

UNIVERSIDAD DE CUENCA

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES

SEGUNDA EDICIÓN

DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE FORJADO PREFABRICADO SECO

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAGISTER EN CONSTRUCCIONES (MSc)**

AUTOR: ARQ. MARÍA GABRIELA DOMÍNGUEZ MANTILLA

DIRECTOR: ING. PhD. JUAN FERNANDO ZALAMEA

Cuenca, Marzo de 2016

DEDICADO A:

A quien encomendé cada uno de mis pasos, cada investigación y cada escritura y quien ha estado siempre al frente de todo este hermoso esfuerzo, el Arquitecto por Excelencia, DIOS

RESUMEN

El objetivo general de esta investigación es obtener un forjado prefabricado seco, ligero, económico y de rápida construcción que cumpla con los requerimientos de resistencia y servicio de las viviendas.

Para alcanzar dicho objetivo se investigó el estado del arte de los sistemas constructivos y métodos de fabricación de forjados secos; los materiales utilizados en la fabricación de los mismos, sus principales características y propiedades.

Se analizó la morfología del diseño de los sistemas más representativos desde el punto de vista arquitectónico y estructural, de tal forma que se alcanzó el diseño y construcción de una placa prefabricada construida en seco, ligera y económica, así mismo, se logró precisar el método de armado, el tiempo, y la mano de obra, al igual que después de haber sometido a ensayos de resistencia de carga, se comprobó el cumplimiento de los requerimientos de resistencia y servicio de las viviendas con respecto a la normativa. Alcanzando de esta forma los objetivos propuestos.

Palabras claves: Forjado, Prefabricado, Construcción en seco

ABSTRACT

The overall objective of this research is to obtain a precast dry slab, light, economic and quick construction that meets the requirements of endurance and housing service.

To achieve this goal we investigated the state of the art of construction systems and methods of manufacture of dry slabs; the materials used in the manufacture of the same, its key features and properties.

The morphology of the most representative systems design was analyzed from the point of view of architectural and structural, so that met the design and construction of a precast dry slab, light and economic, likewise, was to specify assembly method, time, and manpower, as after having to undergo trials of load resistance found to be compliance with the requirements of strength and service of dwellings with respect to the regulations. Thus achieving the proposed objectives.

Key Words: Dry Slab, Precast, Dry Construction

CONTENIDO

CAPÍTULO 0.- LINEAMIENTOS.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	3
0.4. Hipótesis.....	3
0.5. Metodología.....	4
CAPÍTULO 1.- ESTADO DEL ARTE.....	5
1.1. Concepto de forjado.....	5
1.1.1. Forjado de entrepiso.....	5
1.2. Función de forjado.....	5
1.2.1. Estructural.....	6
1.2.2. Arquitectónica.....	6
1.2.3. Constructiva.....	6
1.3. Tipos de forjado.....	6
1.4. Evolución de los forjados.....	6
1.4.1. Antecedentes de forjados	7
1.5. Construcción en seco.....	8
1.5.1. Antecedentes de forjados secos	8
1.6. Sistemas de forjados secos entramados de madera.....	10
1.6.1. Forjado del sistema aporticado.....	11
1.6.2. Forjado del sistema de entramado pesado.....	11
1.6.3. Forjado del sistema Ballon Frame.....	12
1.6.4. Forjado sistema Platform System.....	13
1.6.5. Forjados con viguetas prefabricados de madera.....	14
1.7. Tendencias actuales de sistemas de forjados secos de madera....	15
1.7.1. Sistema Lignatur Box Element.....	16
1.7.2. Sistema Lignatur Surface Element.....	17
1.7.3. Sistema Kielsteg.....	18

1.7.4. Sistema Cbs-Cbt Wenus.....	20
1.7.5. Sistema Cbs-Cbt O'portune.....	21
1.7.6. Sistema Cbs-Cbt D-Dalle.....	22
1.7.7. Sistema Cbs-Cbt Solivium.....	23
1.8. Sistemas de forjados secos en acero.....	24
1.8.1. Forjado Steel Frame.....	25
1.8.2. Sistema de forjado LSK.....	26
1.8.3. Sistema de forjado Armat, Jump 45.....	26
1.8.4. Sistema de forjado C.....	27
1.8.5. Sistema de forjado Supportsol.....	27
1.8.6. Sistema de forjado seco Cofradal.....	28
1.9. Sistemas y procesos de forjados prefabricados de hormigón.....	28
1.9.1. Forjado Placa Alveolar.....	29
1.9.2. Sistema de forjado Artplack.....	29
1.9.3. Placa Modultherm.....	30
CAPÍTULO 2.- MATERIALES Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	31
2.1. Materiales.....	31
2.1.1. Madera.....	31
2.1.2. Hormigón prefabricado.....	34
2.1.3. Acero.....	35
2.2. Elementos estructurales.....	36
2.2.1. Elementos resistentes.....	36
2.2.2. Elementos de fijación.....	39
2.3. Materiales complementarios.....	42
2.3.1. Aislantes térmicos.....	42
2.3.2. Aislantes acústicos.....	42
2.3.3. Protección a fuego.....	42

CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS DE LA MORFOLOGÍA DE DISEÑO DE FORJADOS SECOS.....46

3.1. Introducción.....	46
3.2. Análisis morfológico estructural.....	46
3.2.1. Configuración de elementos.....	46
3.2.2. Análisis estructural.....	49
3.3. Análisis arquitectónico.....	56
3.3.1. Análisis de comportamiento al fuego, térmico y acústico.....	59
3.3.2. Instalaciones.....	63
3.3.3. Acabado.....	64

CAPÍTULO 4.- DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE FORJADO PREFABRICADO SECO.....65

4.1. Introducción	65
4.2. Diseño arquitectónico y estructural de forjado prefabricado seco.....	66
4.3. Componentes del forjado.....	67
4.4. Dimensión modular.....	68
4.5. Dimensión de la placa.....	70
4.6. Porcentaje de volumen.....	70
4.7. Peso de la placa.....	70
4.8. Comportamiento estructural.....	71
4.9. Armado.....	72
4.10. Unión entre elementos.....	73
4.11. Unión entre placas.....	74
4.12. Unión con estructura.....	74
4.13. Montaje.....	75
4.14. Configuración plantas arquitectónicas	76
4.15. Configuración de vanos.....	77
4.16. Acabado.....	78
4.17. Instalaciones.....	79

4.18.	Comportamiento a fuego.....	79
4.19.	Comportamiento térmico.....	80
4.20.	Comportamiento acústico.....	81

**CAPÍTULO 5.- CONSTRUCCIÓN DE LA PLACA
PREFABRICADA LIGERA Y SECA.....82**

5.1.	Introducción.....	82
5.2.	Materiales	82
5.3.	Fabricación.....	83
5.4.	Recursos de fabricación.....	86
5.5.	Costo de fabricación de la placa.....	86

CAPÍTULO 6.- ENSAYO DE RESISTENCIA Y SERVICIO.....87

6.1.	Introducción.....	87
6.2.	Luz y carga.....	88
6.2.1.	Luz de ensayo.....	88
6.2.2.	Ubicación de carga.....	88
6.3.	Descripción general del ensayo.....	88
6.3.1.	Ejecución del ensayo.....	88
6.4.	Unión entre placas	91
6.5.	Ensayo de unión	92
6.5.1.	Descripción general del ensayo.....	92
6.6.	Ensayo de vibración.....	93
6.6.1.	Descripción general del ensayo.....	93
6.7.	Cálculos.....	95
6.7.1.	Placa.....	95
6.7.2.	Carga.....	95
6.7.3.	Resultado de ensayos.....	95
6.7.4.	Esfuerzos en la viga	96
6.7.5.	Momento de inercia.....	96
6.7.6.	Tensión de flexión.....	96
6.7.7.	Flecha máxima.....	97

CONCLUSIONES.....	99
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	102
ANEXO A.....	106
ANEXO B.....	111



MARÍA GABRIELA DOMÍNGUEZ MANTILLA “**DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE FORJADO PREFABRICADO SECO**”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de (título que obtiene). El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor/a

Cuenca, marzo del 2016

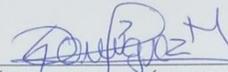
MARÍA GABRIELA DOMÍNGUEZ MANTILLA
C.I: 010464051-1



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

MARÍA GABRIELA DOMÍNGUEZ MANTILLA “**DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE FORJADO PREFABRICADO SECO**”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, marzo del 2016



MARÍA GABRIELA DOMÍNGUEZ MANTILLA
C.I: 010464051-1

CAPÍTULO 0.- LINEAMIENTOS

0.1. INTRODUCCIÓN

En la industria de la construcción, generalmente los forjados o losas de entrepiso se construyen con materiales tradicionales denominados húmedos, los mismos que necesitan de agua y un tiempo de fraguado o endurecimiento, ralentizando el tiempo de construcción y dificultando que el forjado entre en funcionamiento rápidamente. Estos materiales aunque ofrecen buena resistencia en la mayoría de los casos son muy pesados debido al uso de acero y concreto, obligando a utilizar estructuras más sólidas que por lo general resultan más costosas. De la misma manera el método de construcción de estas losas de entrepiso, por lo general, presenta desperdicios de tiempo, mano de obra y materiales.

