paneles laterales del perímetro.

Adaptabilidad.

Los espacios no pretenden ser rígidos, sino todo lo contrario. De hecho la única condicionante en la distribución de la vivienda resulta ser el panel numero 1 que provee el abastecimiento de las instalaciones sirviendo a la cocina y el baño por medio de un zócalo por donde circulan las tuberías de sanitaria. Por lo tanto los demás espacios son distribuibles de cualquier manera. Sin embargo resulta necesario que los espacios tengan proporciones acordes para cumplir con lo anteriormente mencionado. Por este motivo muchas veces vemos en otras experiencias de casas prefabricadas que las dimensiones de los proyectos se ven demasiado condicionadas a los sistemas de transporte utilizados para su implantación además de que por otro lado se condicionan demasiado a un módulo como sucede con la prefabricación con contenedores. Esto ha sido una importante premisa para el desarrollo de nuestro proyecto con la lógica de paneles.

Contexto.

El factor climático ha sido una importante condicionante, Nuestro clima presenta la característica de fresco y muy húmedo la mayor parte del año.

Por este motivo Los paneles de cerramiento exterior se han resuelto con cámaras de aire que permitan que los mismos respiren. Las terminaciones exteriores en chapa permiten separar la misma del contacto directo con el resto del cerramiento y permiten un terminación agradable con el entorno, reflejando el paisaje. A su vez la misma puede ser pintada para hacerla más personalizada al usuario.



3.2 Memoria constructiva del prototipo

3.2.1. Sistema constructivo

Basados en el sistema constructivo tipo plataforma como punto de partida y aplicando lo que hemos estudiado en el curso, comenzamos a desarrollar un sistema que utiliza los principios estructurales del mismo y que a la vez posibilita realizar la mayor parte del trabajo *ex situ*. El objetivo principal es adaptar el conocimiento que se tiene del sistema plataforma para lograr trasladar la mayor cantidad del trabajo que con el mismo se realiza in-situ hacia la fabricación centralizada en planta. Una manera de lograr esta consigna resulta en dividir el proyecto en piezas unitarias que se puedan fabricar independientemente unas de otras y que a su vez su estructura posibilite el traslado pero que una vez armadas funcionen en conjunto.

Por este motivo el sistema constructivo del prototipo se basa en la prefabricación por paneles. Mientras que en el sistema plataforma los elementos que dan unidad al conjunto son elementos de madera (solera superior corrida), en nuestro caso los hemos suplantado por elementos metálicos independientes al conjunto pero que una vez fijados le dan unidad a las piezas y logran que la estructura se comporte unitariamente.

La **prefabricación en paneles** posibilita que el traslado del "kit" para armar la vivienda sea más eficiente. De esta manera en un solo viaje puede trasladarse todo el conjunto de piezas que van a conformar la misma. Esta lógica también permite prefabricar una gran parte de los componentes en planta industrial.

Al igual que el sistema plataforma, la vivienda debe colocarse sobre una plataforma elevada del terreno para evitar una exposición pro-

longada de la madera a la humedad del suelo y de la lluvia. Para el ejercicio hemos definido utilizar una platea como fundación ya que no se cuentan con datos concretos de un terreno. El proyecto del prototipo ha sido estudiado desde sus partes que lo componen, para lograr un balance logístico entre la fabricación en planta, el traslado y el armado in-situ.

El prototipo entonces ha sido subdividido en 3 tipos de paneles. Por un lado los paneles del tipo muros perimetrales que ofician de límite interior-exterior, estos incorporan en su fabricación: la estructura, aberturas, revestimientos interiores, revestimiento exterior, la cámara de aire y las membranas.

El siguiente tipo de paneles son los muros interiores que al igual que los muros perimetrales incorporan la estructura y las terminaciones, pero no cuentan con la capa de aislamiento térmica ni membranas, cuentan con una capa más delgada de lana de vidrio la cual cumple en este caso la función de aislante acústico.

El 3er tipo de paneles son los correspondientes a la cubierta superior. Los cuales se componen de las mismas capas mencionadas para los paneles verticales pero su resolución estructural es distinta.

Además de los paneles, el sistema constructivo se compone de las piezas de fijación. Estas la constituyen los herrajes metálicos de acero galvanizado. Cumplen la función de vincular los paneles entre si para que toda la estructura trabaje como una unidad. Estos herrajes se colocan tornillados en lugares específicos de cada panel vinculando los elementos estructurales de los mismos.

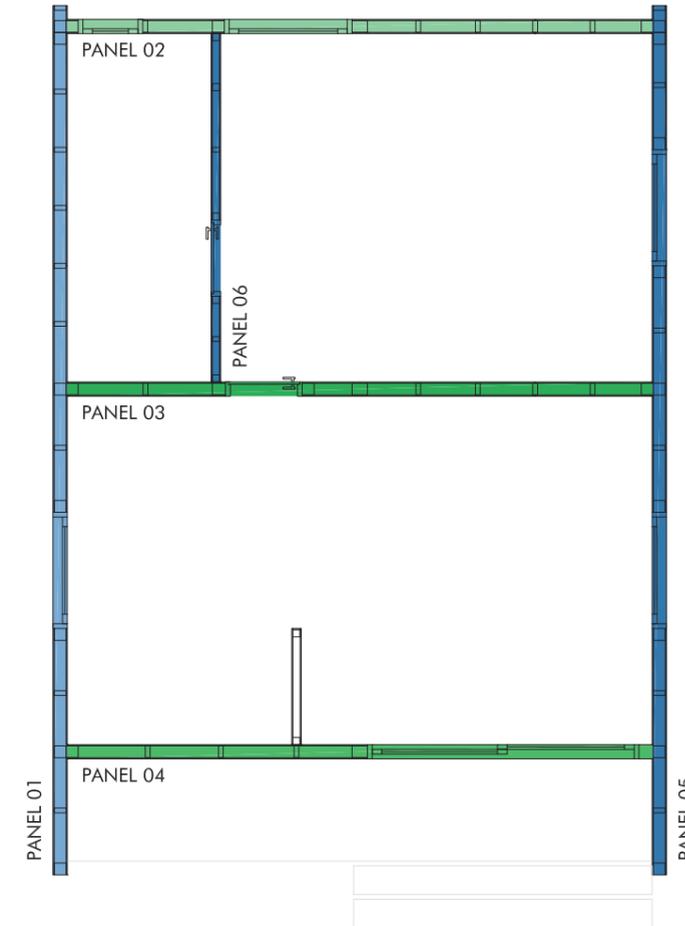
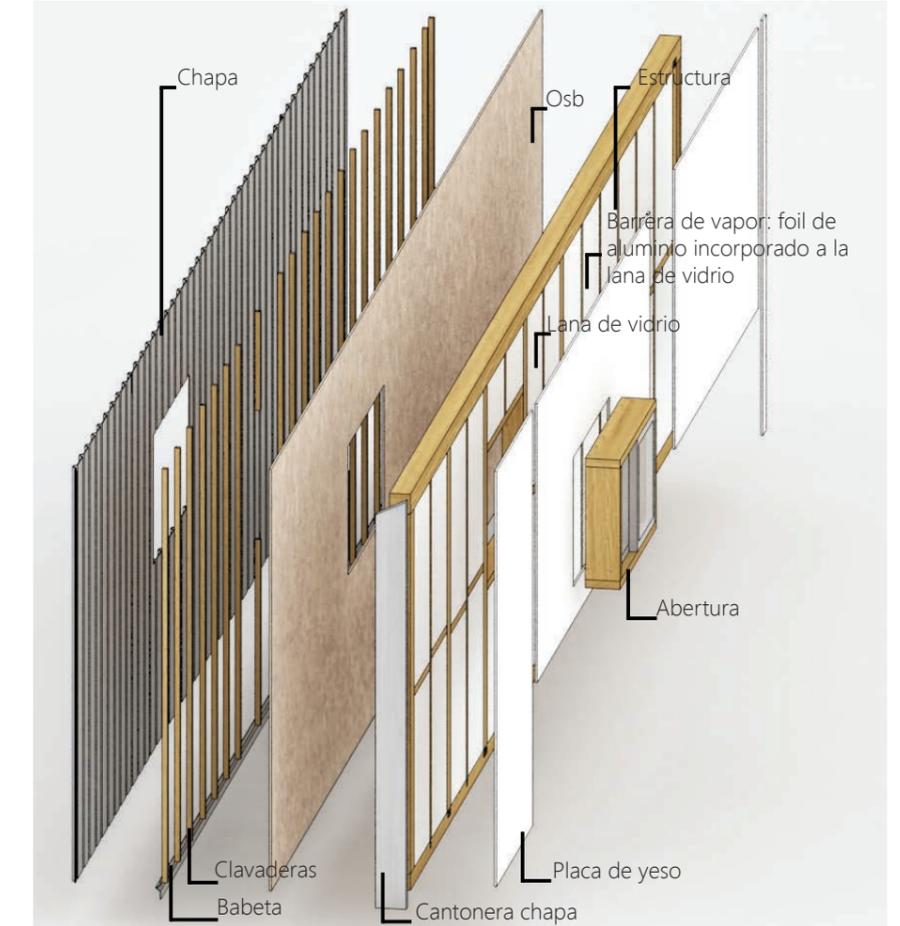


Diagrama de posicionado de paneles.
Se especifica nomenclatura.
Se le suman los paneles de cubierta



Fabricación de un panel.
Capas que lo componen
Y orden de fabricación

3.2.2. Memoria Técnica

La presente memoria técnica describe las características de los materiales que conforman los paneles de cerramientos. De modo de no repetir información, se definen según su función, 3 tipos de paneles:

- A. Muros Exteriores (panel 1, 2, 4, 5)
- B. Muros Interiores (panel 3, 6)
- C. Cubierta (panel 7, 8)

La estructura de los paneles se realizará siempre en pino aserrado, de sección especificada, tratada con CCA.

- A. Muros exteriores

Estos paneles se componen estructuralmente por una solera inferior de sección 5"x2". A ella, van unidos dos tipos de pies derechos. Pies derechos simples y pies derechos reforzados, los cuales sirven para unirse con otros paneles. Los pies derechos simples se colocan separados según plano de fabricación respectivo que figura en el capítulo de estructura. Estos pies derechos tienen una sección de 5"x2" y una altura de 2,25mts. Van atornillados a la solera inferior por medio de 2 tornillos auto-roscantes de acero galvanizado y cabeza plana en cada unión. Del mismo modo van unidos con la solera superior la cual es de 5"x4" de modo de repartir mejor las cargas transmitidas por el panel de cubierta.

Los pies derechos reforzados tienen una sección de 5"x5" por 2,25mts de alto. Además van suplementados con 1 pie derecho de 5"x2" por

2,25mts de largo de cada lado a fin de poder anclar los herrajes de unión entre paneles.

Ver gráfico de fabricación respectivo. Los pies derechos de 5"x2" van atornillados al pie derecho principal por medio de tornillos del mismo tipo.

La estructura del tablero se completa con elementos horizontales (cortafuegos) que se colocan centrados en la altura de los pies derechos. Estos elementos cumplen la función de evitar el pandeo de los pies derechos y rigidizar el panel. Tienen una sección de 5"x2" y se colocan atornillados entre pies derechos por medio de 2 tornillos de acero galvanizado y cabeza plana del mismo que los usados en la unión con solera inferior y superior. Los cortafuegos se colocan desfasados para permitir atornillado según se especifica en el grafico respectivo.

La estructura se completa con la colocación de las placas de OSB que terminan de rigidizar el tablero. Son de 2440 x 1200 x 11mm y son del tipo OSB-3 "Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo" según lo especifica la norma europea EN 300 para tableros de madera aglomerada. Los tableros de OSB van atornillados a los pies derechos y cortafuegos por medio de tornillos de acero galvanizado y cabeza plana cada 35cm.

El material aislante lo constituye la lana de vidrio de espesor 70mm tipo "Isover®" o similar con recubrimiento de foil de aluminio. Se coloca rellenando los nichos que quedan en el tablero estructural. Los pies derechos se recubren con suplementos de la lámina de

aluminio que van solapados al aluminio de la lana. Estos suplementos van pegados a la madera con adhesivo de contacto y conformando una lámina estanca continua en toda la superficie interior del panel (ver esquema de proceso de fabricación). El mínimo de solape deberán ser 15cm hacia cada lado.

El revestimiento interior será de yeso de 12mm de espesor en placas de 1220 x 2440 mm. La densidad mínima aceptable para estas placas será de 800kg/m³. Las placas deberán ser tipo Durlock® standard o similar, vinculadas a la estructura del tablero por medio de tornillos auto roscantes de acero galvanizado y cabeza plana tipo T2 o similares cada 35cm.

El revestimiento exterior será de chapa galvanizada calibre 24 o superior sección acanalada trapezoidal. La separación entre canales no debe ser superior a 20 cm. Las chapas tienen 105mm x 305mm y se colocan atornilladas a clavaderas de madera de pino tratada en CCA de 1,5" x 1,5" y del largo de todo el panel. Se utilizan arandelas de goma en cada tornillo para evitar filtraciones de agua. Los tornillos serán auto roscantes para madera, de acero galvanizado con cabeza convexa. Las clavaderas van atornilladas a la estructura del tablero atravesando también el OSB por lo que se pueden colocar juntos.

La membrana estanca al agua y permeable al vapor deberá ser tipo Tyvek® o similar no menor a 0,2mm de espesor. Su colocación comienza desde abajo y se deben dejar un mínimo de 15cm para los solapes los cuales se unen mediante cinta adhesiva del mismo mate-

rial. Las fijaciones van cada 45 cm aprox. en vertical y en horizontal utilizando clavos de cabeza ancha o grapas de 1". También se debe cubrir el vano haciendo pliegues con el Tyvek® para envolver el marco. Las aberturas serán de aluminio tipo serie 30 las cuales se atornillan a la estructura del tablero.

Consideraciones específicas para los paneles 2 y 4:
Estos paneles perpendiculares al eje longitudinal de la vivienda, cuentan además de los elementos descritos anteriormente, con un timpano en el que se apoyan los paneles de techo. Para reforzar el panel, se coloca una viga horizontal de sección 5"x6" que suplanta la solera superior. Al igual que los demás elementos estructurales en madera ésta será de madera de pino tratada con CCA.

- B. Muros interiores

Los paneles interiores se componen estructuralmente de igual manera que los paneles exteriores. Del lado del panel que no forma parte del baño, se colocará la placa OSB para rigidizar el panel atornillada a los pies derechos y cortafuegos por medio de tornillos de acero galvanizado y cabeza plana cada 35cm. Luego se colocará la manta Isover® como aislante acústico, con el foil de aluminio hacia el lado del baño, suplementando de igual manera que los muros exteriores, de manera de formar una lamina continua. De ambos lados del tabique se colocará las placas de yeso como terminación y como sustrato del revestimiento cerámico del lado del baño.

C. Cubierta

Los paneles de cubierta son 2 paneles que corresponden a cada "agua" y se montan en obra con una pequeña grúa. Se componen de una viga de borde de sección 2"x8" en 3 de sus lados y una viga principal de 3"x10" la cual conformará la cumbrera al unirse al otro panel. La estructura del panel se termina de conformar por medio de costillas o vigas secundarias de sección 2"x8", unidas a la estructura de borde por medio de herrajes de acero galvanizado.

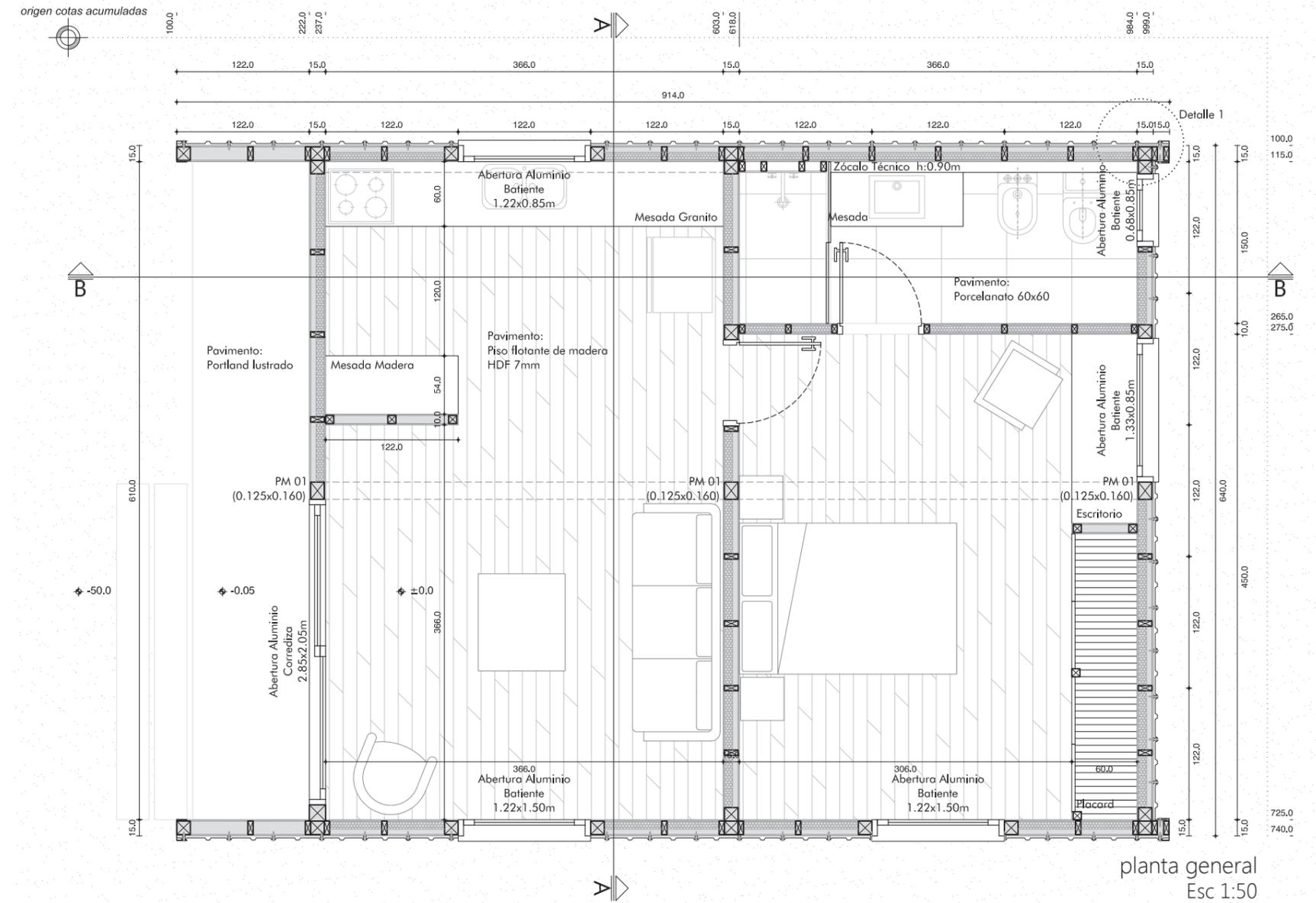
Los herrajes se fijan mediante tornillos auto-roscantes para madera entre la viga principal y las vigas secundarias. Estos herrajes son del tipo ángulo para unión de 90 grados y que a su vez presentan el ángulo que forma la pendiente de la cubierta según el grafico de detalle de unión entre paneles de techos (detalle 5 del capítulo recaudos gráficos).

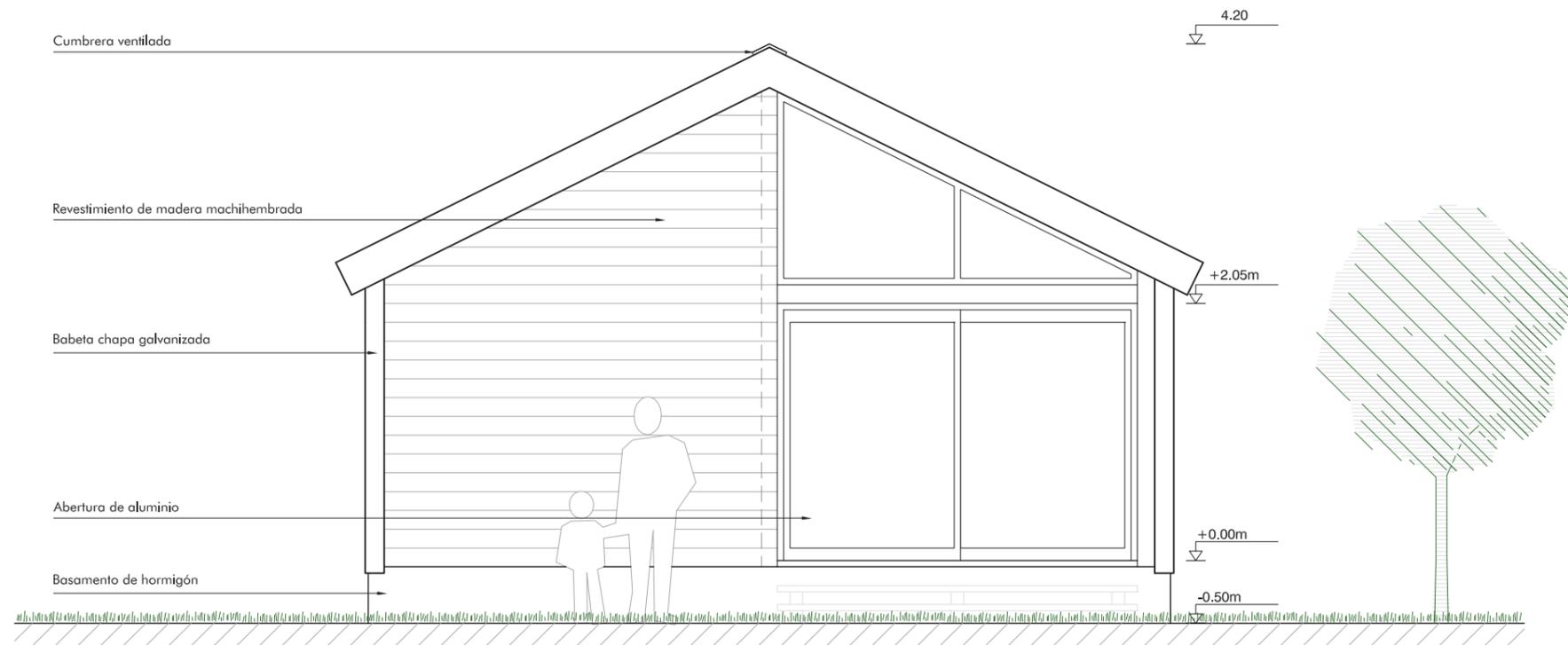
El tablero estructural se completa por los elementos que evitan el pandeo de las vigas secundarias en dirección horizontal los cuales son tirantes de sección 2"x4" atornillados a las vigas secundarias con 2 tornillos auto-roscantes para madera de acero galvanizado. Estos cortafuegos van desfasados para permitir su colocación según el grafico de fabricación en capítulo de estructura (panel 6-7).

La rigidización del tablero estructural se completa con las placas de OSB de las mismas características citadas para los paneles verticales anteriormente descritos. Se colocan atornillados a las vigas secundarias con tornillos

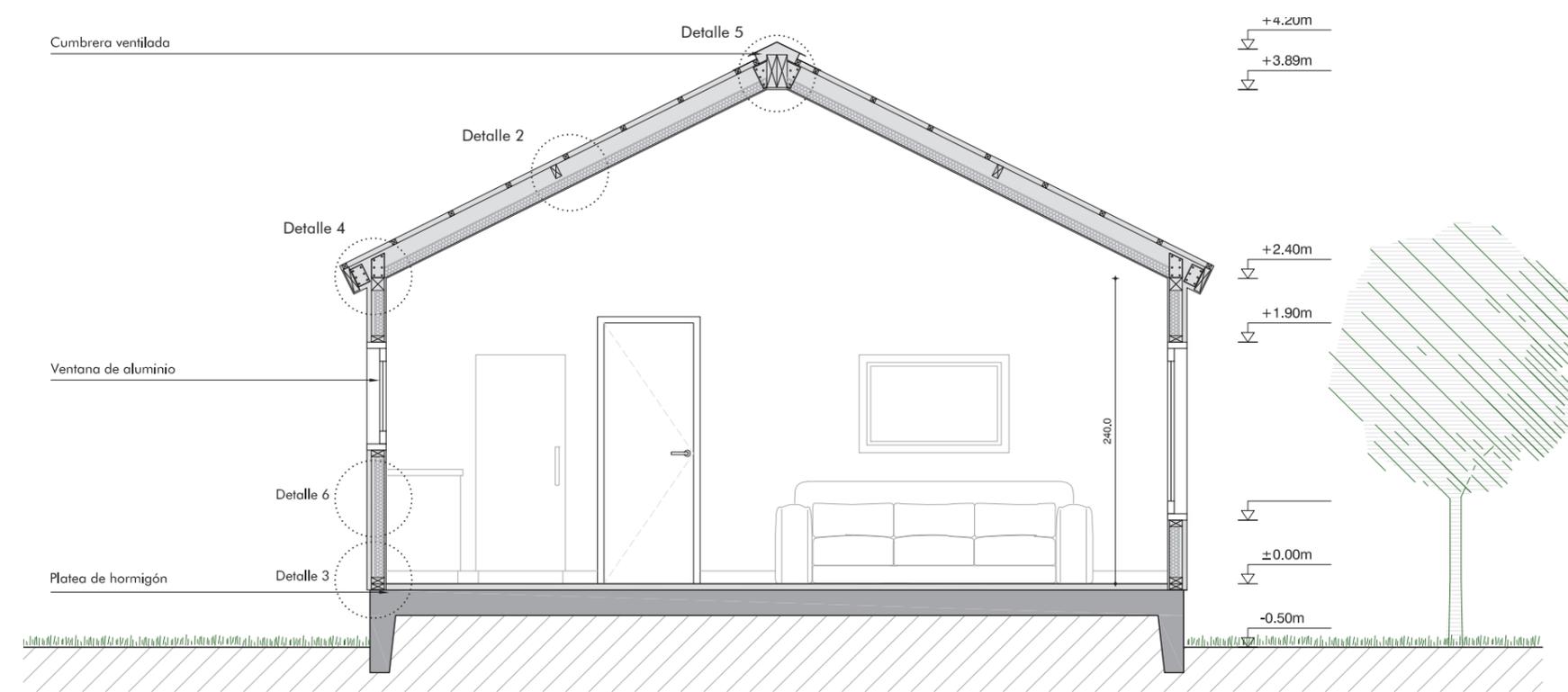
auto-roscantes para madera de acero galvanizado. En estos paneles el OSB queda visto, siendo el cielo raso del espacio interior de la vivienda. La capa aislante será de lana de vidrio tipo "Isover" o similar de 70mm idéntica a la utilizada en los paneles verticales. Al igual que en los paneles verticales será necesario suplementar la lámina de aluminio sobre las vigas para que queden recubiertas también por la barrera de vapor y que la misma forme una capa continua. Se colocan solapes de aluminio de no menos de 15 cm sobre éstos los cuales van pegados con cemento de contacto.

3.2.3 Recaudos gráficos





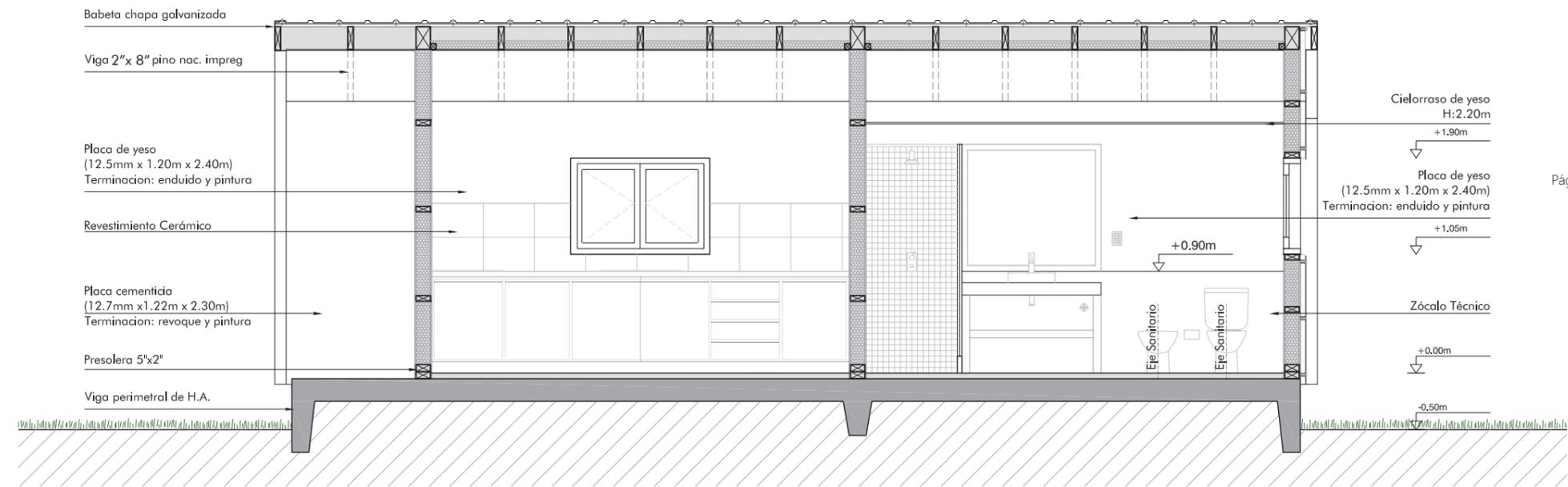
Fachada frontal
Esc 1:50



Corte transversal A-A
Esc 1:50



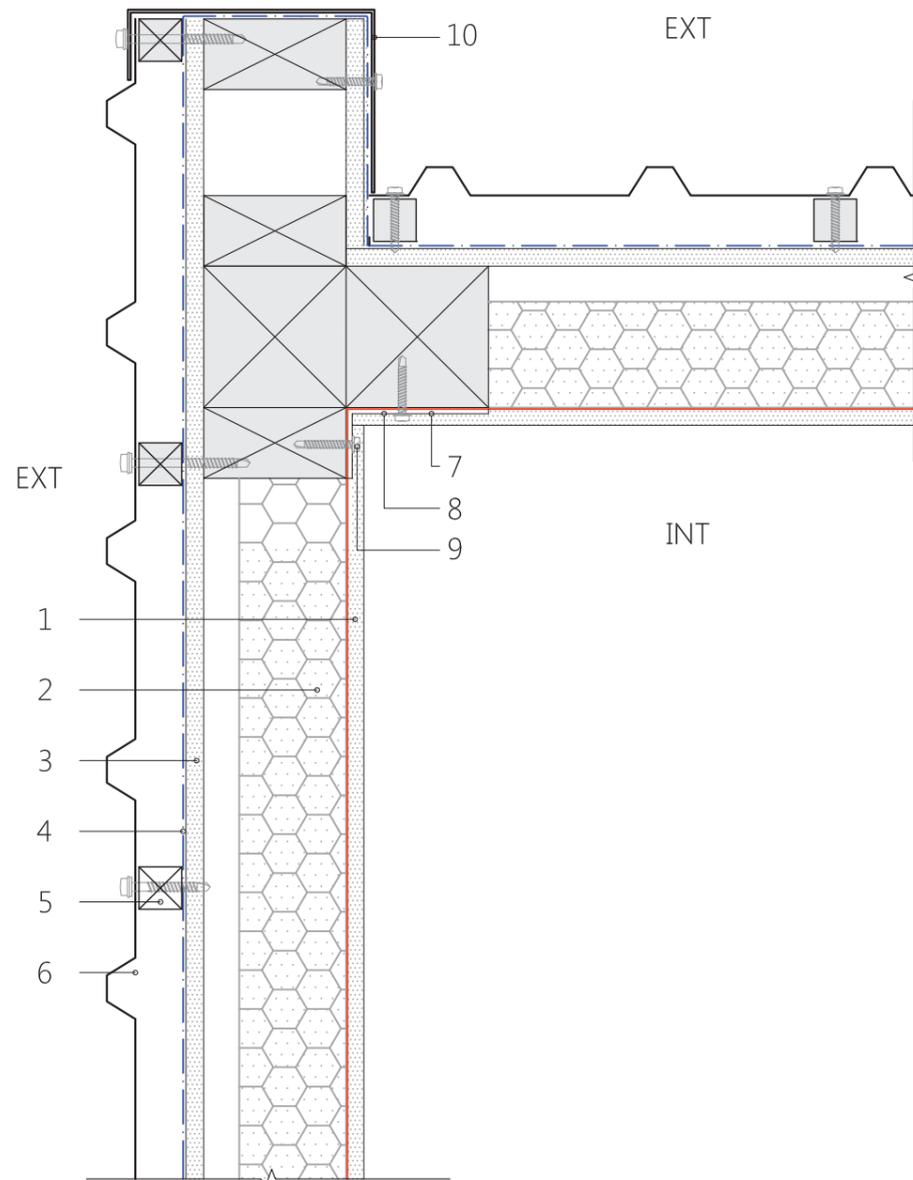
Fachada lateral
Esc 1:50



Corte longitudinal B-B
Esc 1:50

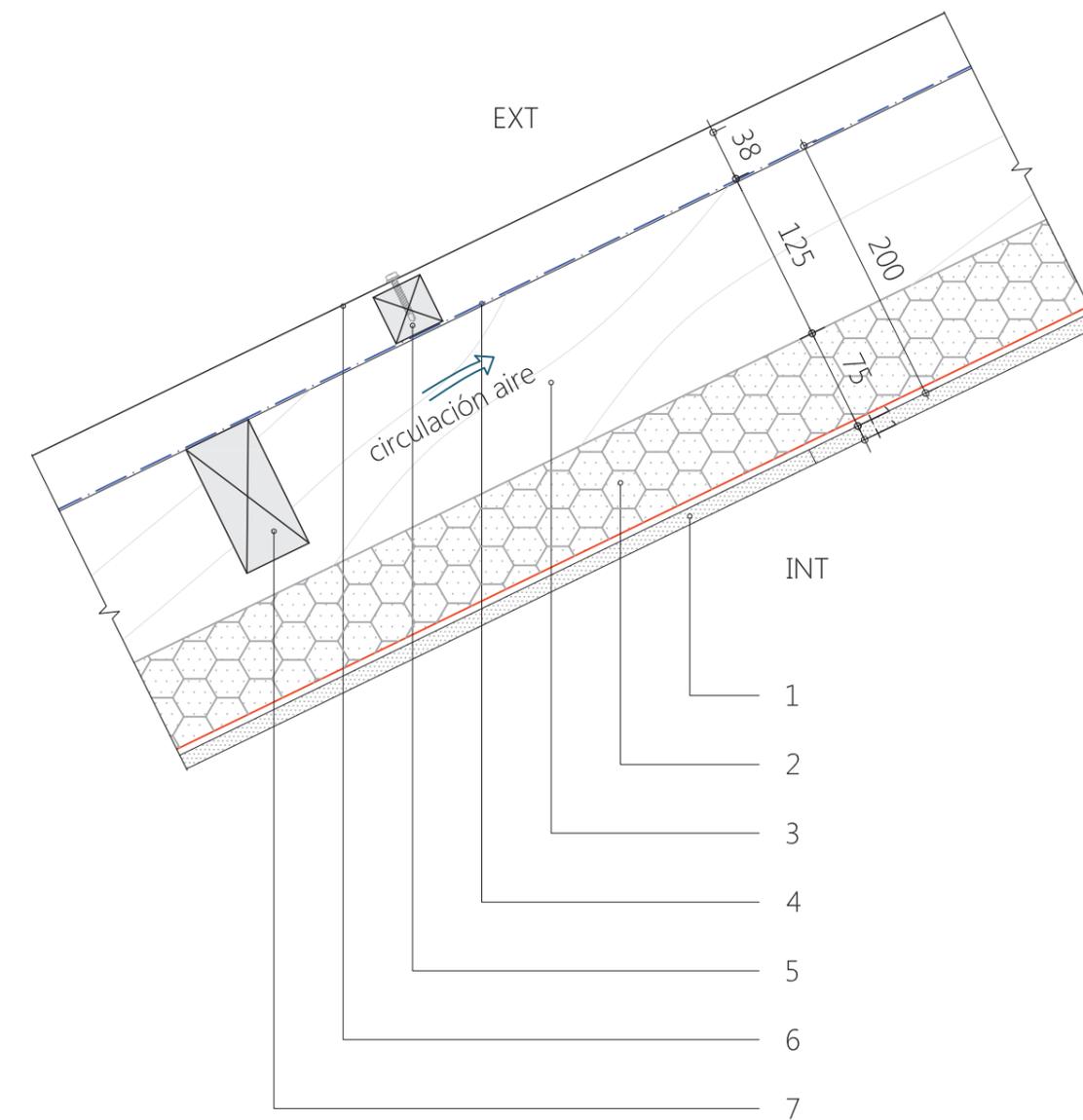
Detalle 1
Unión entre paramentos verticales.
Vista en planta. Esc 1:5

1. Placa de yeso pintada
2. Aislante térmico y acústico con barrera de vapor. Filtro de lana de vidrio 75mm, con foil de aluminio en cara inferior 0.025mm.
3. Placa rigidizadora OSB 11,1mm
4. Membrana impermeable al agua, estanca al aire y permeable al vapor (Tyvek).
5. Listón para crear cámara de aire ventilada e=3cm
6. Chapa galvanizada e= 0.06mm (cal24)
7. Solape de barrera de vapor (foil de aluminio)
8. Platina acero galvanizado
9. Tornillo autoroscante acero galvanizado
10. Babeta chapa galvanizada



Detalle 2
Cerramiento superior. Detalle de panel de cubierta con sus capas.
Vista en alzado. Esc 1:5

1. Cielorraso. Placa OSB 11,1mm
2. Aislante térmico y acústico con barrera de vapor. Filtro de lana de vidrio 75mm, con foil de aluminio en cara inferior 0.025mm
3. Viga 2"x 8" pino nac. impreg. que forma cámara de aire ventilada 120mm.
4. Membrana impermeable al agua, estanca al aire y permeable al vapor, para techo (Tyvek)
5. Clavadera de pino nac. impreg. 1/2"x1/2"
6. Cubierta de chapa galvanizada e= 0.06mm (cal24).
7. Escuadría para rigidizar 2"x4".

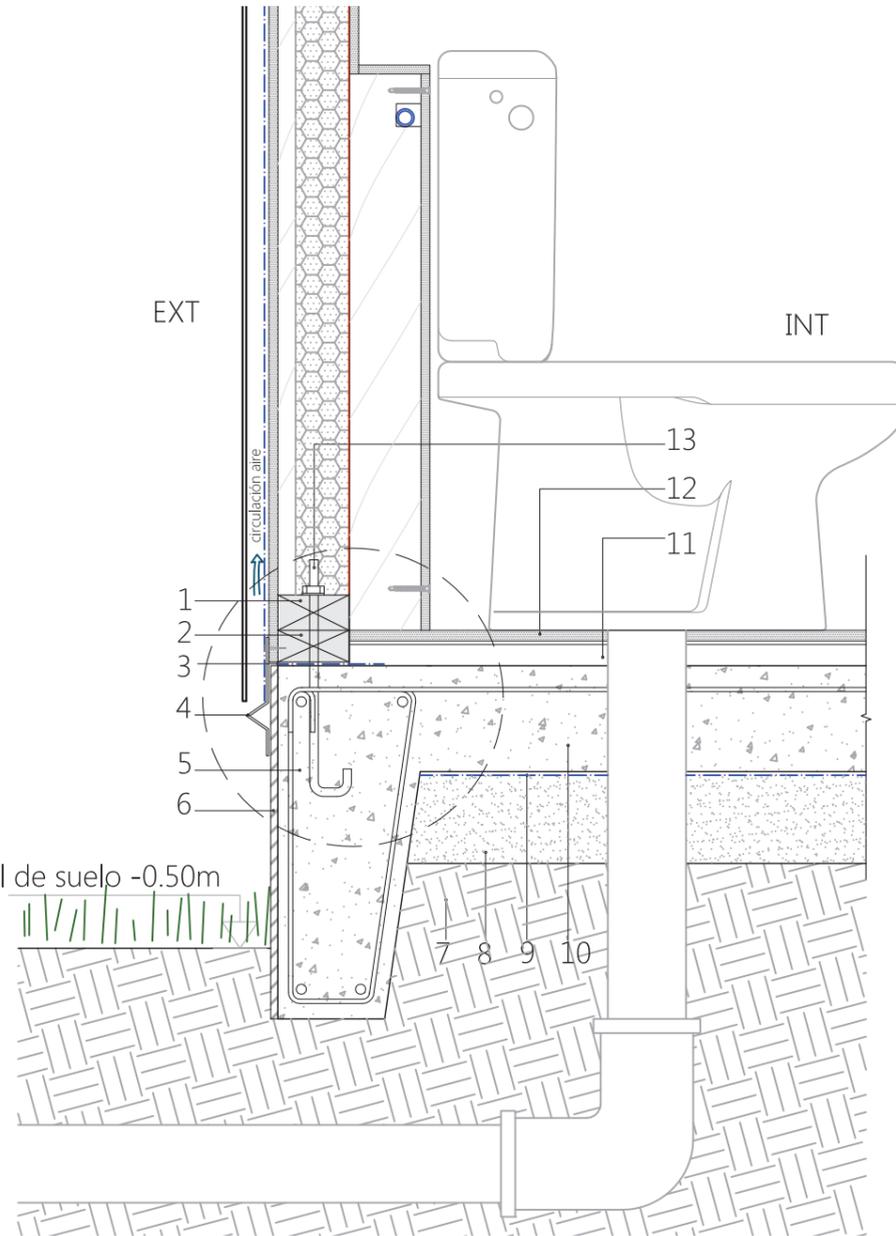
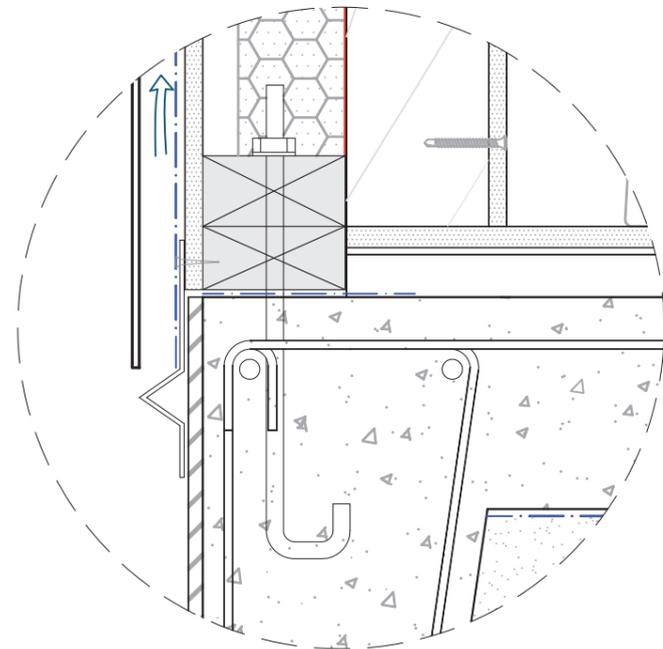


Detalle 3

Unión de panel vertical y suelo. Detalle encuentro inferior incluyendo detalle de zócalo técnico.