La presente investigación pretende ofrecer una alternativa sencilla, rápida y más ligera a los entrepisos tradicionales, diseñando un forjado o losa de entrepiso que tenga similares características tanto estructurales como arquitectónicas, utilizando materiales económicos para su fabricación y unión entre sus elementos con los que se pueda evitar el desperdicio y en teoría eliminar el tiempo de fraguado.

Para lograrlo ha sido necesario revisar y analizar tanto estructural como arquitectónicamente los diferentes sistemas de forjados secos, los materiales que los conforman, la morfología, unión entre sus elementos, su método de armado y puesta en obra; de donde, se destacó la configuración estructural lineal y geometría sencilla de los mismos, la simplicidad de la unión entre los elementos y la ligereza de los sistemas conformados con elementos de madera frente a los sistemas prefabricados de hormigón al igual que su menor costo frente a los sistemas de acero. Esto permitió llevar a cabo el diseño del forjado prefabricado seco y su construcción a escala, comprobándose su resistencia y servicio en su aplicación en viviendas.

0.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En nuestro medio, se elaboran entrepisos utilizando los métodos y materiales tradicionales de construcción, esto es, losas macizas de hormigón o losas nervadas; esto en contraste a la tendencia en investigación y desarrollo de la construcción, que busca que estos sean cada vez más ligeros y rápidos, de forma tal que se tengan entrepisos en los que se ahorre no solo el material, reduciendo los desperdicios, sino también el tiempo de construcción y la mano de obra, a través del concepto “construcción en seco” que consiste en aplicar un conjunto de técnicas constructivas que sustituye por elementos secos o prefabricados, la mayor cantidad de componentes húmedos que tradicionalmente conforman una obra¹.

Considero que muy poco se ha avanzado o implementado al respecto, por lo que es evidente que al proponer este tipo de forjado prefabricado seco, ligero y de rápida construcción se presentará una solución tecnológica y novedosa como alternativa en la búsqueda eficaz y precisa de la construcción en viviendas, porque a partir de la prefabricación el producto puesto en obra no necesitará más que un montaje simple y no laborioso y, al ser ligero permitirá ahorrar en la concepción de la estructura (vigas y columnas) favoreciendo positivamente la gestión, organización y eficacia de la obra con una alternativa que en potencia permitirá optimizar recursos.

¹Construmatica.com, (2006), “Construcción en Seco”, Recuperado 2/9/2013 de http://www.construmatica.com/construpedia/Construcci%C3%B3n_en_Seco

0.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo general de esta investigación es proponer un forjado prefabricado seco, ligero, económico, de rápida construcción, que cumpla con los requerimientos de resistencia y servicio de las viviendas.

Los objetivos específicos que se persigue son:

1. Investigar el estado del arte de los sistemas constructivos y métodos de fabricación de forjados secos; los materiales que son utilizados en la fabricación de los mismos, sus principales características y propiedades.
2. Estudiar la morfología del diseño de forjados secos, desde el punto de vista arquitectónico y estructural.
3. Diseñar arquitectónica y estructuralmente un forjado prefabricado seco, ligero, económico.
4. Construir un modelo a escala del forjado propuesto para precisar el tiempo, y comprobar el método de armado y ensamblaje.
5. Someter a ensayos el sistema para comprobar el cumplimiento de requerimientos de la normativa, esto es: resistencia y servicio.

0.4. HIPÓTESIS

Si se dispone de un forjado prefabricado seco, ligero, económico y de rápida construcción, se va a innovar en los sistemas constructivos de las edificaciones.

0.5. METODOLOGÍA

El tipo de esta investigación es experimental en tecnologías constructivas, la recolección de datos es principalmente a través de consultas bibliográficas digitales, luego construir y someter a ensayos el sistema para comprobar el cumplimiento de requerimientos de la normativa, esto es: resistencia y servicio, para obtener las conclusiones del presente trabajo.

Durante la PRIMERA ETAPA, se realizan exhaustivas consultas bibliográficas en medios digitales para obtener un enfoque actual de lo publicado sobre el estado del arte de los sistemas constructivos de forjados secos, los materiales utilizados en la fabricación de los mismos, sus características y propiedades.

En la SEGUNDA ETAPA, el estudio de la morfología y tendencia de diseños da como resultado la mejor perspectiva de los mismos desde el punto de vista arquitectónico y estructural.

En la TERCERA ETAPA, tiene origen el objetivo principal de este estudio, esto es, proponer un forjado prefabricado seco, ligero y económico, de rápida construcción, que cumpla con los requerimientos de resistencia y servicio de las viviendas, a través del diseño arquitectónico y estructural del mismo, en la CUARTA ETAPA se materializa el prefabricado a escala adecuada, de forma tal que permita determinar el tiempo y método de armado y ensamblaje, como QUINTA y última se somete a ensayos el sistema para comprobar el cumplimiento de requerimientos de la normativa, esto es: resistencia y servicio.