Vista en alzado. Esc 1:10

1. Solera inferior Pino Tratado 5"x2"
2. Presolera Pino Tratado 5"x2"
3. Impermeabilización membrana asfáltica
4. Goterón de chapa plegada
5. Viga Hormigon armado 15x50cm
6. Revoque hidrófugo
7. Relleno
8. Balasto compactado
9. Barrera contra humedad ascendente, film de poliestileno
10. Placa de hormigón armado e=15cm*
11. Alisado arena y portland
12. Revestimiento de piso porcelanato
13. Perno de anclaje con arandela de presión y tuerca Ø12mm, dist máx 61cm



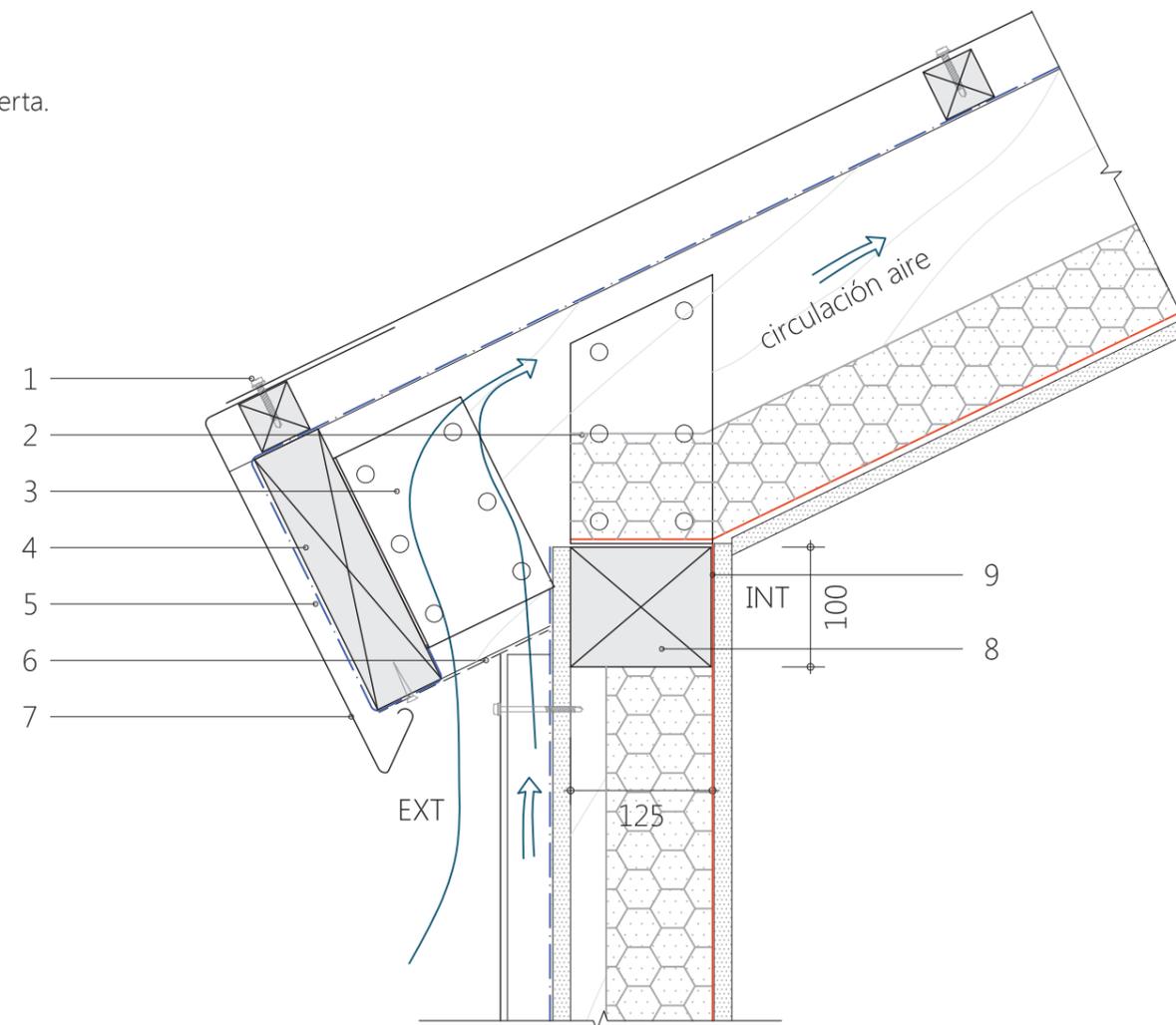
* Para el ejemplo definimos utilizar placa como sistema de fundación



Detalle 4

Unión de panel vertical y panel de cubierta.
Vista en alzado. Esc 1:5

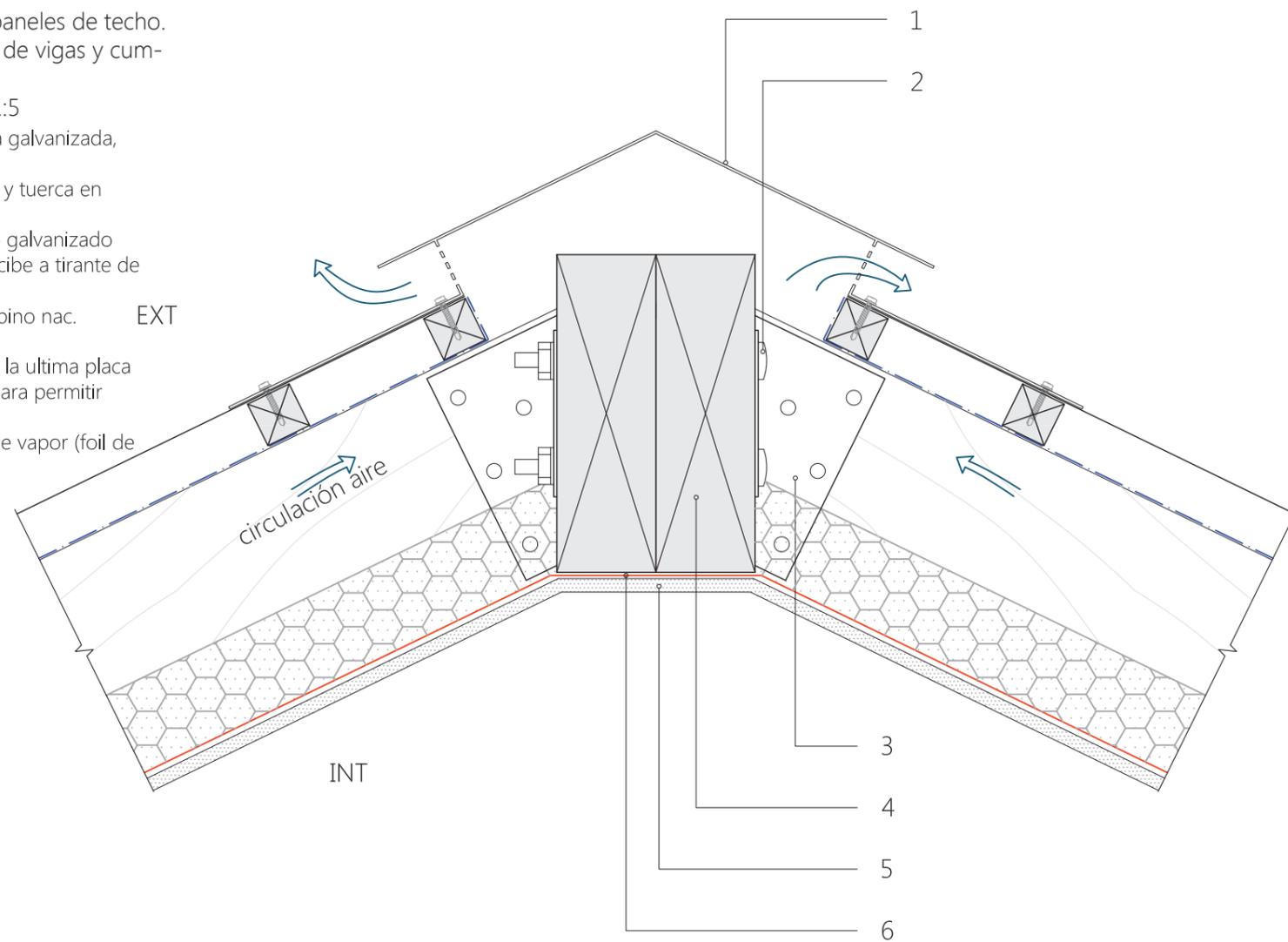
1. Tornillo autoroscante acero galvanizado con arandela estanca de goma.
2. Platina "U" de acero galvanizado con bulones que recibe a tirante de panel de cubierta.
3. Platina "U" de acero galvanizado con bulones de fijación.
4. Tirante de rigidizacion y cierre 2"x 8" pino nac. impreg. Cabeza de tirante protegida con sellante.
5. Barrera para techo impermeable que cubre totalmente hasta tirante de cierre.
6. Rejilla Mosquitero continua de ventilacion de camara de aire fijada a tirante de cierre (5.5cm corresponde a 1500mm²/m² de cubierta)
7. Babela chapa galvanizada con micro-perforaciones en vertice inferior
8. Solera superior (viga) 5"x 4" pino nac. impreg.
9. Solape de barrera de vapor (foil de aluminio)



Detalle 5 Unión de paneles de techo.
Detalle de encuentro de vigas y cumbrera.

Vista en alzado. Esc 1:5

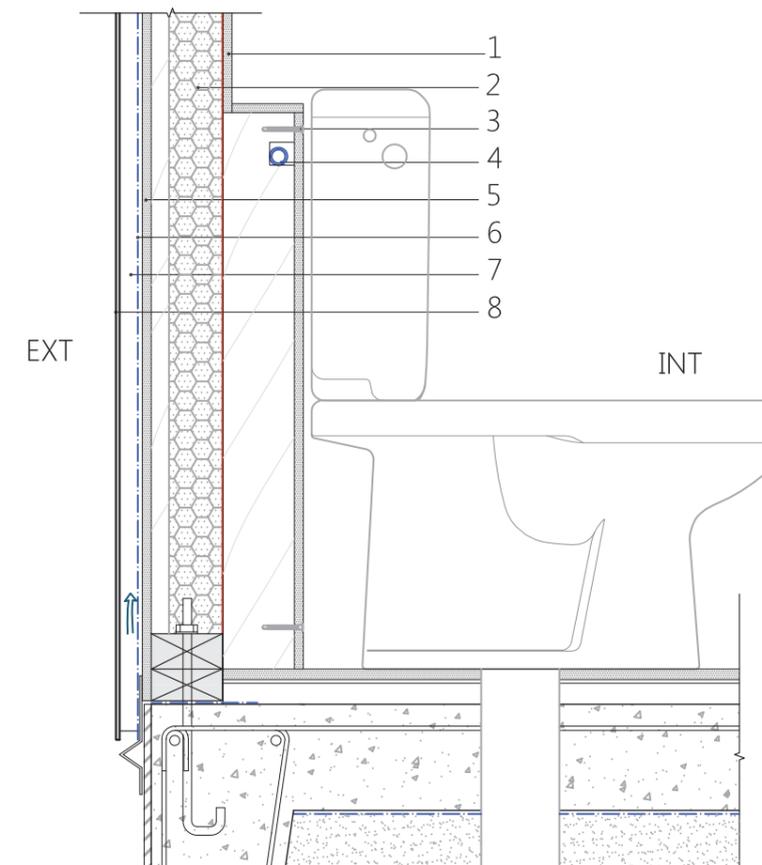
1. Cumbrera de chapa galvanizada, ventilada.
2. Perno con arandela y tuerca en platina de acero
3. Platina "U" de acero galvanizado con bulones que recibe a tirante de panel de cubierta.
4. Doble Viga 3"x 10" pino nac. EXT impreg.
5. Cielorraso de OSB (la ultima placa se coloca en obra para permitir union de paneles)
6. Solape de barrera de vapor (foil de aluminio)



Detalle 6

Unión de zócalo técnico con panel de muro. Vista en alzado. Esc. 1:10.

1. Placa de yeso
2. Aislante térmico y acústico con barrera de vapor. Filtro de lana de vidrio 75mm, con foil de aluminio en cara interior 0.025mm.
3. Tornillo T2 para yeso
4. PPT 19,2mm abastecimiento agua fria
5. Placa rigidizadora OSB 11,1mm
6. Membrana impermeable al agua, estanca al aire y permeable al vapor (Tyvek).
7. Listón para crear cámara de aire ventilada
8. Chapa galvanizada e= 0.06mm (cal24)



3.2.4. Estructura

Al igual que en el sistema plataforma, la transmisión de las cargas verticales se realiza por medio de los muros que en nuestro caso son paneles prefabricados, los cuales a su vez se apoyan en la solera inferior y ésta en la fundación.

Los elementos horizontales (corta fuegos) colaboran en acortar la luz de pandeo de los pies derechos. Los elementos diagonales que comúnmente se colocan en los muros del sistema plataforma son sustituidos por las placas de OSB. Estas soportan los esfuerzos diagonales y colaboran en la rigidización del conjunto de cada panel. Al disponerse los paneles estructurales en ambos sentidos, el prototipo trabajará en conjunto frente a los esfuerzos del viento.

El tipo de madera, sección y tratamiento de protección son aspectos de diseño estrechamente relacionados a la estabilidad estructural y a la durabilidad en el tiempo.

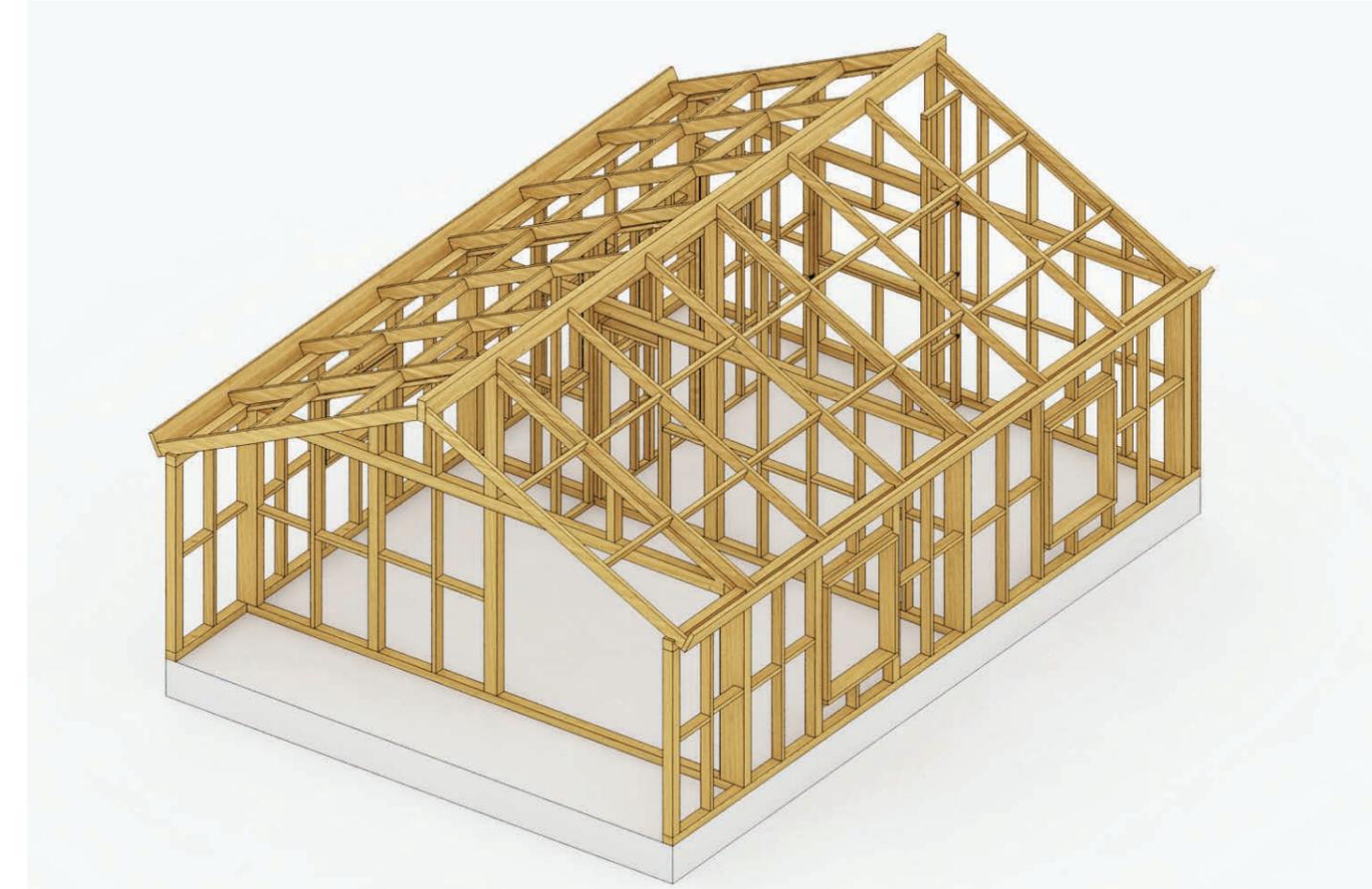
La durabilidad natural del pino frente a hongos se define como poco durable y frente a insectos se define como sensible. Recurrimos a una estrategia de protección por diseño para no someter a la madera a un ambiente que favorezca la aparición de dichos agentes destructores. En el prototipo se ha buscado proteger la madera por medio de un revestimiento metálico y una barrera impermeable estanca al aire y permeable al vapor del tipo que se comercializa con la marca Tyvek. Además, existe una cámara de aire ventilada que evita la condensación al interior del cerramiento. Podemos considerar entonces que la madera se encuentra en un ambiente interior, no expuesta a la intemperie ni a una humedad relativa del aire elevada que garantiza que el

contenido de la humedad de la madera será menor al 20%.

Se estima que bajo esas condiciones, la madera no es susceptible de deterioro biológico, ya que no se dan las condiciones necesarias para que exista una proliferación de hongos y el ataque de insectos es posible, aunque la frecuencia y la importancia depende de la región². Debido a esto, se puede utilizar madera de pino sin tratar.

Las piezas proporcionadas por el proveedor deberán tener un contenido de humedad no superior al 12%, la cual se corroborará mediante mediciones con un xilohigrómetro. Las mismas no deberán presentar defectos de secado, bolsas de resina ni nudos según lo especifica la norma chilena NCh1207.Of90. Además todos los componentes deberán estar protegidos por medio de impregnación con sales de CCA por métodos de presión y vacío a un contenido mínimo de 4 kg/m³ de óxidos activos.

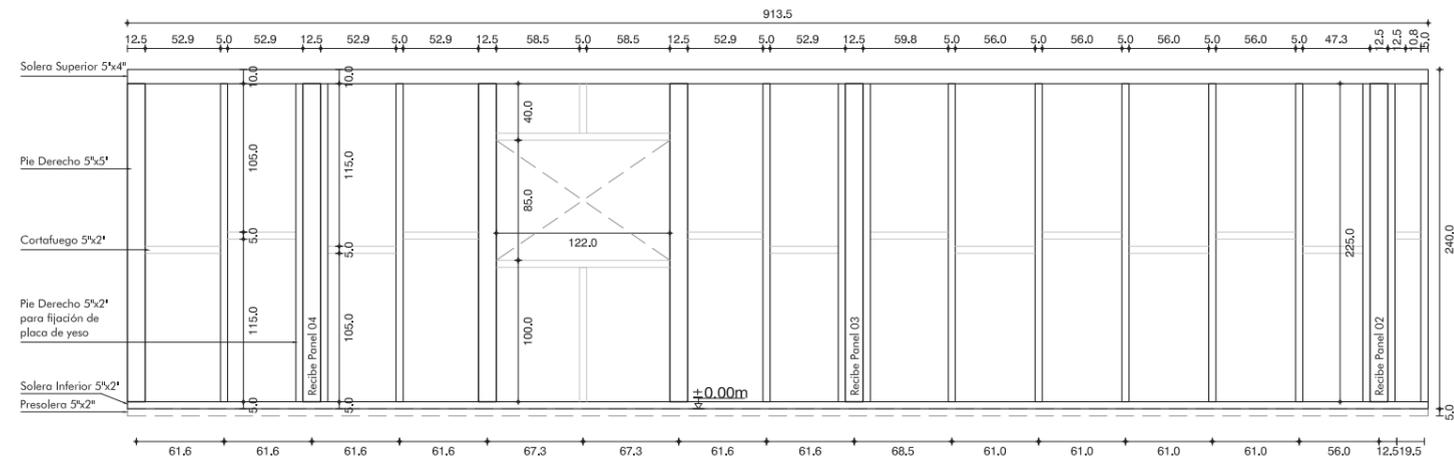
Esta norma establece criterios de clasificación visual especificando 3 grados de calidad: grado estructural selecto (GS), grado estructural 1 (G1) y grado estructural 2 (G2). Una ventaja de basarse en esta norma se debe a que las mediciones pueden establecerse rápidamente al momento de recibir los insumos y por lo tanto supone una ventaja al momento de controlar la calidad de las piezas entregadas por los proveedores. De acuerdo a la norma los grados GS y G1 se consideran como piezas con buena capacidad resistente y son aceptables para piezas expuestas a solicitaciones importantes por lo que las maderas que verifiquen el grado G2, es decir baja capacidad resistente se utilizarán para piezas estructurales que cumplan funciones secundarias como los cortafuegos o el zócalo técnico.



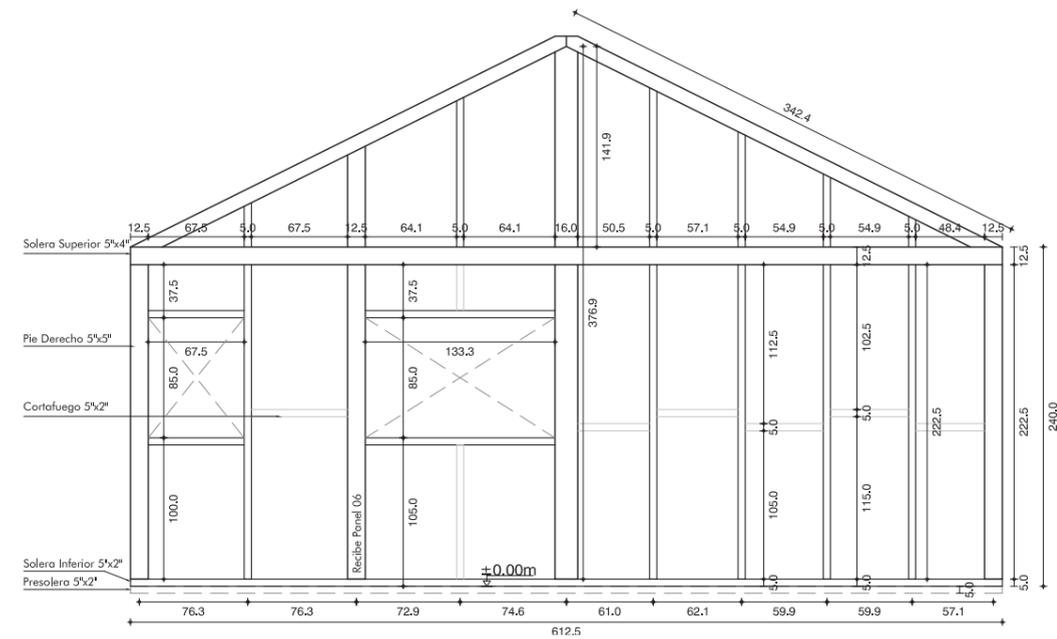
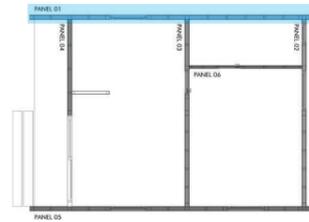
Estructura completa de la vivienda una vez que todos los paneles han sido fijados entre sí.

Nota 1: Norma Europea: EN 350-2. Durabilidad natural de la madera y de los productos derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Se ha tomado como referencia la especie Pinus Ellioti definida en la norma Europea ya que en Uruguay no se ha publicado aún la norma referente a la construcción en madera.

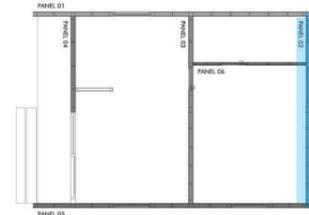
Nota 2: Norma Europea: EN 335:2013. Durabilidad natural de la madera y de los productos derivados de la madera. Clases de uso: definición, aplicaciones a la madera maciza y a los productos derivados de la madera.

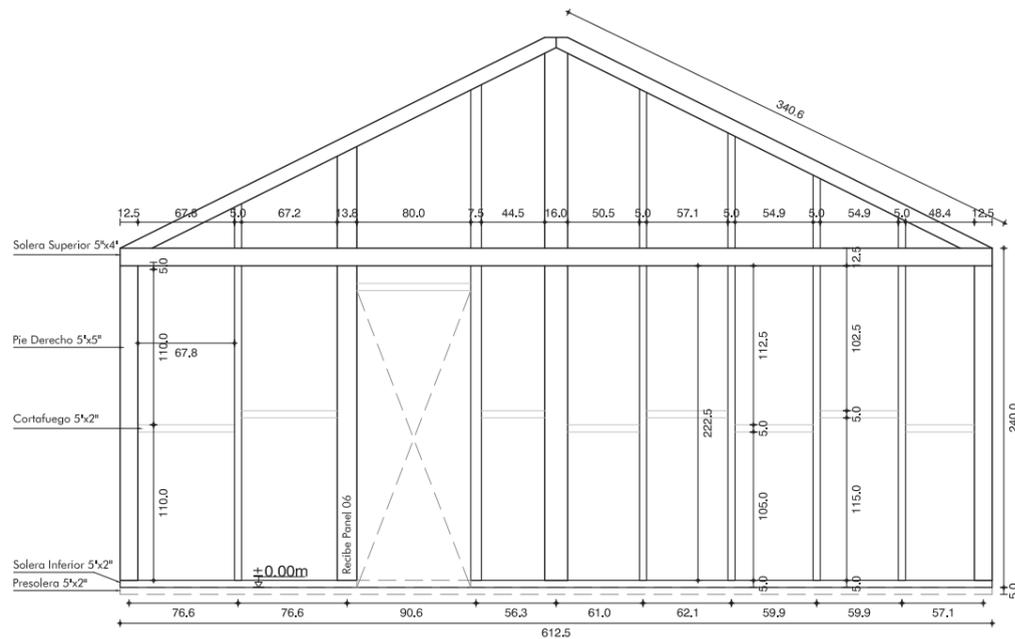


Panel 1
Panel longitudinal exterior
esc. 1:50

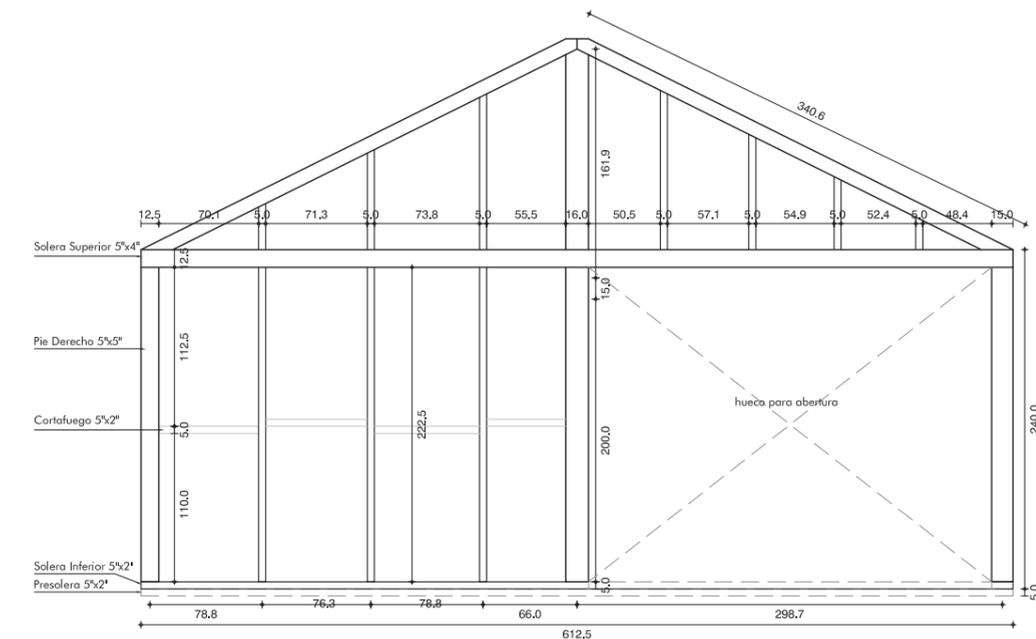
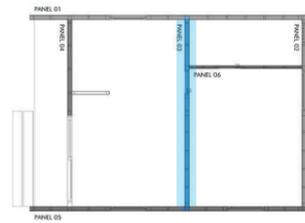


Panel 2
Panel transversal fachada
esc. 1:50

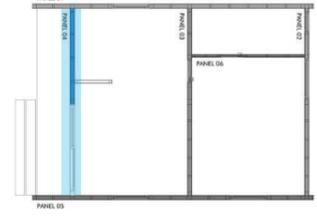




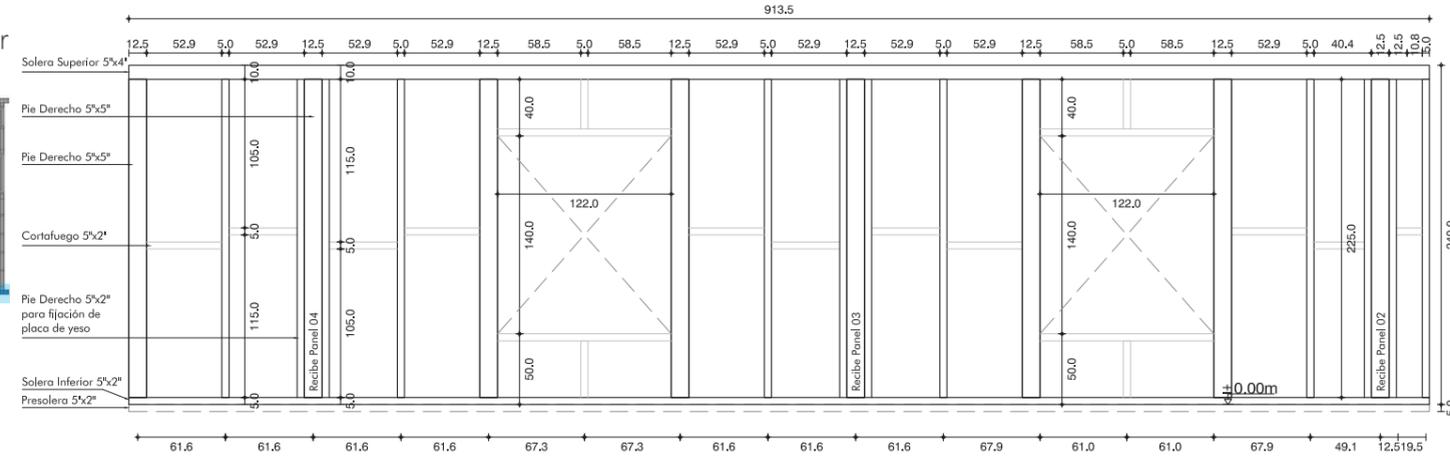
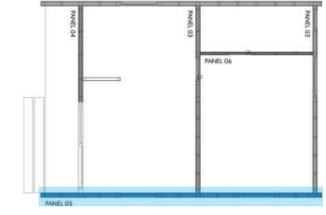
Panel 3
Panel transversal interior
esc. 1:50



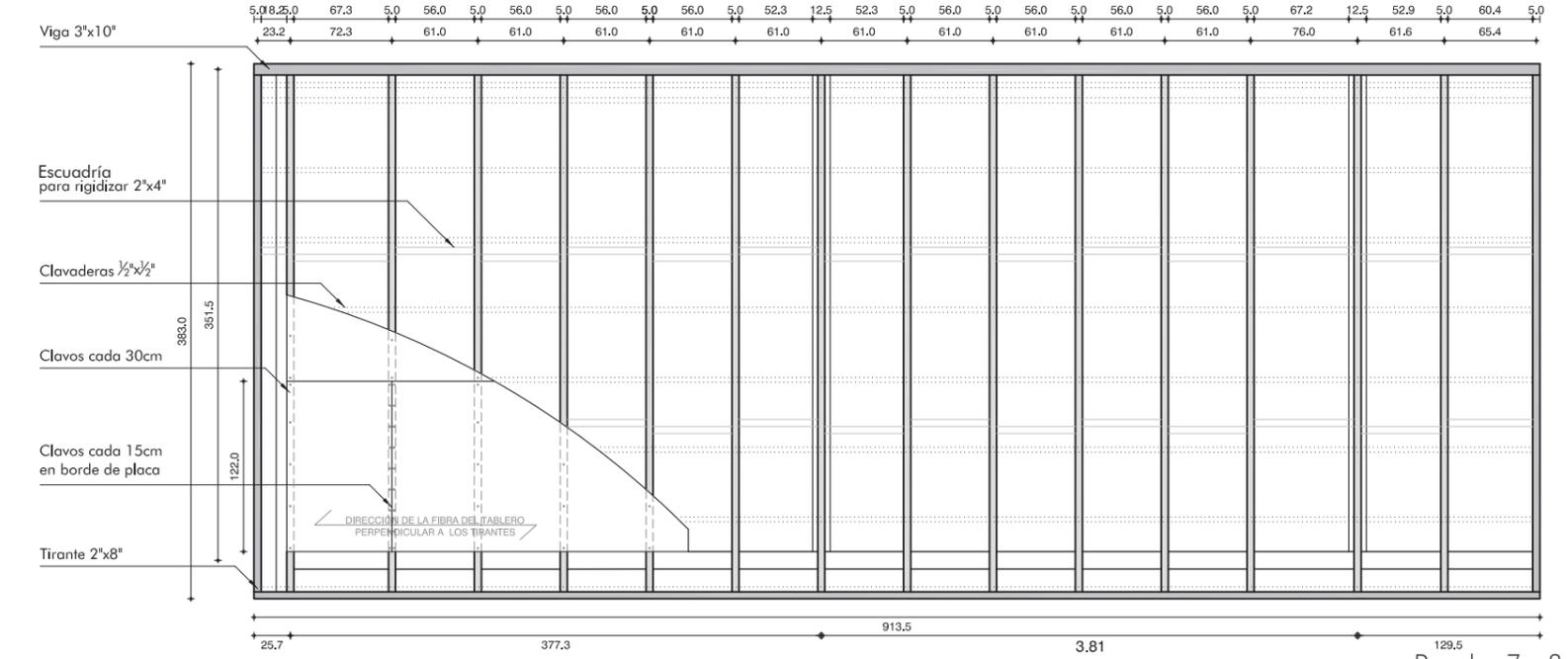
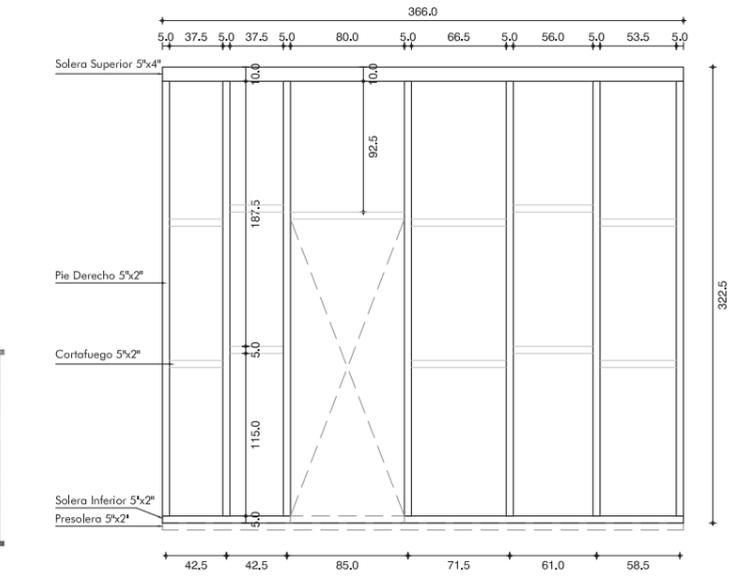
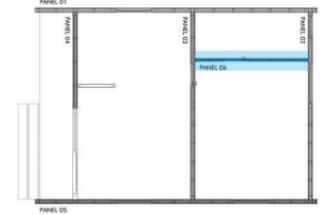
Panel 4
Panel transversal fachada
esc. 1:50



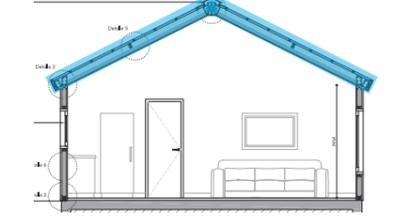
Panel 5
Panel longitudinal exterior
esc. 1:50



Panel 6
Panel interior dorm-baño
esc. 1:50



Paneles 7 y 8
Paneles de techo vista en verdadera magnitud
techo esc. 1:50



3.2.5. Materiales

Aislantes

Para poder desarrollar el sistema constructivo según como lo hemos especificado, los materiales deberán cumplir con las características para las cuales hemos verificado que los cerramientos cumplen con los objetivos deseados, sobre todo desde el punto de vista higrotérmico. En lo referente a la madera estructural sus características han sido desarrolladas en el capítulo anterior referente a estructura.

Siguiendo con la conformación de los muros, uno de los principales componentes además de la estructura resulta ser la capa aislante. Esta función aislante la cumple un fieltro de lana de vidrio tipo Isover®. Es un material liviano conformado por hilos de vidrio y papel Kraft. Posee una densidad de 50kg/m³ que le confiere la característica de un bajo coeficiente de transmitancia. Esta revestido con un resistente foil de aluminio en una de sus caras que orientada hacia el interior actúa como barrera de vapor. Este foil viene provisto de una solapa de 50 mm la cual permite cubrir las juntas manteniendo la continuidad de la capa y evitando el paso del vapor al interior de los cerramientos. También presenta un grado aceptable de absorción acústica, lo cual resulta una característica deseable para la cubierta ya que logra disminuir el sonido del ruido de la lluvia incidiendo sobre la cubierta de chapa galvanizada. Por estos motivos el fieltro tipo Isover resulta ser un aislamiento termo acústico apto para cerramientos livianos como los nuestros.

Al ser esta un material maleable tiene la ventaja de que se adapta perfectamente a los bordes de los nichos del muro y techo donde va colocado. En nuestro país el aislante tipo Isover® se comercializa en

rollos de 1,20 mts de ancho y en diversos espesores. En nuestro caso utilizaremos de 75mm para la cubierta y muros que se comercializa en rollos de 12mts.

Placas

En la fabricación de este prototipo se utilizarán 2 tipos de materiales en forma de placas. Por un lado las placas confeccionadas en fibras naturales como el OSB y por otro las placas de yeso.

Las placas de OSB (oriented strand board) son un producto derivado de la madera de concepción técnica avanzada se elaboran a partir de virutas, las cuales son unidas mediante una cola sintética y posteriormente prensadas a temperaturas determinadas.

Las virutas van dispuestas en capas diferenciadas: las capas exteriores son orientadas en dirección longitudinal mientras que las capas internas son orientadas en dirección perpendicular a la longitud del tablero. Esto les provee de resistencia mecánica que en nuestro caso cumplirá la función de ser el elemento arriostrante de los paneles. También cumplen la función de cielo raso y sostienen a la lana de vidrio superior. Estas placas de OSB deberán ser de espesor 11 mm de densidad 650 kg/m³. Se colocan tornilladas a la estructura de los paneles de techo en las vigas. Estas placas se comercializan en módulos de 1,22x2,44 mts.

La placas de yeso cumplen la función de cerrar los cajones de muros y dar terminación interior. Se presentan a su vez en 2 tipos: la placa blanca normal y la placa verde para sectores donde hay contacto con humedad. Su colocación es mediante tornillado a la estructura portante de los paneles

Membranas

El tyvek® es un material producido y registrado por la empresa fabricante de insumos para construcción DuPont™. Con el desarrollo de tecnologías constructivas en seco y construcción liviana se puede conseguir en nuestro medio desde hace ya algunos años y también materiales de similares características producidos por otros fabricantes. Este material se coloca en forma de membrana del lado más exterior de los cerramientos y después va recubierto por el revestimiento, que en nuestro caso es la chapa galvanizada. Esta membrana tiene la característica de conformar una lamina transpirable. Por este motivo es que también se le puede denominar como barrera selectiva. A diferencia de otras membranas similares el Tyvek no es un tejido sino que es un entramado a base de fibras de polietileno de alta densidad. Debido a su bajo peso y a su alta resistencia al desgarramiento, el Tyvek logró sustituir a otros productos naturalmente fuertes como, los plásticos pesados, las telas y las lonas. Tiene la característica de ser una lamina permeable al vapor pero a la vez hermética, gracias a su capa funcional de polietileno de alta densidad. Esta cualidad se debe a los millones de micro fibras no tejidas que la componen y forman un “laberinto” impermeable al agua pero permeable al vapor.