CAPÍTULO 1.- ESTADO DEL ARTE

1.1. CONCEPTO DE FORJADO

Un “forjado es un elemento estructural, generalmente horizontal, aunque puede estar inclinado como sucede en ciertas cubiertas, que recibe las cargas y las transmite a los restantes elementos de la estructura. Adicionalmente, el forjado materializa la separación entre plantas consecutivas y desempeña otras funciones como aislamiento entre plantas y soporte de acabados e instalaciones”².

1.1.1. FORJADO DE ENTREPISO

Son elementos rígidos que separan un piso de otro, contruidos monolíticamente o en forma de vigas sucesivas apoyadas sobre los muros estructurales. Deben ser capaces de sostener las cargas de servicio como el mobiliario y las personas, lo mismo que su propio peso y el de los acabados como pisos y revoques, además forman un diafragma rígido intermedio, para atender la función sísmica del conjunto³.

1.2. FUNCIÓN DE FORJADO

Formar un piso o plataforma que soporte las cargas permanentes y sobrecargas. Básicamente encontramos tres tipos de funciones:

²Navarro, Jonatan V, (Junio,2009), “La evolución de los forjados de edificación hacia unas técnicas más competitivas económicamente”, Tecnología y Construcción de Estructuras, Ingeniería de la Construcción, Universidad Politécnica de Catalunya, Tesis, Recuperado 5/09/2013 de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8534/1/00.pdf>

³Novas Cabrera, Joel,(2010), “Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países de desarrollo”, Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos, TESIS, Madrid, pág. 13, Recuperado 5/09/2013 de http://oa.upm.es/4514/1/TESIS_MASTER_JOEL_NOVAS_CABRERA.pdf

Transmisión	Forjado Unidireccional	Transmite las cargas a los apoyos (vigas-muros) en una única dirección.
	Forjado Bidireccional	Transmite las cargas en dos direcciones.
Proceso Constructivo	IN SITU	Son aquellos que se ejecutan en la misma obra y pueden ser de diversos materiales.
	Semi-prefabricados	Constituidos por viguetas o semiviguetas prefabricadas, las piezas de entrevigado y hormigón se colocan in situ, con sus correspondientes armaduras.
	Prefabricado	Llegan a la obra en piezas fabricadas, sólo es preciso proceder a su montaje en obra, la mayoría de estos trabajan de manera unidireccional.
Material	Principal material en su construcción.	Forjado de madera, acero, hormigón, plásticos.

Tabla 1. Tipos de Forjados

1.2.1. ESTRUCTURAL

- Transmitir las cargas indicadas a los elementos de apoyo (vigas, muros, columnas).
- Rigidizar la estructura a fin de que funcione adecuadamente incluso ante cargas sísmicas.

1.2.2. ARQUITECTÓNICA

- Dividir el espacio vertical, generando diversas plantas consecutivas.
- Contribuir a un confort ambiental (aislamiento térmico, aislamiento acústico).

1.2.3. CONSTRUCTIVA

- Protección contra incendios al impedir el paso del fuego entre plantas.

1.3. TIPOS DE FORJADOS

Los forjados pueden ser clasificados según la transmisión de las cargas, el proceso constructivo o el tipo de material que lo constituye, como se muestra en la Tabla 1.

1.4. EVOLUCIÓN DE LOS FORJADOS

Los forjados se han construido de diversas maneras a lo largo de la historia, en función de la técnica y los materiales que se conocía en el momento, han sufrido modificaciones y mejoras, y han pasado de ser simples cubiertas formadas por ramas y barro a ser elementos que delimitan espacios, resisten grandes cargas y cubren grandes luces².

²Navarro, Jonatan V. (Junio,2009), "La evolución de los forjados de edificación hacia unas técnicas más competitivas económicamente", Tecnología y Construcción de Estructuras, Ingeniería de la Construcción, Universidad Politécnica de Catalunya, Tesis, Recuperado 5/09/2013 de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8534/1/00.pdf>

1.4.1. ANTECEDENTES DE FORJADOS

Los forjados se utilizaron en los primeros asentamientos urbanos, cubriendo los espacios habitables para el hombre. Con el tiempo adquirió valor construir espacios unos encima de otros para un mayor aprovechamiento del terreno y es cuando aparece la necesidad de nuevas técnicas de construcción. A lo largo de la historia se han desarrollado varias técnicas de construcción de forjados como: entramados de madera, losas macizas de hormigón, viguetas pretensadas, postensadas, bovedillas de aligeramiento, losa alveolar pretensada, chapa colaborante de acero, perfiles de acero con revestimiento de tableros estructurales de madera, entre otros.

Los primeros forjados de viviendas fueron solucionados con la técnica de vigas de madera simplemente apoyadas sobre muros de carga, los mismos abarataron los muros verticales, pues, al no producir empujes horizontales como lo hacían los forjados abovedados, los muros llevaban menos material incorporado.

En el siglo XVIII, la Revolución Industrial permitió el uso del hierro en la construcción, consiguiéndose espacios más diáfanos al utilizar columnas, vigas y viguetas de hierro fundido. En el siglo XIX, paralelamente con el desarrollo de las estructuras de acero, aparece el hormigón armado, llegando a construirse forjados con losas macizas, apoyadas en muros de carga, vigas metálicas y después en vigas de hormigón.

Actualmente, la construcción de forjados utiliza los sistemas expuestos anteriormente, sin embargo se observa el interés por el desarrollo de sistemas que integren procesos de prefabricación y construcción en seco, como una alternativa a la construcción tradicional, en donde, a través del uso de diversos materiales y la conjunción de ellos, se logre disminuir costos, tiempos, mano de obra y desperdicios de material, así como lograr que una superficie de forjado entre en funcionamiento rápidamente, agilitando los tiempos en la construcción.

1.5. CONSTRUCCIÓN EN SECO

“Sustituye con elementos secos o prefabricados la mayor cantidad de componentes húmedos que tradicionalmente conforman una obra tales como: el hormigón armado, morteros, yesos, mampostería y todo material que condicione con su tiempo de fragüe el rápido avance de la obra”¹.

1.5.1. ANTECEDENTES DE FORJADOS SECOS

El principal antecedente de forjados secos, constituye los entramados de madera, los primeros sistemas fueron los entramados pesados que consistían en viguetas que equidistaban entre sí con separaciones pequeñas, tenían una gran sección debido a que la unión con la estructura vertical (muros de carga o vigas) requería una serie de rebajes como ensambles a media manera o clavija.

En el siglo XVIII, buscando aligerar la estructura aparecen dos sistemas de entramado ligero, el primero es el Sistema Globo que utiliza viguetas de menor sección apoyadas lateralmente y mediante clavos a los elementos verticales estructurales de altura de dos pisos, lo complicado de este sistema era el armado, porque los entramados verticales como horizontales debían armarse simultáneamente para dar estabilidad al conjunto, hecho que cambia en el Sistema Plataforma, pues, consiste en una plataforma formada por elementos industrializados y que sirve de superficie de armado para cada piso, sobre la que se apoyan los muros verticales⁴.

¹ Construmatica.com (2006), “Construcción en Seco”, Recuperado 2/9/2013 de http://www.construmatica.com/construpedia/Construcci%C3%B3n_en_Seco

⁴ Juntadeandalucia.es (2010), “Forjado C, Sistema de forjado construido en seco”, Recuperado 5/9/2013 de https://ws147.juntadeandalucia.es/obraspublicasyvivienda/davwebviv/Proyectos%20de%20Investigacion/09%20Sistema%20C/TOMO%20II%20BLOQUE%20C/08_PATENTE/Sistema_C.pdf

En base a este último sistema y con los avances tecnológicos aparece el sistema Steel Frame, cuyo forjado consiste en un entramado de perfiles de acero de espesor mínimo arriostrados entre sí, y cuyo recubrimiento son tableros de madera o de cemento, este forjado disminuyó significativamente el peso de la estructura. Basados en este sistema han existido varias alternativas cuyas soluciones varían en las dimensiones y forma de los perfiles de acero.

Dentro de este trabajo se ha considerado la configuración estructural de algunas placas prefabricadas de hormigón, que constituye un elemento constructivo que llega a la obra para simplemente ser montado, no se considera el sistema total de forjado pues las uniones entre placas y con la estructura requiere el uso de materiales húmedos, razón por la cual, no constituye un forjado seco.

La tendencia actual de forjados secos, está en desarrollar placas prefabricadas ligeras y de rápida fabricación y armado que mediante el uso de diversos materiales potencien sus características y comportamientos desde el punto de vista estructural y arquitectónico. La unión y secuencia entre estas placas genera el sistema de forjado que puede ser adaptado en cualquier tipo de estructura.

1.6. SISTEMAS DE FORJADOS SECOS ENTAMADOS DE MADERA

Podríamos agruparlos en dos grandes sistemas, los mismos que se han utilizado desde un inicio hasta el día de hoy, estos consisten en sistemas de entramados pesados cuyas vigas tienen gruesa escuadría y se unen a la estructura vertical mediante ensambles a media madera o clavija, el sentido de modulación consiste en que las vigas equidistan entre sí con distancias muy pequeñas, las piezas que lo componen se obtienen de manera artesanal. El piso en estos sistemas constituye un entarimado fijado a la testa de las vigas, en muchos casos no llevan cielorraso.