Minimiza la filtración de aire y agua al mismo tiempo que permite la eliminación de la humedad. Se presenta como sólida y resistente a los rayos UV, al desgaste y al deterioro durante la instalación. Por estos motivos es que permite la rápida eliminación de la condensación para una mayor protección de la estructura, mantiene la integridad y el rendimiento de los materiales aislantes y contribuye a una mejor salud ambiental. También Colabora a reducir las pérdidas energéticas causadas por las filtraciones de aire. Si no incorporáramos una mem-

brana de este tipo en los cerramientos se correría el riesgo de que se presenten diversos tipos de patologías dentro de la masa de los muros y cubiertas, todos asociados a las posibles condensaciones de agua que pudieran presentarse. Estas patologías podrían ser la degradación de la estructura de madera al estar en contacto con agua líquida, daños internos causados por la proliferación de agentes degradantes de tipo biológicos (hongos, moho e insectos) y disminución de la eficiencia del aislamiento térmico además de la posible degradación del mismo. Este material es extremadamente ligero, flexible y fácil de instalar. A fin de ayudar a alcanzar la estanqueidad de las láminas es importante seleccionar el adhesivo adecuado. La manera para reducir al máximo la infiltración de aire a través de las fachadas y cubiertas se consigue asegurando absoluta estanqueidad de juntas y solapes por lo que se utiliza cinta adhesiva del mismo material. Sellar la lamina con una cinta adhesiva apropiada es esencial para lograr la calidad, la durabilidad a largo plazo del sellado y la eficacia del sistema. Estos accesorios han sido desarrollados teniendo en cuenta las aplicaciones específicas. Así el fabricante garantiza calidad, compatibilidad y durabilidad. La cinta es un adhesivo de una cara para sellar juntas y solapes y mejorar el aislamiento alrededor de fisuras, canalizaciones y ventanas de las cubiertas y fachadas. Está fabricada con Tyvek® y un adhesivo acrílico que, una vez polimerizado, ofrece una larga durabilidad en nuestro caso utilizaremos la que se comercializa en rollos de 70 mm de espesor.

Chapa

Como terminación exterior hemos optado por colocar un material sumamente resistente a la acción de los rayos UV y el agua como la cha-

pa galvanizada. Ésta se comercializa en diversos tipos de acanalados. En nuestro caso utilizaremos la chapa acanalada de tipo trapezoidal debido a que permite un mejor encastre a los listones de amarre para conformar la cámara de aire de los cerramientos. También posee características estéticas que resultan agradables al diseño general del prototipo conformando una terminación mas o menos reflejante, además éste tipo de terminación permite cierto grado de personalización posibilitando ciertas variaciones en los colores del revestimiento exterior pudiéndose encontrar en plaza proveedores que ofrecen el material pre pintado. La chapa a utilizar tendrá un espesor de 0,6mm es decir calibre 24 o similar. La chapa galvanizada es un plano de acero con un tipo de revestimiento que se genera mediante la aplicación de una capa de cinc en ambas caras de una chapa de acero laminado en frío o en caliente, a esta proceso se le denomina justamente "galvanizado". El resultado es una chapa resistente, que permite proteger al acero de la corrosión. Por lo tanto combina las características de resistencia del acero con la durabilidad del zinc, siendo apto para fabricar piezas conformadas y sumamente resistentes a la acción del medio ambiente. El tipo de perfil brinda las características mecánicas, proporcionando un excelente rendimiento portante junto a un aspecto estético atractivo, lo cual la hace especialmente apta para uso en la cubierta de la vivienda además del uso en los cerramientos laterales para generar un revestimiento uniforme. Por otro lado las chapas pre-pintadas se obtienen a partir de un recubrimiento orgánico de poliésteres sobre un material base revestido. Estas chapas con color ofrecen gran resistencia a la corrosión además de su atractivo acabado de color. Al manipular estos materiales se deberán tomar las precauciones necesarias para evitar daños en los bordes y superficies.

Herrajes y Tornillos

En la conformación del prototipo se van a utilizar cuatro tipos distintos de herrajes galvanizados. El primer tipo es el ángulo de 90° que une paneles verticales entre si colocándose 3 de estos por cada esquina donde se unen 2 paneles y a distintas alturas, uno a 10cm del suelo otro en el medio del panel y el ultimo en el tramo superior a 10 cm de la solera superior.

Estos herrajes se tornillan a los pies derechos de ambos paneles con tornillos galvanizados auto-roscantes para madera. El segundo tipo de herraje es el que fija los paneles de techo con los paneles de muros. Este herraje también es un ángulo de 90° pero con un recorte diagonal superior y al igual que el anterior se coloca tornillado en la viga del panel y la solera superior. La viga del panel viene de fabrica con los pases para los tornillos de fijación.

Se colocan dos herrajes por unión y en la parte de la viga los tornillos son pasantes, con arandela y tuerca de ajuste fijando la viga en el centro. El siguiente tipo de herraje también se utiliza para la conformación de los paneles de techo para fijar las vigas laterales a la viga central y también se utilizan en la unión de las vigas laterales con la viga de borde, es similar al anterior pero uno de sus lados tiene el ángulo de la viga lateral. El cuarto tipo de herraje resulta ser una planchuela que se utiliza en la unión de los paneles de techo entre si una vez que han sido posicionados. Estos unen las vigas principales de ambos paneles en el tramo intermedio entre vigas laterales y se encargan de unificar estructuralmente esas vigas. Estas planchuelas se colocan de a dos por cada unión, una de cada lado y se unen mediante tornillos pasantes, ajustándose con arandelas y tuercas en sus cuatro esquinas, en las vigas se encuentran previstos los cuatro pases para los tornillos.



Madera estructural
Conformación: pino nacional
Humedad: 12% maxima
Dimensiones: secciones entre 5"x 2" a 5"x5" para esqueletos estructurales. Calidad verificada según norma chilena NCh1207. Of90
Presentacion: medidas en pies de madera.



Placa OSB
Conformación: virutas encoladas dispuestas en capas de orientación diferenciadas.
Espesor: 0,011 m
Densidad: 650kg/m³
Presentación: tableros de 1,22mts X 2,44mts



Lana de vidrio tipo Isover con foil de aluminio.
Conformación: Hilos de vidrios y papel kraft.
Espesor: 0,075 m
Densidad: 50 kg/m²
Presentación: rollos ancho 1.20mts y 12mts de largo



Diagrama de materiales e insumos que utiliza el prototipo.

Chapa galvanizada
Conformación: Chapa acanalada trapezoidal
Dimensiones: acanalado 20cm.
Espesor: Calibre 24 (0,6mm)
Terminación: normal o prepintada
Presentación: chapas de 1.05mtsX 3.05mts



Yeso
Conformación: núcleo de yeso revestido lámina de papel de celulosa en ambas caras. Tipo estándar y resistente a la humedad
Espesor: 0,0125 m
Densidad: 800kg/ m³
Presentación: modulos 1,22x2,44



Membrana impermeable.
Conformación: entramado de fibras de polietileno de alta densidad.
Espesor: 0,2 mm
Presentación: rollos de 1mts x 30mts. Cintas en rollos de 70mm de ancho.



Los 4 distintos tipos de herrajes y las situaciones en las cuales se utilizan

3.3. Comportamiento térmico

En la resolución del prototipo se ha considerado especialmente el comportamiento térmico de la envolvente. A la par de esto se tuvo especial cuidado en que los muros perimetrales, así como la cubierta, tuvieran un buen desempeño respecto al riesgo de condensaciones para evitar el surgimiento de patologías que a la larga pudieran degradar los componentes estructurales y de terminaciones

Es por eso que los paramentos y el techo se encuentran ventilados y con sus correspondientes barreras de vapor para evitar una de las principales patologías de las construcciones de madera la cual resulta de la exposición de la madera al contacto continuo con el agua o la humedad generando la proliferación de los agentes patógenos tales como insectos y hongos que terminan afectando la durabilidad de la construcción.

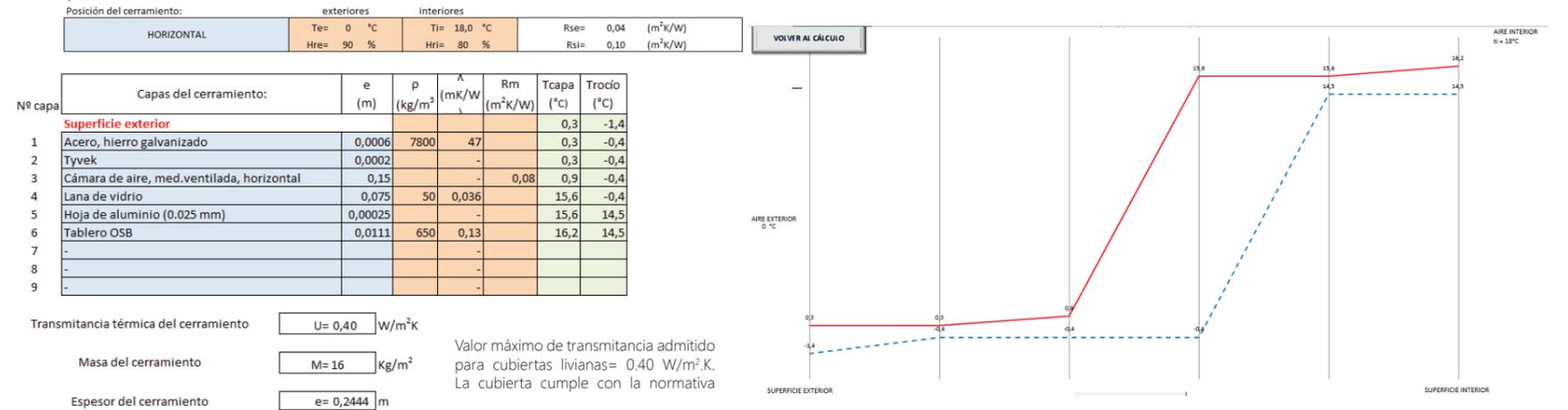
El cerramiento vertical consiste en paneles formados por revestimiento interior de yeso. En el interior se coloca la aislación térmica la cual consiste en lana de vidrio recubierta en una de sus caras con foil de aluminio el cual cumple la función de barrera de vapor y en sus solapes también se cubren los pies derechos logrando una total hermeticidad al vapor de todo el cerramiento. Esta capa aislante esta constituida por lana de vidrio de densidad 50 kg/m³ con un espesor de 10cm aportando la mayor parte de la capacidad aislante del paramento (U= 0.036 m.K/W). Siguiendo hacia el exterior se encuentra el tablero contrachapado de densidad 300 Kg/m³ (U= 0.09 m.K/W). Sobre este se coloca la membrana impermeable tipo Tyvek la cual es impermeable al agua proveniente del exterior pero a la vez deja pasar el vapor de agua permitiendo respirar el cerramiento. Entre éste y la

capa más exterior del cerramiento se encuentra la cámara de aire de 3cm entre la placa de OSB y el cerramiento exterior de chapa galvanizada, la cual cumple la principal función de ventilar el cerramiento de manera de disipar la humedad al ambiente externo. Finalmente la terminación del cerramiento la constituye la chapa galvanizada de espesor 0,6mm (calibre 24), ésta cumple una función estética y también una función técnica que consiste en darle la terminación impermeable del cerramiento hacia el exterior.

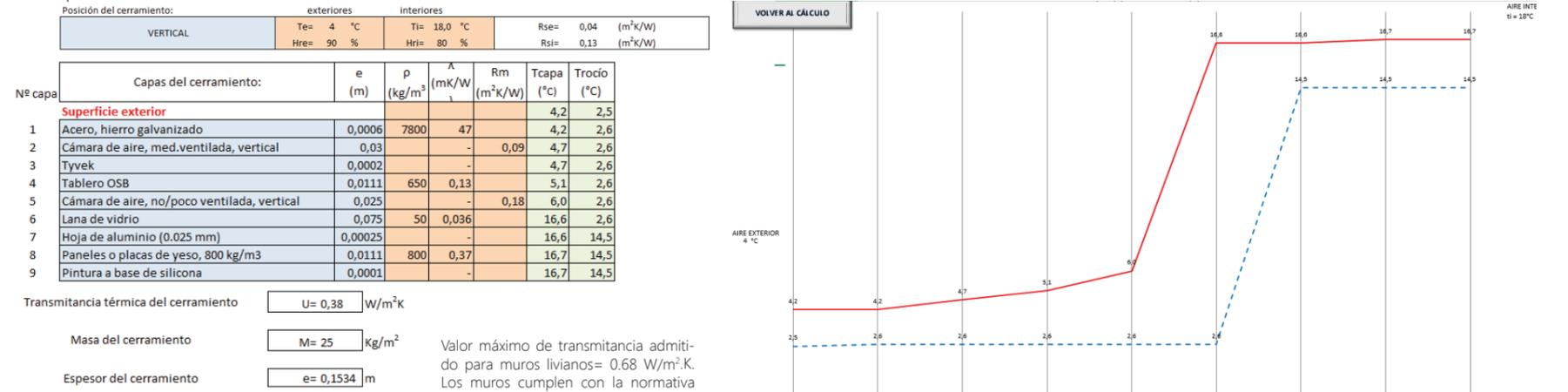
De esta manera se logra un muro cuya transmitancia térmica es de 0.38 W/m².K, el que cumple con la transmitancia mínima recomendada para cerramientos livianos U= 0.68 W/m².K.

El mismo criterio de diseño se tomó en cuenta para la cubierta superior. La cubierta entonces queda formada por paneles constituidos por un tablero de OSB hacia el interior. De esta manera el cerramiento superior queda conformado por las siguientes capas: Hacia el interior el tablero de OSB de densidad 650 Kg/m³ (U= 0.13 m.K/W). A continuación la barrera de vapor constituida por el foil de aluminio incorporado a la lana de vidrio. Le sigue la capa de lana de vidrio (U= 0.036 m.K/W) A continuación se encuentra la cámara de aire que queda entre la lana de vidrio y la chapa y cumple la función de ventilar el cerramiento. Sobre ésta se coloca la membrana tipo Tyvek que va fijada a los tirantes estructurales junto con las clavaderas para la chapa. Hacia el exterior el cerramiento culmina con la chapa galvanizada de 6mm. Resultando en un cerramiento cuyo valor de transmitancia es de 0.40 W/m².K, siendo un valor que cumple con la recomendación de transmitancia máxima para cerramientos livianos U= 0.40 W/m².K.

Comportamiento térmico de la cubierta



Comportamiento térmico de muros



3.4. Proceso de fabricación

El proceso de fabricación comprende el montaje en planta industrial de todos los insumos que componen cada panel que conforma el kit, el mismo comprende 3 tipos de paneles.

El primer tipo son los dos paneles longitudinales, el segundo grupo son los 3 paneles transversales o testeros y el tercer tipo son los dos paneles de techo. La principal diferencia entre los paneles longitudinales y transversales resulta ser la resolución de la estructura, que en los paneles transversales (paneles 2, 3 y 4) se adicionan los elementos estructurales necesarios para conformar la pendiente de los techos.

Los paneles de techo presentan una diferencia significativa en la unión de los componentes estructurales del panel debido al uso de herrajes en vez de tornillos galvanizados, esto permite que cuando los paneles se montan en su posición final puedan unirse por medio de las vigas centrales sin que las cabezas de los tornillos interfieran. Otro aspecto en que difieren de los paneles de muro es la distribución de las capas del cerramiento, habiendo una leve variante, como se puede apreciar en los detalles constructivos del capítulo anterior.

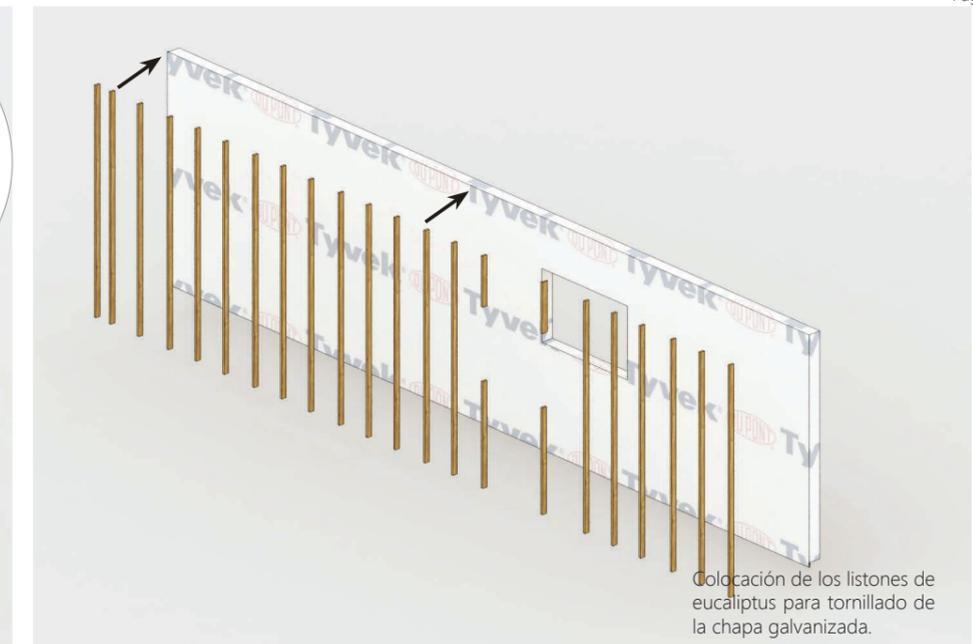
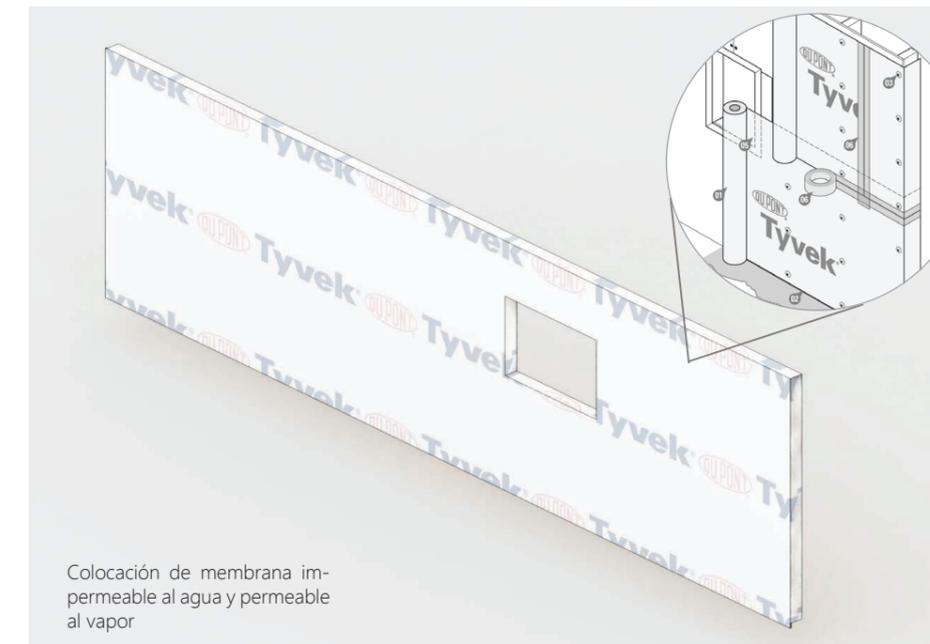
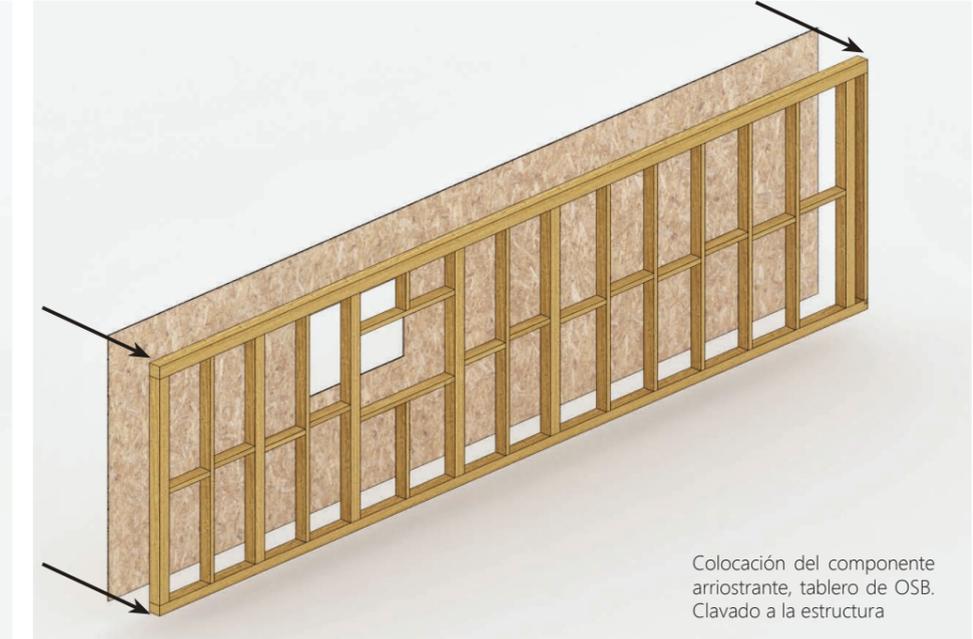
El primer paso en el proceso de fabricación de todos los paneles es el armado de la estructura una vez que todas las piezas estructurales de madera han sido cortadas en su medida correspondiente. Los tabiques son elementos entramados compuestos por piezas verticales y horizontales de madera que se distribuyen de forma uniforme en el panel. Las piezas de madera se unen entre si tornilladas, utilizan-

do dos tornillos de 5^{1/2"} de largo para poder atravesar las soleras y lograr una unión firme. La fabricación de los paneles de muros comienza por la unión de los pies derechos a las soleras y posteriormente se colocan los cortafuegos. Así queda conformado el esqueleto principal del panel.