Como solución al peso de los anteriores aparece los sistemas de entramados ligeros, cuyos elementos son de menor escuadría y se unen mediante el uso de clavos, la modulación también consiste en elementos equidistantes entre sí con distancias de 0.40-0.60 m dependiendo las cargas a soportar. Para rigidizar la estructura ocupan tableros estructurales de madera que además le sirve de piso, el cielorraso se fija a la parte inferior de las testas de las vigas.

Los sistemas de entramados pesados como ligeros cubren luces moderadas de 3-4 m y son ejecutados en obra lo que genera exceso de mano de obra, desperdicio de materiales y la ralentización de la construcción.

Para mejorar el comportamiento termo-acústico todos estos sistemas utilizan la superposición de materiales adecuados o rellenan con los mismos los espacios del entrevigado.

A continuación se describen varios de estos sistemas:

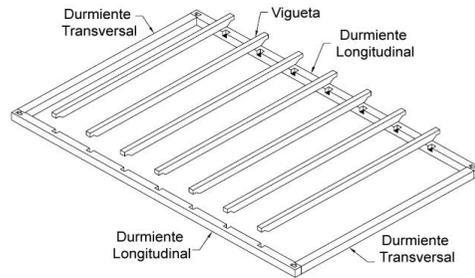


Fig. 1 Sistema aporticado. Componentes del forjado⁵

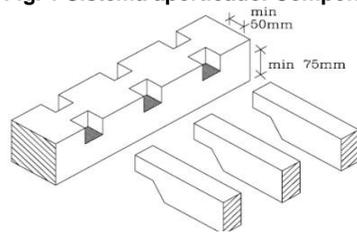


Fig. 2 Sistema aporticado. Viga intermedia⁵

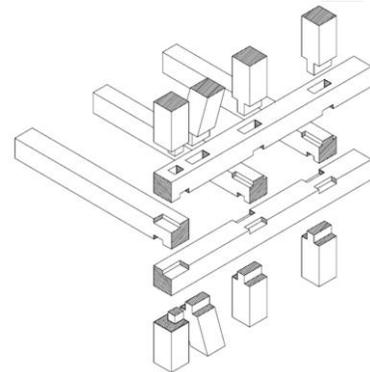


Fig. 3 Entramado pesado, unión con rebajes⁵

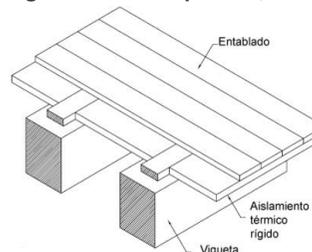


Fig. 4 Entablado del forjado⁵

1.6.1. FORJADO DEL SISTEMA APORTICADO

Lo conforman viguetas de madera que se apoyan sobre un marco de vigas maestras ancladas a pilares, el apoyo de la vigueta sobre la viga es a media madera, cuando la viga es intermedia se encajan las viguetas a ambos lados ⁵ (Fig. 1 y 2).

Lo crítico de este sistema, son las uniones mediante ensambles (media madera) entre vigas y viguetas, pues para evitar el debilitamiento por pérdida de sección incrementa el volumen, resultando piezas más pesadas, de allí, que constituye un entramado pesado. Además, otro aspecto a resaltar es que el armado en obra requiere de la precisión en la unión por ensambles de cada una de las piezas, este hecho podría considerarse una ralentización de la construcción.

1.6.2. FORJADO DEL SISTEMA DE ENTRAMADO PESADO

Este forjado lo forma un entramado de viguetas apoyadas a las soleras por medio de rebajes, rigidizando los muros. Por lo general las luces son moderadas entre 3 y 4 m ⁵.

Un aspecto a considerar en este sistema, es que las escuadrías de las viguetas están sobredimensionadas para que las uniones por medio de rebajes sean seguras, de igual manera se destaca la separación muy reducida que tiene el entramado lo que genera un exceso de elementos, por lo anterior, este sistema como su nombre lo describe, dista de ligereza y debido al tipo de armado y de la precisión de los detalles dificultaría una rápida construcción (Fig. 3 y 4).

⁵Peraza José E, et al.(1995), "Casas de Madera, Sistemas constructivos a base de madera aplicados a viviendas unifamiliares", Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho. AITIM, Recuperado 5/10/2013 de http://www.infomadera.net/uploads/descargas/archivo_4_Libro%20Casas%20de%20madera%20Sistemas%20constructivos.pdf

1.6.3. FORJADO SISTEMA BALLON FRAME

El sistema Ballon Frame se caracteriza por los elementos verticales continuos que tienen la altura de dos pisos. La estructura del forjado se fija directamente a los elementos verticales de los tabiques por el costado y se apoyan sobre una viga que está clavada a los elementos verticales, transmite sus cargas de forma excéntrica ⁶ (Fig.5 y 6).

En este sistema, las uniones se simplifican, dejan los ensamblajes especiales, y emplean clavos y grapas, este aspecto es relevante pues supone menor tiempo de armado en relación a los sistemas anteriores, además, presenta un conjunto más ligero debido al uso de piezas de menor escuadría.

Lo complejo de este sistema es su ejecución ya que todos los entramados deben ser levantados a la vez, para darle estabilidad al conjunto, este hecho hace que el forjado no pueda ser concebido prefabricadamente, pues desde sus piezas hasta el armado general pueden requerir modificaciones y deberán ser realizadas in situ.

Básicamente consiste en el armado de un armazón que se cierra con tableros de madera que le sirven de piso y con tableros de yeso cartón como cielorraso.

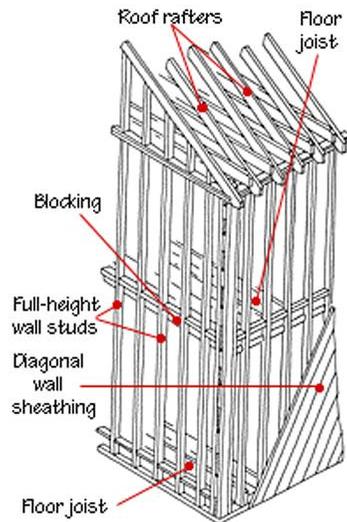


Fig. 5 Sistema Ballon Frame ⁶

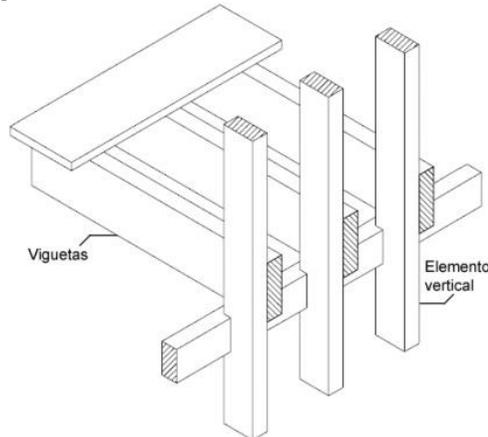


Fig. 6 Viguetas de forjado clavadas al elemento vertical ⁶

⁶ Corporación Chilena de la Madera AG, (2007), "Manual La Construcción de Viviendas en Madera, Capítulo II, Unidad 6, Sistemas Estructurales", Centro de Transferencia Tecnológica Corporación Chilena de la Madera, Chile, Recuperado 22/10/2013 de http://www.cttmadera.cl/wp-content/uploads/2007/03/unidad_6-sist_estruc.pdf

1.6.4. FORJADO SISTEMA PLATFORM SYSTEM

Este forjado deriva del anterior y constituye una plataforma que sirve de superficie de trabajo sobre la cual se puede armar y levantar los tabiques (Fig.7).

Está conformado por elementos horizontales de piezas aserradas apoyadas sobre los tabiques, estos son: viguetas, vigueta de cabeza que remata perpendicularmente, vigueta de borde que remata lateralmente el forjado, viga cargadora que sustituye un muro interior, cadeneta o zoquete que se coloca entre las viguetas como refuerzo, el brochal que es el elemento que recibe transversalmente a las vigas cortadas para dejar vanos. Se cierra con el uso de tablero estructural que sirve de arriostramiento del entramado. Todos estos elementos se unen mediante clavos, tornillos o piezas metálicas⁶ (Fig. 8).

Comparado al sistema anterior, el proceso de construcción es mucho más sencillo, es por plataformas de abajo hacia arriba.

Un aspecto muy destacable, si lo comparamos con los anteriores sistemas es que este sistema utiliza un cierto nivel de prefabricación, pues el entrevigado está compuesto por piezas industrializadas y normadas, facilitando así la modulación de espacios. Sin embargo, la construcción se realiza transportando los elementos y armándolos in situ, aunque sería posible su armado en taller, la dificultad sería el montaje pues las dimensiones no serían fácilmente manipulables.