El segundo paso es la colocación del componente arriostrante cuya función la cumple el tablero de OSB. Así se termina de completar la estabilidad estructural del panel estando el mismo rigidizado en todas sus direcciones. El OSB se coloca del lado exterior del esqueleto estructural y va clavado a los pies derechos y cortafuegos.

A continuación del tablero de OSB se coloca la membrana impermeable tipo Tyvek. Si bien existen manuales que detallan su correcta colocación, sólo mencionaremos aquí los aspectos principales. La colocación comienza desde abajo y se deben dejar un mínimo de 15cm para los solapes los cuales se unen mediante cinta adhesiva del mismo material. Las fijaciones van cada 45 cm Aprox en vertical y en horizontal utilizando clavos de cabeza ancha o grapas de 1". También se debe cubrir el vano haciendo pliegues con el Tyvek para envolver el marco. El siguiente paso en la fabricación de los paneles de muros consiste en la colocación de las clavaderas para la chapa galvanizada, son listones de 1^{1/2"} de eucalipto y van tornillados.

Una vez colocados se procede a la instalación del aislante térmico. La lana de vidrio tipo Isover debe recortarse para ser colocada en los nichos que forma el esqueleto estructural del panel. Una vez colocados también deben colocarse partes de foil de aluminio que cubran los pies derechos y los cortafuegos para darle continuidad a esa membrana asegurando la estanqueidad de la barrera de vapor.



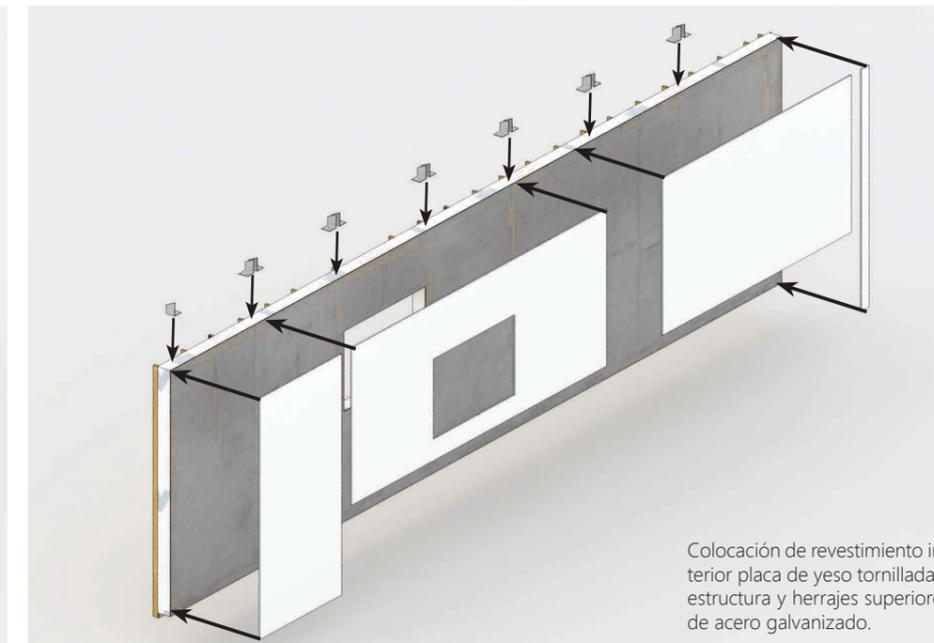
A continuación se colocará la placa de yeso la cual va tornillada a los pies derechos. En los paneles de muros se deja una franja de aproximadamente 30 cm para poder fijar los paneles a los pernos de espera que están en la platea. El panel numero 1 difiere en este aspecto ya que se dejan sin revestir los primeros 60 cm inferiores del panel debido a que esa parte estará ocupada por un zócalo técnico por donde circulan los abastecimientos de agua de cocina y baño además de los desagües de sanitaria de la pileta de cocina y la bacha del baño. En esta etapa de fabricación de los paneles también se colocan los herrajes superiores donde luego se tornillarán los paneles de techo. Estos herrajes de acero galvanizado se colocan con tornillos autoroscantes para madera sobre la solera superior.

En el paso siguiente se colocarán todos los elementos de chapa galvanizada, tales como el revestimiento, la babeta inferior y los cubre canto del muro. La chapa va tornillada utilizando tornillos autoroscantes y arandelas de goma para mejorar la estanqueidad de la unión. Lo primero en ser posicionado será la babeta inferior del muro, a continuación los cubre cantos y por sobre estos las chapas principales del revestimiento. Una vez que esta ha sido colocada se instala la babeta correspondiente al antepecho de la abertura. El paso final en la fabricación de los paneles de muros consta de la colocación de las aberturas las cuales quedan incorporadas al panel y terminan de conformar la unidad del elemento constructivo. Una vez que el panel esta terminado deben procurarse elementos de protección al ser transportados para evitar daños al momento de ser posicionados en obra. Principalmente debe evitarse que los mismos se golpeen entre si. Por lo tanto deberán utilizarse separadores al mo-

mento de acopiarlos sobre el camión. Para este objetivo alcanza con piezas de lana de vidrio que haya sobrado de la fabricación las cuales cumplirán la función de que una vez que los paneles se cargado en el camión mantenerlos juntos pero sin que se toquen entre si, lo cual dañaría las terminaciones.



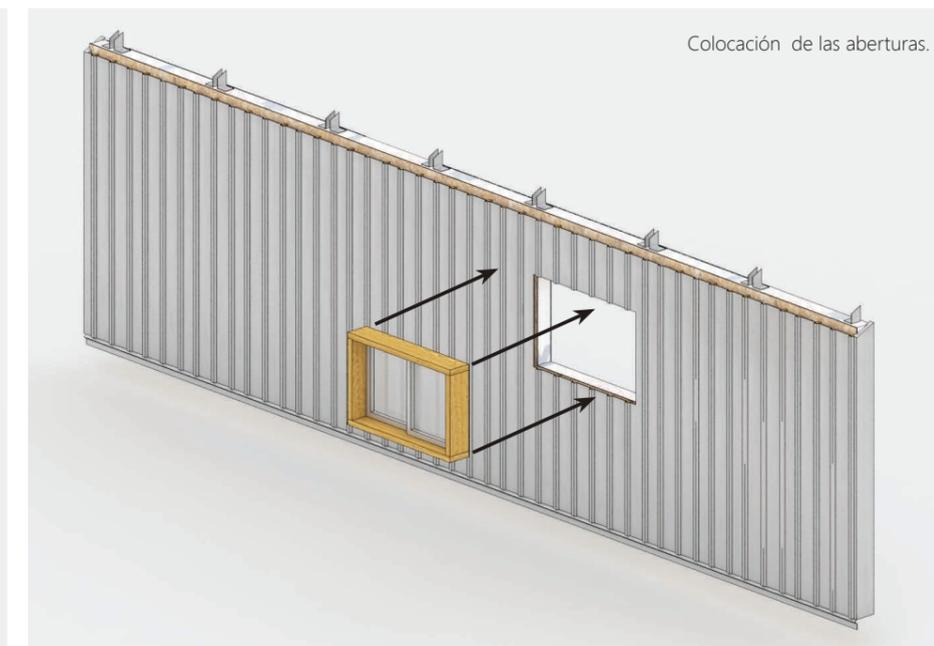
Colocación del aislante térmico +Barrera de vapor. Se cubre todo el interior del panel con solapas de foil de aluminio.



Colocación de revestimiento interior placa de yeso tornillada a estructura y herrajes superiores de acero galvanizado.



Colocación revestimiento exterior en acero galvanizado colocación de babeta inferior, abertura y cubre cantos laterales.



Colocación de las aberturas.

3.5. Proceso de montaje

Una vez que el terreno ha sido preparado y el kit de la vivienda ha sido trasladado al sitio donde será construida, se comienza con el proceso del armado. Se debe considerar que para el armado de la vivienda es necesaria una pequeña grúa o camión equipado con grúa en el mejor de los casos. El costo del traslado y armado queda comprendido como costo de armado incluyendo además el alquiler del camión. El proceso de armado entonces prosigue explicado en etapas para las cuales se especifican las tareas a realizar y el tiempo estimado de las mismas.

Etapa 1:

Esta primera etapa consiste en el replanteo sobre el terreno de la cimentación de la vivienda. Una vez hecho este paso se procede a la confección de los hormigones de fundación, anclaje de los pernos para sujetar la estructura de madera, apisonado y nivelado del relleno y confección del contrapiso.

En una primera instancia se elaboran las vigas perimetrales teniendo en consideración un tiempo prudencial antes de desencofrar, el cual no debería ser menor de unos cinco días. Al momento de llenar estas vigas se colocan en el hormigón aún en estado plástico los pernos de acero verificando la total verticalidad de cada uno. Para esto deberán estar replanteados previamente uno por uno a modo de evitar errores en el posicionado.

Una vez que las vigas perimetrales han sido desencofradas se procede al relleno y apisonado para lograr un sustrato compacto sobre el cual confeccionar el entrapiso. Al momento de colocar el hormigón del entrapiso también deberemos colocar los pernos de anclaje para los tabiques interiores.

Etapa 2:

Una vez que el hormigón ha fraguado y los pernos se encuentren firmemente fijados en el hormigón se podrá proceder con la colocación de las presoleras de los tabiques perimetrales e interiores. Antes de la colocación de las presoleras se coloca una membrana asfáltica impermeable la cual cumple la función de evitar el contacto de la madera con el hormigón para que no absorba el agua de constitución del mismo.

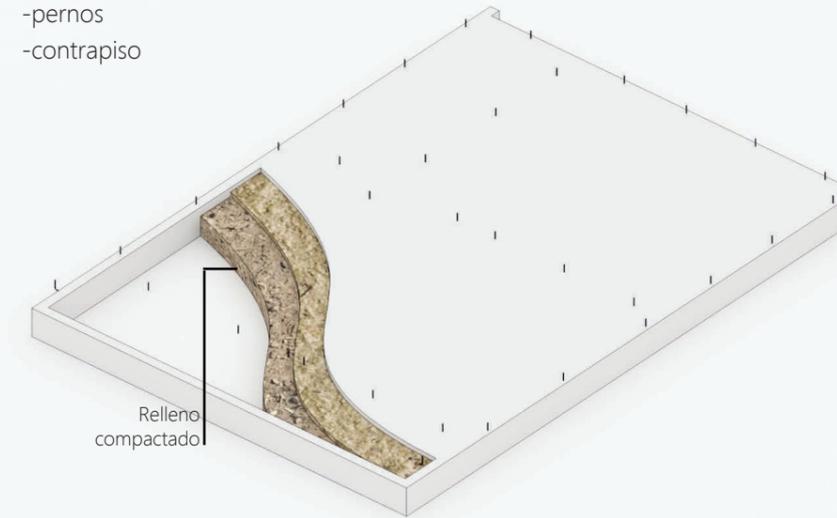
Etapa 3:

En este momento ya es necesario que la vivienda desarmada haya sido trasladada al sitio y que se cuente con una pequeña grúa para proceder con el montaje. En esta etapa del armado se coloca el panel número 1. El proceso de montaje consiste en mantenerlo suspendido con la grúa e ir aproximándolo lentamente para hacer coincidir los pernos de espera que están fijados en el hormigón con los agujeros previstos en la solera del panel tabique. Para este paso y los siguientes se precisará la labor de 2 operarios los cuales tienen la tarea de ir guiando los paneles en el posicionado.

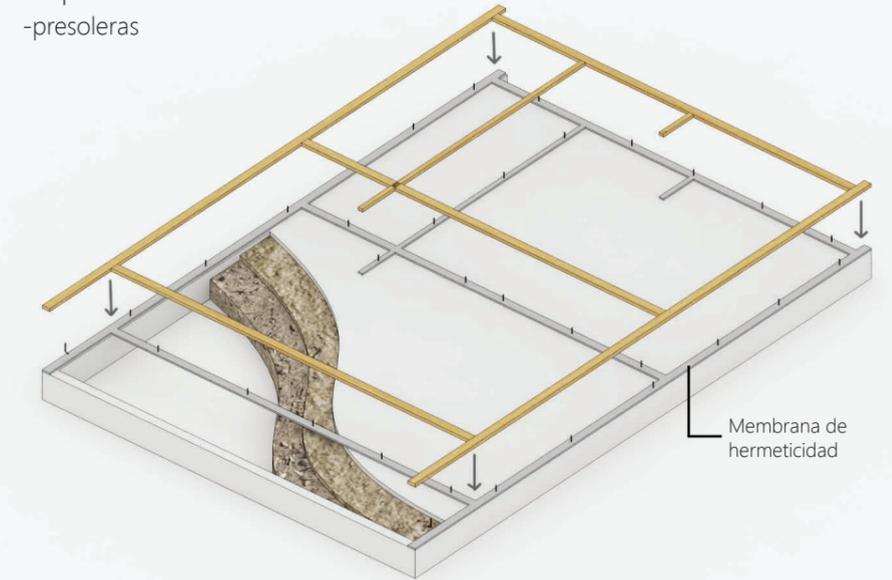
Etapa 4:

Una vez que el panel ha sido posicionado en los pernos se procede al proceso de fijación. Se debe verificar la verticalidad del mismo y una vez en posición se apuntala con elementos diagonales provisionales. De esta manera se procede a fijación de los mismos con tuercas y arandelas. Este panel presenta la particularidad de que su parte inferior no está completa con el revestimiento de yeso, esto se debe a que por

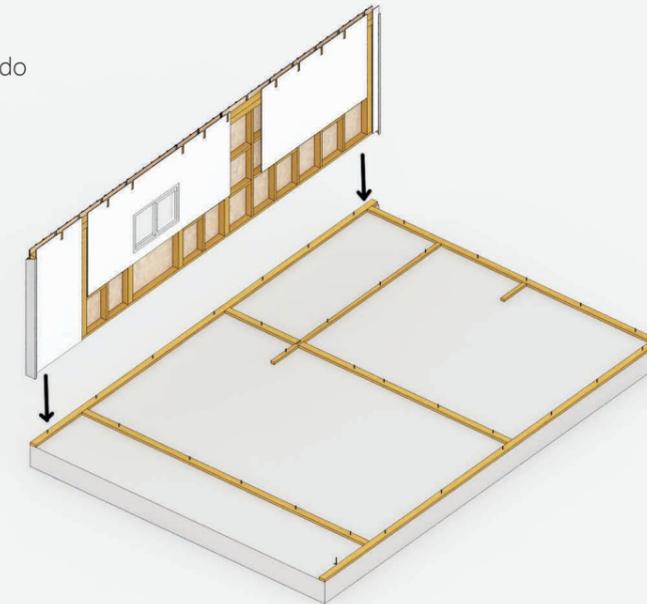
Etapa 1:
-replanteo
-hormigón
-pernos
-contrapiso



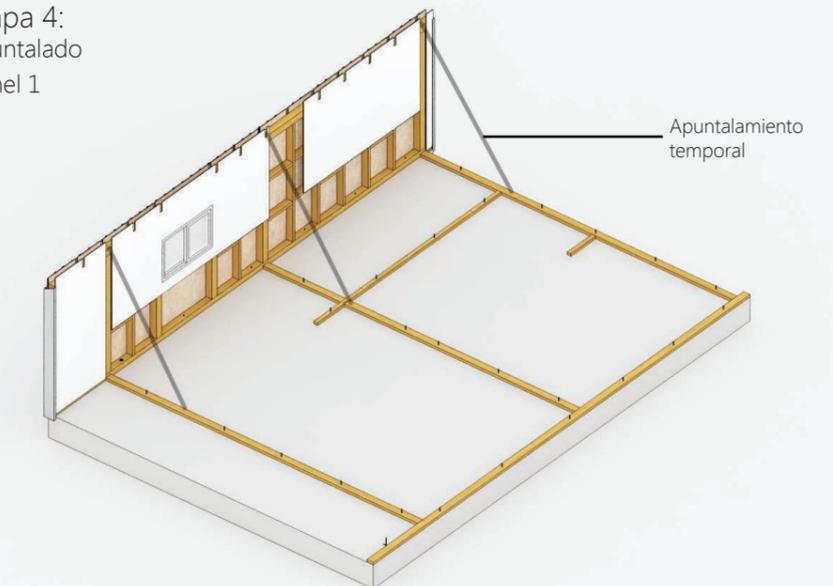
Etapa 2:
-presoleras



Etapa 3:
posicionado
panel 1



Etapa 4:
apuntalado
panel 1



este sector va a circular la instalación sanitaria la cual va dentro de un zócalo técnico a modo de no debilitar la estructura del panel.

Etapa 5:

Una vez que todos los pernos del panel 1 han sido fijados se procede con el posicionado de los paneles transversales siendo el panel número 2 el que corresponde a la fachada posterior, el 3 es el panel central el cual es interior y el 4 corresponde a la fachada principal. El orden de colocación corresponde con la nomenclatura.

El procedimiento de colocación en los pernos es análogo al del panel 1 con la ayuda de la pequeña grúa y 2 operarios para ir corrigiendo la posición. De la misma manera se apuntalan con elementos diagonales temporales y se procede al fijado con tuercas y arandelas en la solera inferior y con platinas de acero en ángulo con el panel perpendicular. El panel 2 entonces queda fijado en toda su parte inferior y además en el lado en que se encuentra con el panel 1 mediante la platina de acero. De manera análoga se sigue el mismo procedimiento para los otros 2 paneles. Para estos efectos los mismos cuentan con recortes en el revestimientos a fin de posibilitar la fijación mediante las tuercas y arandelas. Ver detalle.

Etapa 6:

Una vez que los paneles 2,3 y 4 han sido fijados se procede a la colocación de los paneles interiores. De manera análoga a la anterior se posicionan y se fijan mediante el mismo método anteriormente descrito. A medida que se van fijando estos paneles se pueden ir retirando los apuntalamientos provisorios.

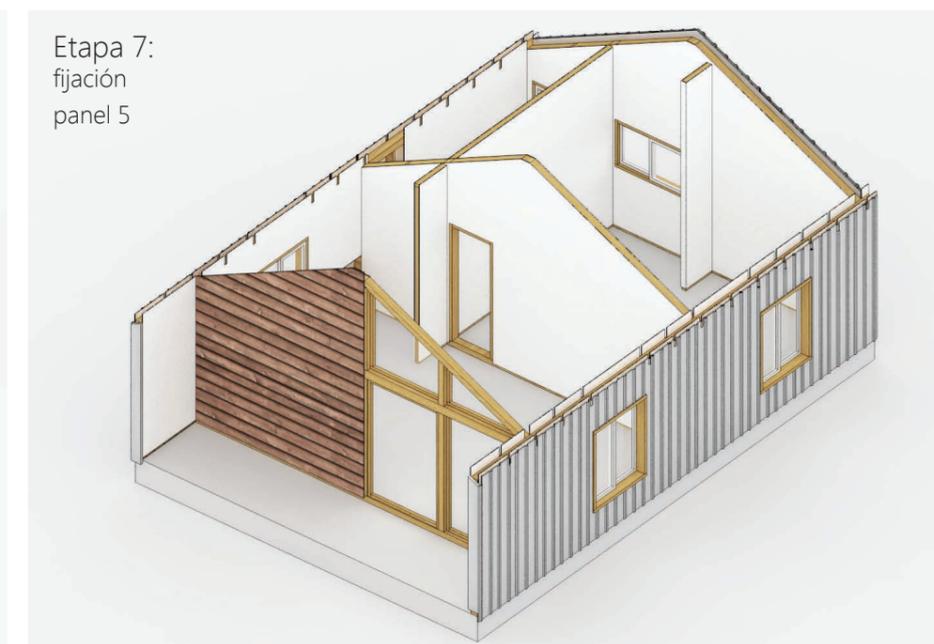
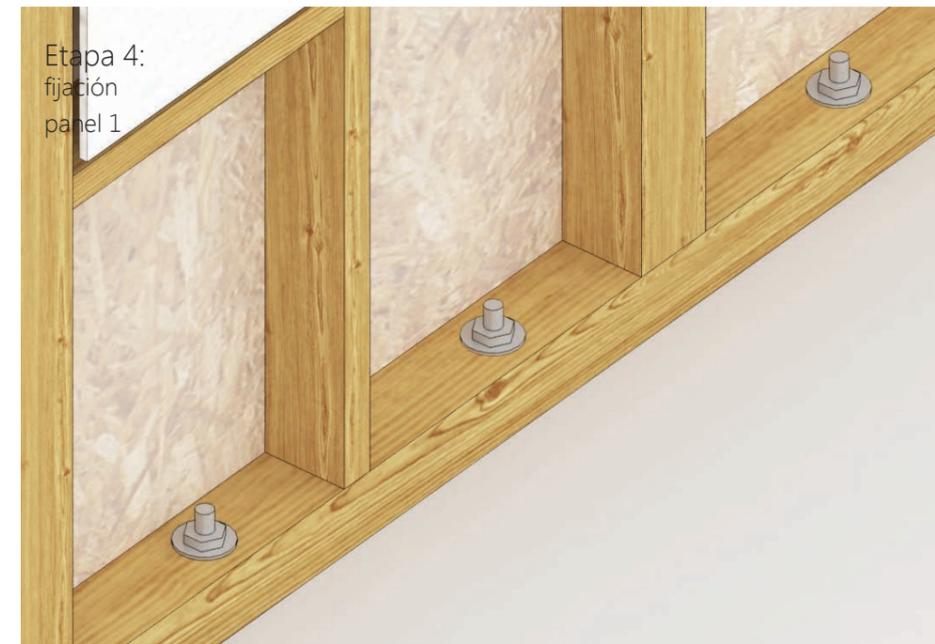
Etapa 7:

El siguiente paso en el montaje de la vivienda lo constituye el terminar de conformar la envolvente y de esta manera terminar de trabar todos los paneles entre si. Se procede entonces a posicionar y fijar el panel número 5 de la misma manera que los paneles anteriores con la ayuda de la grúa y dos operarios para posicionarlo correctamente en los pernos. Posteriormente se procede a la fijación con tuercas y arandelas con la solera inferior y con platinas y tornillos con los otros paneles. En este caso y por ser el ultimo panel la estructura portante queda completada y no es necesario utilizar elementos auxiliares para apuntalamiento.

Etapa 8:

Una vez que todos los paneles han sido fijados entre si y a las cimentaciones, la estructura portante ya esta rigidizada de tal manera que se puede proceder a la colocación del techo. El mismo esta constituido por dos paneles individuales cada uno correspondiente con cada una de las aguas del techado.

El procedimiento de colocación es similar al de los paneles verticales. Utilizándose para tal fin la grúa para elevar los paneles sobre la estructura y de a poco ir colocándolo en posición. Una vez posicionados los paneles se apoyan sobre la estructura de los muros. Las vigas de los paneles del techado quedan entonces en contacto sobre las sobre soleras de los paneles muro. A su vez los paneles de techos se fijan a la estructura de los paneles verticales mediante platinas de acero las cuales van tornilladas a la sobre solera se muros y a las vigas del techado según se puede ver en el detalle de la unión.



Etapa 9:

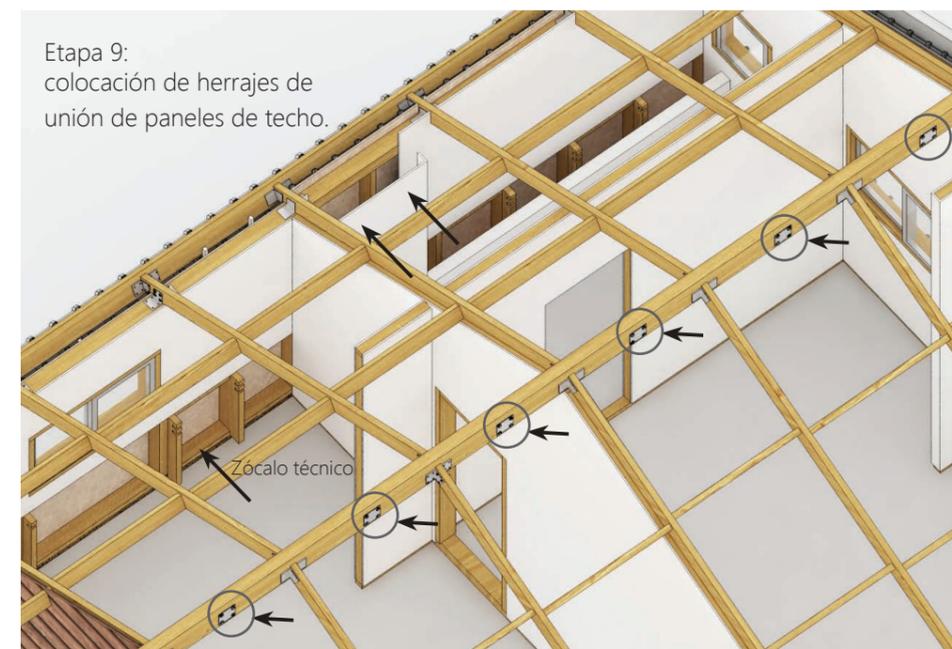
Una vez que los paneles de los techos han sido fijados a la estructura de los paneles verticales, estos quedan a su vez apoyados entre si, pero para terminar de rigidizar el conjunto de la estructura es necesario terminar de fijarlos entre ellos. Para este propósito se utilizan platinas metálicas las cuales unen entre si las vigas centrales de 3"x 10" (ver detalle 4, pag 42) de ambos paneles conformando una viga del doble de ancho, que unidos de esta manera trabajan solidariamente como una única pieza los 2 paneles de techo.

Otra tarea a realizar en esta etapa de armado consiste en el montaje del zócalo técnico por donde va a ir la instalación sanitaria. Se colocan pequeñas escuadrías que vienen caladas de fabrica para permitir el pasaje de las tuberías de abastecimiento. Una vez colocadas las mismas las cuales van tornilladas a los pies derechos del panel del muro se montan los caños de abastecimiento de polipropileno termofusionado. Una vez realizado esto se procede a colocar el revestimiento de yeso que terminan de cerrar el zócalo. Cabe recordar que en esta parte el yeso debe ser la placa especial resistente al agua.

Etapa 10:

Esta etapa consiste en realizar las tareas de terminaciones. Una vez realizada la unión de ambos paneles se procede a la colocación de la cumbrera de chapa. Esta se coloca tornillada en las partes altas del acanalado de la chapa galvanizada asegurando que los tornillos cuenten con la arandela de goma que evite la filtración de agua. En su mayoría son tareas a realizar en el interior una vez que el techado permite realizar actividades que se podrían alterar con la in-

temperie. Sobre todo completar los revestimientos de yeso donde se han dejado recortes para permitir el tornillado de los herrajes. Otras tareas de terminación como colocación de pavimentos y la instalación eléctrica la cual va vista dentro de tubos de acero galvanizado según la normativa de UTE para viviendas de madera. Se completan también otras terminaciones como colocación de zócalos y hojas de puertas. En el exterior se completa la unión de techos con paramentos colocando la rejilla que cierra la cámara de aire ventilada.



4. Viabilidad económica

4.1. Metrajes y rubrado

Con el objetivo de establecer criterios comparativos para poder evaluar el prototipo desde el punto de vista de los costos, se ha tomado como criterio dividir el rubrado en 3 categorías, las cuales además corresponden con los distintos momentos del proceso productivo. Estas categorías son: Materiales y mano de obra en la fabrica, Costos de traslado y montaje, Materiales y mano de obra a pie de obra (in-situ).

La primer categoría se corresponde con las tareas que se realizarán en fábrica comprendiendo también la mano de obra. Por este motivo se ha desarrollado un cuadro de materiales para cada panel y un cuadro de mano de obra de fabrica, el cual recopila el precio de todas las tareas realizadas para la fabricación del prototipo ex-situ.

La segunda categoría recopila todos los costos del traslado y montaje por lo que se enumera el costo del arriendo de un camión con grúa y el costo del montaje del prototipo en el sitio.

La tercera categoría corresponde a las tareas que se pueden cotizar a la manera en que normalmente se cotizan las obras. Esto se debe a que son tareas comunes y corrientes en la construcción tradicional, tales como confección de hormigón armado o impermeabilizaciones. Dentro de esta categoría se diferencian además otros dos cuadros de tareas.

Por un lado se encuentra el cuadro de las tareas previas a la implantación del prototipo que incluye la preparación del terreno, ci-

mentaciones, etc. Por otro lado se encuentra el cuadro de las tareas post-armado del prototipo, siendo éstas las tareas de terminaciones y finalización.

Los precios de la madera se corresponden con los precios al cual se comercializa la madera en plaza sin IVA, a la fecha de realizado este trabajo.

Para la mano de obra existe una diferencia sustancial en lo que respecta a las leyes sociales. Por un lado la mano de obra in-situ es decir de obra húmeda se rige por lo dispuesto en el Decreto 159/013, el BPS establece que la tasa del Aporte Unificado de la Construcción (AUC) que rige desde Noviembre 2012 es de 70.8 % al que se le debe agregar el correspondiente porcentaje 4 % de C.J.PPU.(Ley N° 17738) para obras de arquitectura privada, por lo tanto los valores considerados se corresponden con el laudo tanto del precio de la mano de obra como de las leyes sociales. La mayoría de los datos del cuadro de mano de obra in-situ vienen de la publicación “Costos de componentes de obra” de la empresa Inca. Por otro lado la mano de obra en fábrica se rige por las leyes de industria y comercio por lo tanto se considera el aporte a leyes sociales en un 25% del valor liquido de la mano de obra.

Costos de materiales de la etapa hecha en fabrica

| ITEM PANEL CUBIERTA | | | | | | | | | | |
|------------------------|----------|----------|-----------|------------|------------|-----------|---------|----------|------------|----------------------|
| NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | ANCHO mts | ALTURA mts | SECCION m2 | LARGO mts | M3 UNIT | M3 TOTAL | PIE3 TOTAL | MATERIAL |
| VIGA 8x2" | Pies | 13,00 | 0,05 | 0,20 | 0,01 | 3,70 | 0,04 | 0,48 | 203,81 | PINO NAC impreg. CCA |
| VIGA PPAL 10x3" | pies | 1,00 | 0,08 | 0,25 | 0,02 | 9,14 | 0,17 | 0,17 | 72,58 | PINO NAC impreg. CCA |
| CLAVADERAS 1,5"x1,5" | Pies | 9,00 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 9,14 | 0,01 | 0,12 | 48,80 | PINO NAC |
| OSB 2,44x1,22x1,1mm | Planchas | 12,00 | | | | | | | | |
| LANA DE VIDRIO | Rollos | 2,15 | 1,20 | | | 12,00 | | | | |
| TYVEK | Rollos | 1,20 | 1,00 | | | 30,00 | | | | |
| CHAPA GALVANIZADA | Chapas | 15,50 | 0,90 | | | 2,90 | | | | |
| CUMBRERA | unitario | 1,00 | | | | 9,14 | | | | |
| HERRAJES | unitario | 35,00 | | | | | | | | ACERO GALVANIZADO |

| ITEM PANEL 1 | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|----------|-----------|------------|------------|-----------|---------|----------|------------|----------------------|
| NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | ANCHO mts | ALTURA mts | SECCION m2 | LARGO mts | M3 UNIT | M3 TOTAL | PIES TOTAL | MATERIAL |
| PIES DERECHOS 5x2" | Pies | 12,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 2,23 | 0,01 | 0,17 | 70,71 | PINO NAC impreg. CCA |
| PILARES 5x5" | pies | 9,00 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | 2,23 | 0,03 | 0,31 | 132,58 | PINO NAC impreg. CCA |
| CORTAFUEGOS 5x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 12,44 | 0,08 | 0,08 | 32,94 | PINO NAC impreg. CCA |
| SOLERA INFERIOR 5x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 9,15 | 0,06 | 0,06 | 24,23 | PINO NAC impreg. CCA |
| SOLERA SUPERIOR 5X5" | pies | 1,00 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | 9,15 | 0,14 | 0,14 | 60,58 | PINO NAC impreg. CCA |
| CLAVADERAS 1,5"x1,5" | Pies | 17,00 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,05 | 20,17 | PINO NAC |
| YESO | Planchas | 7,30 | 1,22 | 2,44 | 2,98 | | | | | |
| OSB 2,44x1,22x1,1mm | Planchas | 7,30 | 1,22 | 2,44 | 2,98 | | | | | |
| LANA DE VIDRIO | Rollos | 1,50 | 1,20 | | | 12,00 | | | | |
| TYVEK | Rollos | 0,73 | 1,00 | | | 30,00 | | | | |
| CHAPA GALVANIZADA | Chapas | 8,00 | 0,90 | | | 2,90 | | | | |
| HERRAJES | unitario | 8,00 | | | | | | | | ACERO GALVANIZADO |

| ITEM PANEL 2 | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|----------|-----------|------------|------------|-----------|---------|----------|------------|----------------------|--|
| NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | ANCHO mts | ALTURA mts | SECCION m2 | LARGO mts | M3 UNIT | M3 TOTAL | PIE3 TOTAL | MATERIAL | |
| PIES DERECHOS 5x2" | Pies | 5,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 2,23 | 0,01 | 0,07 | 29,46 | PINO NAC impreg. CCA | |
| PILARES 5x5" | pies | 4,00 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | 2,23 | 0,03 | 0,14 | 58,92 | PINO NAC impreg. CCA | |
| TIMPANO 5x5" | pies | 1,00 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | 8,96 | 0,14 | 0,14 | 59,32 | PINO NAC impreg. CCA | |
| TIMPANO 5x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 6,92 | 0,04 | 0,04 | 18,33 | PINO NAC impreg. CCA | |
| CORTAFUEGOS 5x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 7,90 | 0,05 | 0,05 | 20,92 | PINO NAC impreg. CCA | |
| SOLERA INFERIOR 5x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 6,12 | 0,04 | 0,04 | 16,21 | PINO NAC impreg. CCA | |
| SOLERA SUPERIOR 5X5" | pies | 1,00 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | 6,84 | 0,11 | 0,11 | 45,29 | PINO NAC impreg. CCA | |
| CLAVADERAS 1,5"x1,5" | Pies | 11,00 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 2,60 | 0,00 | 0,04 | 16,97 | PINO NAC | |
| OSB 2,44x1,22x1,1mm | Planchas | 6,50 | 1,22 | 2,44 | 2,98 | | | | | | |
| YESO | Planchas | 6,50 | 1,22 | 2,44 | 2,98 | | | | | | |
| LANA DE VIDRIO | Rollos | 1,30 | 1,20 | | 14,40 | 12,00 | | | | | |
| TYVEK | Rollos | 0,65 | 1,00 | | 30,00 | 30,00 | | | | | |
| CHAPA GALVANIZADA | Chapas | 7,50 | 0,90 | | 2,61 | 2,90 | | | | | |
| HERRAJES | unitario | 12,00 | | | | | | | | ACERO GALVANIZADO | |

| ITEM PANEL 3 | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|----------|-----------|------------|------------|-----------|---------|----------|------------|----------------------|--|
| NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | ANCHO mts | ALTURA mts | SECCION m2 | LARGO mts | M3 UNIT | M3 TOTAL | PIE3 TOTAL | MATERIAL | |
| PIES DERECHOS 5x2" | Pies | 6,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 2,23 | 0,01 | 0,08 | 35,35 | PINO NAC impreg. CCA | |
| PILARES 5x5" | pies | 4,00 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | 2,23 | 0,03 | 0,14 | 58,92 | PINO NAC impreg. CCA | |
| TIMPANO 5x5" | pies | 1,00 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | 8,96 | 0,14 | 0,14 | 59,32 | PINO NAC impreg. CCA | |
| TIMPANO 5x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 6,92 | 0,04 | 0,04 | 18,33 | PINO NAC impreg. CCA | |
| CORTAFUEGOS 5x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 6,12 | 0,04 | 0,04 | 16,21 | PINO NAC impreg. CCA | |
| SOLERA INFERIOR 5x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 6,12 | 0,04 | 0,04 | 16,21 | PINO NAC impreg. CCA | |
| SOLERA SUPERIOR 5X5" | pies | 1,00 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | 6,84 | 0,11 | 0,11 | 45,29 | PINO NAC impreg. CCA | |
| YESO | Planchas | 6,00 | 1,22 | 2,44 | 2,98 | | | | | | |
| LANA DE VIDRIO | Rollos | 1,20 | 1,20 | | 14,40 | 12,00 | | | | | |
| HERRAJES | unitario | 12,00 | | | | | | | | ACERO GALVANIZADO | |

| ITEM PANEL 4 | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|----------|-----------|------------|------------|-----------|---------|----------|------------|----------------------|--|
| NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | ANCHO mts | ALTURA mts | SECCION m2 | LARGO mts | M3 UNIT | M3 TOTAL | PIE3 TOTAL | MATERIAL | |
| PIES DERECHOS 5x2" | Pies | 3,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 2,23 | 0,01 | 0,04 | 17,68 | PINO NAC impreg. CCA | |
| PILARES 5x5" | pies | 3,00 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | 2,23 | 0,03 | 0,10 | 44,19 | PINO NAC impreg. CCA | |
| TIMPANO 5x5" | pies | 1,00 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | 8,96 | 0,14 | 0,14 | 59,32 | PINO NAC impreg. CCA | |
| TIMPANO 5x2" | pies | 1,00 | 0,13 | 0,05 | 0,01 | 6,92 | 0,04 | 0,04 | 18,33 | PINO NAC impreg. CCA | |
| CORTAFUEGOS 5x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 2,80 | 0,02 | 0,02 | 7,42 | PINO NAC impreg. CCA | |
| SOLERA INFERIOR 5x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 6,12 | 0,04 | 0,04 | 16,21 | PINO NAC impreg. CCA | |
| SOLERA SUPERIOR 5X5" | pies | 1,00 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | 6,84 | 0,11 | 0,11 | 45,29 | PINO NAC impreg. CCA | |
| CLAVADERAS 1,5"x1,5" | Pies | 3,00 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 2,60 | 0,00 | 0,01 | 4,63 | PINO NAC | |
| OSB 2,44x1,22x1,1mm | Planchas | 4,30 | 1,22 | 2,44 | 2,98 | | | | | | |
| YESO | Planchas | 4,00 | 1,22 | 2,44 | 2,98 | | | | | | |
| LANA DE VIDRIO | Rollos | 1,00 | 1,20 | | 14,40 | 12,00 | | | | | |
| TYVEK | Rollos | 0,40 | 1,00 | | 30,00 | 30,00 | | | | | |
| HERRAJES | unitario | 12,00 | | | | | | | | ACERO GALVANIZADO | |

| ITEM PANEL 5 | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|----------|-----------|------------|------------|-----------|---------|----------|------------|----------------------|--|
| NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | ANCHO mts | ALTURA mts | SECCION m2 | LARGO mts | M3 UNIT | M3 TOTAL | PIE3 TOTAL | MATERIAL | |
| PIES DERECHOS 5x2" | Pies | 8,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 2,25 | 0,01 | 0,11 | 47,67 | PINO NAC impreg. CCA | |
| PILARES 5x5" | pies | 9,00 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | 2,25 | 0,04 | 0,32 | 134,07 | PINO NAC impreg. CCA | |
| CORTAFUEGOS 5x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 12,44 | 0,08 | 0,08 | 32,94 | PINO NAC impreg. CCA | |
| SOLERA INFERIOR 5x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 9,15 | 0,06 | 0,06 | 24,23 | PINO NAC impreg. CCA | |
| SOLERA SUPERIOR 5X5" | pies | 1,00 | 0,13 | 0,13 | 0,02 | 9,15 | 0,14 | 0,14 | 60,58 | PINO NAC impreg. CCA | |
| CLAVADERAS 1,5"x1,5" | Pies | 17,00 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,05 | 20,17 | PINO NAC | |
| OSB 2,44x1,22x1,1mm | Planchas | 6,20 | 1,22 | 2,44 | 2,98 | | | | | | |
| LANA DE VIDRIO | Rollos | 1,00 | 1,20 | | 14,40 | 12,00 | | | | | |
| TYVEK | Rollos | 0,65 | 1,00 | | 30,00 | 30,00 | | | | | |
| CHAPA GALVANIZADA | Chapas | 7,00 | 0,90 | | 2,61 | 2,90 | | | | | |
| YESO | Planchas | 6,20 | 1,22 | 2,44 | 2,98 | | | | | | |
| HERRAJES | unitario | 8,00 | | | | | | | | ACERO GALVANIZADO | |

Cuadro resumen de los costos de todos los materiales que se emplean en la fabrica

| ITEM PANEL 6 | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|----------|-----------|------------|------------|-----------|---------|----------|------------|----------------------|
| NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | ANCHO mts | ALTURA mts | SECCION m2 | LARGO mts | M3 UNIT | M3 TOTAL | PIE3 TOTAL | MATERIAL |
| PIES DERECHOS 3x2" | Pies | 7,00 | 0,05 | 0,08 | 0,00 | 3,00 | 0,01 | 0,08 | 33,37 | PINO NAC impreg. CCA |
| CORTAFUEGOS 3x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,08 | 0,00 | 2,80 | 0,01 | 0,01 | 4,45 | PINO NAC impreg. CCA |
| SOLERA INFERIOR 3x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,08 | 0,00 | 3,70 | 0,01 | 0,01 | 5,88 | PINO NAC impreg. CCA |
| SOLERA SUPERIOR 3x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,08 | 0,00 | 3,70 | 0,01 | 0,01 | 5,88 | PINO NAC impreg. CCA |
| LANA DE VIDRIO | Rollos | 0,70 | 1,20 | | 14,40 | 12,00 | | | | |
| YESO | Planchas | 3,50 | 1,22 | 2,44 | 2,98 | | | | | |
| HERRAJES | unitario | 6,00 | | | | | | | | ACERO GALVANIZADO |

| ITEM ZOCALO TECNICO/ SANITARIA | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|----------|-----------|------------|------------|-----------|---------|----------|------------|----------------------|
| NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | ANCHO mts | ALTURA mts | SECCION m2 | LARGO mts | M3 UNIT | M3 TOTAL | PIE3 TOTAL | MATERIAL |
| PIES DERECHOS 3x2" | Pies | 1,00 | 0,05 | 0,08 | 0,00 | 20,00 | 0,08 | 0,08 | 31,78 | PINO NAC impreg. CCA |
| YESO | Planchas | 2,50 | 1,22 | 2,44 | 2,98 | | | | | |

| ITEM ABERTURAS | | | | |
|--|--------|----------|-------------|---------------|
| Extraido de Listado de Costos de Componentes de Obra de INCA Se le restó beneficio de la empresa del 11,36% | | | | |
| NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNIT | PRECIO TOT \$ |
| ABERTURA 1,22x0,85 | unidad | 2 | 6042,34 | 13639,60 |
| ABERTURA 1,22x1,40 | unidad | 2 | 7195,04 | 14390,08 |
| ABERTURA 0,85x0,65 | unidad | 1 | 2323,98 | 2323,98 |
| PUERTA 0,80x2,05 | unidad | 2 | 3481,21 | 6962,42 |
| PUERTA VENTANA 2,05x2, | unidad | 1 | 16988,28 | 16988,28 |
| SUBTOTAL \$ | | | | 54304 |
| SUBTOTAL U\$S | | | | 2249 |
| | | | IVA(22%) | 494,7 |
| | | | TOTAL | 2.743,3 |

| GENERAL MATERIALES | | | | | | | PRECIOS + IVA(22%) | |
|-----------------------|----------------|----------|--------------|----------------------|-------------|------------|--------------------|----------|
| NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | LARGO UNIT m | MATERIAL | PRECIO UNIT | TOTAL U\$S | | |
| VIGA 10"x3" | un | 2 | 9,14 | PINO NAC impreg. CCA | 116,0 | 232,0 | | |
| VIGA 8"x2" | un | 26 | 3,70 | PINO NAC impreg. CCA | 51,0 | 1.326,0 | | |
| TIRANTES 5"x5" | unidades 6m | 18 | 6,00 | PINO NAC impreg. CCA | 155,0 | 2.790,0 | | |
| TIRANTES 5"x2" | unidades 3,30m | 50 | 3,30 | PINO NAC impreg. CCA | 20,0 | 1.006,4 | | |
| TIRANTES 3"x2" | unidades 3,30m | 16 | 3,30 | PINO NAC impreg. CCA | 10,0 | 155,2 | | |
| CLAVADERAS 1,5"x1,5" | unidades 3,30m | 57 | 3,30 | PINO NAC impreg. CCA | 7,6 | 429,9 | | |
| OSB 2,44x1,22x1,1mm | Planchas | 36 | | osb | 17,7 | 642,5 | | |
| YESO | Planchas | 36 | | yeso | 7,7 | 277,2 | | |
| LANA DE VIDRIO | Rollos | 9 | 12,00 | lana de vidrio | 40,0 | 354,0 | | |
| TYVEK | Rollos | 1 | 30,00 | lana de vidrio | 237,0 | 237,0 | | |
| CHAPA calibre 24 | Chapas | 54 | 2,90 | acero galvanizado | 17,5 | 936,3 | | |
| CUMBRERA CHAPA | unitario | 4 | 2,44 | acero galvanizado | 40,0 | 160,0 | | |
| HERRAJES | unitario | 85 | | acero galvanizado | 5,0 | 425,0 | | |
| GOTERON CHAPA GA | unitario | 8 | 2,44 | acero galvanizado | 22,8 | 182,4 | | |
| TORNILLOS T2 | unitario | 1800 | | acero galvanizado | 0,1 | 109,8 | | |
| TORNILLOS T1 | unitario | 2000 | | acero galvanizado | 0,1 | 164,0 | | |
| CLAVOS 3" | kilo | 3,3 | | acero galvanizado | 2,0 | 6,6 | | |
| | | | | | | | SUBTOTAL | 9.434,2 |
| | | | | | | | IVA(22%) | 2.075,5 |
| | | | | | | | TOTAL | 11.509,7 |

Cuadro resumen de costo de la mano de obra en la fabrica

| ITEM MANO DE OBRA Fabrica | | | | | | |
|------------------------------|------------|----------|-------------|---------------|------------|--------------|
| TAREA | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNIT | PRECIO TOT \$ | L.SOC UNIT | L.SOC TOT \$ |
| ARMADO ESTRUCTURA | jornales | 21,0 | 1010,0 | 21210,0 | 252,5 | 5303 |
| COLOCACION YESO | m2 | 107,0 | 167,1 | 17883,8 | 41,8 | 4471 |
| COLOCACION OSB | m2 | 108,0 | 167,1 | 18051,0 | 41,8 | 4513 |
| COLOCACION TYVEK | m2 | 109,0 | 25,1 | 2738,1 | 6,3 | 685 |
| COLOCACION CLAVADERA | mts lineal | 186,7 | 20,0 | 3733,0 | 5,0 | 933 |
| COLOCACION AISLACION | m2 | 127,0 | 38,9 | 4935,2 | 9,7 | 1234 |
| COLOCACION CHAPA | m2 | 140,0 | 80,0 | 11200,0 | 20,0 | 2800 |
| COLOCACION ABERTURAS | m2 | 18,4 | 222,4 | 4099,4 | 55,6 | 1025 |
| TOTAL | | | | 83850 | | 20963 |

Costos de los rubros que se ejecutan in situ

| ITEM TERRENO / FUNDACIONES | | | | | | | | | | |
|--|--------|----------|-----------|------------|------------|-----------|-------------|---------------|----------------|------------------|
| Extraido de Listado de Costos de Componentes de Obra de INCA Se le restó beneficio de la empresa del 11,36% | | | | | | | | | | |
| NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | ANCHO mts | ALTURA mts | SECCION m2 | LARGO mts | PRECIO UNIT | PRECIO TOT \$ | LEYES SOC UNIT | LEYES SOC TOT \$ |
| PRESOLERA 5x2" | pies | 1,00 | 0,05 | 0,13 | 0,01 | 40,34 | | | | |
| MEMBRANA ASFALTICA | m2 | 4,74 | 0,15 | | | 31,60 | 289,96 | 1374,42 | 68,35 | 323,98 |
| ARENA Y PORT. CON HIDR | m2 | 15,80 | | 0,50 | | 31,60 | 315,35 | 4982,59 | 153,77 | 2429,57 |
| VIGA CIMENTACIÓN PERIM | m3 | 2,37 | 0,15 | 0,50 | 0,075 | 31,60 | 17720,00 | 41996,40 | 6587,67 | 15612,78 |
| ALISADO ARENA Y PORTL | m2 | 52,00 | | | | | 326,15 | 16959,56 | 166,07 | 8635,64 |
| PLATEA HORMIGON ARM | m3 | 3,71 | | 0,07 | 53,00 | | 7088,00 | 26296,48 | 2088,75 | 7749,26 |
| TOTAL | | | | | | | | 91609 | | 34751 |

| ITEM TERMINACIONES | | | | | | |
|--|----------|----------|-------------|---------------|------------|--------------|
| Extraido de Listado de Costos de Componentes de Obra de INCA Se le restó beneficio de la empresa del 11,36% | | | | | | |
| NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNIT | PRECIO TOT \$ | L.SOC UNIT | L.SOC TOT \$ |
| PISO FLOTANTE | m2 | 35,60 | 443,00 | 15770,80 | 42,35 | 1507,66 |
| PAVIMENTO CERAM BAÑO | m2 | 5,30 | 620,20 | 3710,00 | 349,22 | 1850,87 |
| REVESTIMIENTO CERAM B | m2 | 9,20 | 698,09 | 7248,77 | 284,70 | 2619,24 |
| PLACA CEMENTICIA | m2 | 5,60 | 265,80 | 1488,48 | 182,27 | 1020,71 |
| ENDUIDO | m2 | 50,00 | 185,67 | 9283,51 | 98,67 | 4933,50 |
| PORTLAND LUSTRADO EX | m2 | 7,40 | 620,20 | 4589,48 | 510,65 | 3778,81 |
| PILETAS Y GRIFERIA COCIN | conjunto | 1 | 1772,00 | 1772,00 | | |
| APARATOS Y GRIFERIA BA | conjunto | 1 | 7088,00 | 7088,00 | | |
| PINTURAS | m2 | 50,00 | 114,30 | 5715,14 | 50,05 | 2502,50 |
| TOTAL | | | | 56666 | | 15711 |

| ITEM INSTALACIONES | | | | |
|--|--------|----------|-------------|---------------|
| Extraido de Listado de Costos de Componentes de Obra de INCA Se le restó beneficio de la empresa del 11,36% | | | | |
| NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNIT | PRECIO TOT \$ |
| SANITARIA DE BAÑO | unidad | 1 | 31010 | 31010,00 |
| SANITARIA COCINA | unidad | 1 | 7531 | 7531,00 |
| PUESTAS ELECTRICA | unidad | 15 | 1240 | 18606,00 |
| TOTAL | | | | 57147 |

Costos del traslado y montaje de la casa en el terreno

| ITEM LOGISTICA | | | | | | |
|--|--------------|----------|--------------|---------------|------------|--------------|
| Extraido de Listado de Costos de Componentes de Obra de INCA Se le restó beneficio de la empresa del 11,36% | | | | | | |
| TAREA | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR JORNAL | PRECIO TOT \$ | L.SOC UNIT | L.SOC TOT \$ |
| TRANSPORTE | dia alquiler | 1,00 | 5000,00 | 5000,00 | | |
| MONTAJE | jornales | 3,00 | 1010,00 | 3030,00 | 252,50 | 757,5 |
| OPERARIO GRUA | jornales | 1,00 | 1010,00 | 1010,00 | 252,50 | 252,5 |
| TOTAL | | | | 9040 | | 1010 |

Costos totales

| ITEM | TOTAL \$ | TOTAL LEYES | TOTAL U\$S |
|-----------------------|----------------|---------------|------------|
| MATERIALES FABRICA | | | 11.683 |
| MANO DE OBRA FABRICA | 83.850 | 20.963 | |
| CIMENTOS/FUNDACIONE | 91.609 | 34.751 | |
| TRANSPORTE Y MONTAJE | 9.040 | 1.010 | |
| TERMINACIONES IN SITU | 56.666 | 15.711 | |
| INSTALACIONES | 57.147 | | |
| TOTAL \$ | 298.313 | 72.435 | |

| | | | |
|-------------------|---------------|--------------|---------------|
| TOTAL U\$S | 12.353 | 2.999 | 11.683 |
| IVA 22% | | | 2.570 |

| | |
|------------------------|--------------|
| TOTAL NETO U\$S | 29605 |
|------------------------|--------------|

| m2 constr | precio total | precio m2 U\$S |
|-----------|--------------|----------------|
| 57 | 29605 | 521 |

Cotizacion de dólar medio según cierre del BROU al 31/10/2014
 No estan considerado beneficio de la empresa
 No están considerados los costos fijos y variables de infraestructura de fábrica, como ser alquiler de galpón, costo de máquinas, luz, agua, teléfono, seguridad, etc.

4.2. Evaluación de costos

El costo final se traduce como en la tabla adjunta de costo total y se compone de la suma del costo de los materiales utilizados en el proceso de fabricación en planta, el costo de la mano de obra en la fabrica, el costo de las fundaciones en el terreno, el costo del transporte y montaje, el costo de las terminaciones y por ultimo costo de las instalaciones. Todos los valores que impliquen mano de obra tienen además una columna correspondiente al valor de las leyes sociales. Esto nos da en principio 2 resultados. Por un lado un precio en dólares que corresponde al precio de los materiales que se utilizan en la prefabricación y por otro lado están los demás valores en pesos uruguayos. A fin de tener un valor comparativo el precio final será en dólares americanos, con los precios en pesos afectados por el valor del dólar vigente. En resumen, el valor total de la vivienda es U\$S 27.035. A este valor se le debe agregar un 22% de IVA llegando al valor final de U\$S 29.605. De estos valores se desglosa que el precio de nuestro metro cuadrado rondaría los U\$S 521.

Cabe considerar que este valor final no tiene en cuenta el margen de ganancia de una empresa el cual se estima en un rango del 10% al 15%. Además del beneficio cabría considerar los costos que implican la operatividad de una fabrica. Estos costos que denominaremos como "costos operativos" se componen de costos variables como consumo de energía, agua y servicios. Costos fijos como arrendamiento y/o manutención de un local físico. Por ultimo costos de inversión en

maquinaria, herramientas e insumos, costos de administración y estrategias de venta.

Estos costos se hacen difíciles trasladarlos a un valor concreto ya que dependen de factores específicos y son considerados como costos indirectos. Por lo tanto son costos que no dependen de la obra a realizar en si y cuantas más unidades se produzcan menor será la incidencia de los costos indirectos en el precio final del producto. Por esto mismo, no se tendrá en cuenta.

Consideraremos entonces un incremento porcentual correspondiente a un beneficio de la empresa (11,4% según publicación de Inca) lo cual nos da un valor final de U\$S 32.980 que se traduce en un precio de U\$S 580 por metro cuadrado.

5. Conclusiones

El presente trabajo surge del planteo de 2 hipótesis fundamentales. La primera se planteaba el desafío de poder desarrollar un sistema constructivo prefabricado con madera pero con la característica de que este sistema permita efectuar la mayor parte del proceso de producción constructivo dentro de una fabrica de modo centralizado. La segunda hipótesis, que podría considerarse como una derivación de la primera, plantea si esa manera de producir se puede transformar en una realidad sobre todo desde el punto de vista de la competitividad en el mercado, siendo el factor económico una de las principales condicionantes en la iniciativa.

Considerando el proyecto en sus aspectos técnicos la resolución que se ha presentado en el desarrollo del trabajo cumple con las expectativas de la primer hipótesis. Sin embargo cabe mencionar que el objetivo inicial de poder prefabricar en un 100% la vivienda no logró ser cumplido debido a que en el proceso de resolución del proyecto se han encontrado algunas dificultades constructivas. A modo de ejemplo cabe citar las uniones de elementos que deben completarse in-situ, además de otras terminaciones que por su naturaleza no pueden prefabricarse.

También quedan para etapas finales del proceso de construcción la colocación de piezas de cierres como pueden ser las rejillas de las cámaras de aire de techo (ver detalle constructivo 4) o la colocación de las tapas de yeso que cubren los herrajes de uniones entre paneles. Por otro lado la decisión de centralizar las instalaciones dentro de un solo panel y montarlas en fabrica ha permitido reducir considerablemente los tiempos de trabajo y costos de mano de obra dedicados a las instalaciones.

Cabe aclarar que el presente prototipo es de una escala pequeña, pero el tipo de prefabricación en paneles propuesto se podría utilizar en viviendas de mayor porte.

Por lo tanto, a pesar de los aspectos mencionados anteriormente, el grado de prefabricación integral de la vivienda puede estimarse como superior al 80% del total de las tareas realizadas en toda la construcción del presente prototipo, lo cual cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados.

Desde el punto de vista del desempeño del prototipo planteado se ha verificado que el comportamiento de los cerramientos es sumamente aceptable resultando en una buena capacidad aislante térmica y el riesgo de condensaciones interiores en cerramientos resulta ser nulo.

La segunda hipótesis planteada, la cual lleva a establecer el proyecto en terminos monetarios ha desembocado en el desarrollo en detalle de todos los posibles costos que implica la realización del mismo.

Desde este punto de vista se ha llegado a que las premisas planteadas realmente tienen un impacto positivo en lo referente al precio final de la obra.

El precio final al que hemos llegado es de U\$S 580 por metro cuadrado. Actualmente al valor del metro cuadrado de construcción tradicional supera siempre los U\$S 1000. Según la publicación "Costos de componentes de obra" de la empresa Inca en su capítulo "CUADRO COMPARATIVO DE PRECIOS UNITARIOS POR METRO CUADRADO DE

CONSTRUCCIÓN" el costo por metro cuadrado construido de una vivienda en planta baja tiene un valor de U\$S 1.088.

Por otro lado la construcción en steel-frame se encuentra en un rango de precio bastante más amplio, manejándose con precios de plaza que van desde los U\$S 750 hasta los U\$S 1050 por metro cuadrado.

La resolución que plantea el presente trabajo tiene un costo que apenas supera la mitad del valor del metro cuadrado de obra tradicional. En comparación con las construcciones en steel-frame (considerando el valor más bajo de plaza) aún resulta ser un 23% menos costosa.

Esto resulta sumamente positivo ya que por un lado verifica la hipótesis planteada desde un principio y además el precio de el sistema constructivo propuesto resulta ser sumamente competitivo en términos de mercado.

De todo lo anteriormente planteado, concluimos que el panorama de la construcción prefabricada en madera en el Uruguay, resulta especialmente alentador. El presente trabajo no es más que un punto de partida para un estudio económico en profundidad que resulte en el desarrollo de un emprendimiento que aporte una nueva mirada en otras soluciones constructivas que sin descuidar la calidad y el confort resulten económicas, versátiles y sustentables.

Bibliografía

Libros de autor:

- CALONE María, MEYER Carlos, TORÁN Susana. Cubiertas de Tejas con Estructura de Madera. Montevideo: Universidad de la República, Facultad de Arquitectura, 2008. ISBN: 978-9974-0-0522-8. 174p.
- STEIGER, Ludwig. Construire en bois. Tr: Léo Biétry. Bâle: Birkhäuser , 2007. ISBN: 978-3-7643-8103-5. 96p.
- CNPDB, Comité national pour le développement du bois. Séquences bois. Paris : éd. du Lateur : Comité national pour le développement du bois , 1997. ISBN: 2-911468-11-2. 159p.
- CNPDB, Comité national pour le développement du bois, Editeur scientifique. Concevoir : architecture, ingénierie Saint-Mandé : Comité national pour le développement du bois , 2005. ISBN: 2-9517836-0-4. 87p.
- HANONO, Arq. Miguel. Construcción en madera. Ed. CAMA. Río Negro, Argentina. 2004. ISBN: 9789879754504. 151p.
- HEMPEL, R. Sistemas Constructivos en Madera. Universidad del Bío-Bío. Ed. Aníbal Pinto S.A. Concepción, Chile. 1987. ISBN: 978-956-7813-63-6
- FRITZ DURÁN, Alexander. “La construcción de viviendas en madera”. CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA; Santiago de Chile, Chile.
- HUGUES, Theodor; STEIGER, Ludwing; WEBER, Johann. “Construcción con madera”. Editorial GG; SL, Barcelona, España. 2007.

Revistas:

- Bois-wooden architecture. Amc, Le Moniteur Architecture, 2010. N° “edicion especial madera 2010”. Paris : Le Moniteur, 1989- . ISSN: 0998-4194
- Bois-wooden architecture. Amc, Le Moniteur Architecture, 2006. N° “edicion especial madera 2006”. Paris : Le Moniteur, 1989- . ISSN: 0998-4194

Sitios web:

- SHORPY: historical photo archive. [En línea]. <<http://www.shorpy.com/node/5615>> . [consulta: 24 abril 2014]
- THE WASHINGTON POST. [En línea]. <<http://www.washingtonpost.com/lifestyle/style/house-and-home-at-the-national-building-museum>> [consulta: 13 febrero 2014]
- GALERIE PATRICK SEGUIN. [En línea]. <<http://www.patrickseguin.com/en/exhibitions/2012/maison-des-jours-meilleurs.php>> [consulta: 24 Abril 2014]
- METALOCUS, [En línea] <<http://www.metalocus.es/content/es/blog/jean-prouv%C3%A9-casa-desmontable-de-6x6m-1944>> [consulta: 24 abril 2014]
- WIKIHOUSE CC. [En línea] <<http://www.wikihouse.cc/>> [consulta: 24 Febrero 2014]
- ARMCO URUGUAY. [En línea] <http://www.armco.com.uy/> [consulta: 24 Febrero 2014]
- PLATAFORMA ARQUITECTURA. [En línea] <http://www.plataformaarquitectura.cl/> [consulta: 24 Febrero 2014]
- EXSITU. [En línea] <http://www.exsitu.com.uy/> [consulta: 24 Febrero 2014]
- TECNOSOLAR. [En línea] <http://www.tecnosolar.com.uy/producto/isover-filtro-tensado-aluminio/> [consulta: 09 setiembre 2014]
- INCA. [En línea] <http://www.inca.com.uy/es/asesoramiento-en-decoracion/costos-de-componentes-de-obra-inca> [consulta: 25 setiembre 2014]
- CABAÑAS PINAR. [En línea] <http://www.cabanaselpinar.com.uy/> [consulta: 26 setiembre 2014]
- THE NEW YORK TIMES. [En línea] http://www.nytimes.com/slideshow/2007/10/12/nyregion/20071013_LEVITTOWN_SLIDESHOW_3.html [consulta: 5 noviembre 2014]