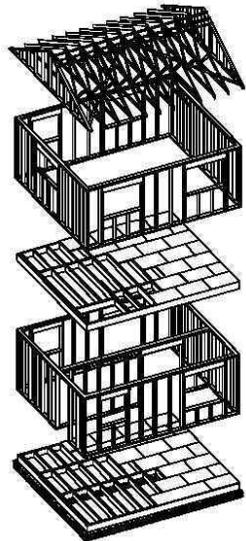


Fig. 7 Sistema Plataforma⁶

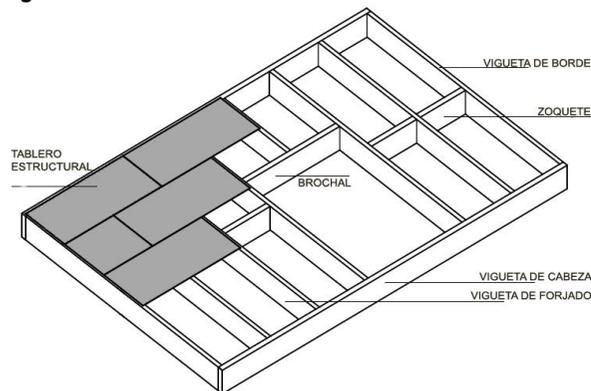


Fig. 8 Componentes del forjado⁶

⁶ Corporación Chilena de la Madera AG, (2007), "Manual La Construcción de Viviendas en Madera, Capítulo II, Unidad 6, Sistemas Estructurales", Centro de Transferencia Tecnológica Corporación Chilena de la Madera, Chile, Recuperado 22/10/2013 de http://www.cttmadera.cl/wp-content/uploads/2007/03/unidad_6-sist_estruc.pdf

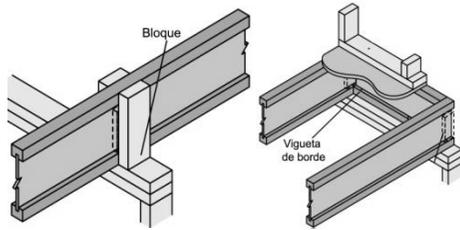


Fig. 9 Estructura de vigas, refuerzos vigueta de borde y refuerzo intermedio⁷⁻⁸⁻⁹

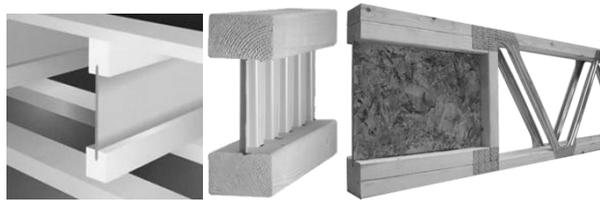


Fig. 10 Tipos de viga prefabricadas, viga TJI de sección constante, viga Nailweb de acero y madera, viga Spacejoist abierta de madera y acero⁷⁻⁸⁻⁹

1.6.5. FORJADOS CON VIGUETAS PREFABRICADOS DE MADERA

Se pudiera considerar una alternativa a los componentes aserrados que utiliza el sistema Plataforma.

Consisten en vigas de madera o mixtas (madera y acero) que son prefabricadas, apoyadas en viguetas perimetrales y que son rigidizadas al proporcionarle tableros estructurales y un sistema de perfiles de borde y de encuadre, bloques o refuerzos laterales en áreas donde existan cargas puntuales. Las luces a cubrir están de 4 a 10 m, la separación entre viguetas es de 0.40 y 0.60 m⁷⁻⁸⁻⁹ (Fig. 9 y 10).

Este sistema logra aligerar la estructura usando vigas en forma de I menos voluminosas y pesadas que las vigas llenas, integra un tablero estructural prefabricado que evita el colapso lateral de las vigas de madera, sin embargo el armado del forjado es in situ, y como se había indicado resultaría ralentizando la construcción.

⁷Guide Technique, (2010-2011), "Nailweb Web", Recuperado 13/12/2013 de <http://web.greg.free.fr/pnb-bois/inclus/frame/nailweb-guide.pdf>

⁸Trus Joist TJI, (2014), "Joist Specifier's Guide", Recuperado 15/12/2013 de www.woodbywy.com/document/tj-4000/

⁹SpaceJoist, (2007), "Floor Application Details", Recuperado 20/12/2013 de <http://www.statybulyga.lt/mokymai/medziaga/2007SpaceJoistDesignGuide.pdf>

1.7. TENDENCIAS ACTUALES DE SISTEMAS DE FORJADOS SECOS DE MADERA

Con el Sistema Plataforma se vieron los primeros niveles de prefabricación con el uso de piezas industrializadas y normadas, con el tiempo y de la mano de técnicas constructivas y la mejora de maquinarias y herramientas, surgen los sistemas de placas prefabricadas que mantiene el principio de los entramados en cuanto a la configuración estructural lineal pero integran superficies horizontales que lo delimitan y rigidizan configurando un elemento modular.

Para su fabricación utilizan como materia prima la madera aserrada en diferentes escuadrías (listón, tablas, tablonés) y productos derivados de madera, como: tableros estructurales OSB y tableros contrachapados, unidos mediante tornillos, ensambles, o adhesivo estructural.

Con estos sistemas la construcción se convierte en montaje. Una vez colocados en obra proporcionan superficies resistentes que pueden entrar inmediatamente en servicio. Las placas pueden ser adaptables a otros sistemas constructivos de diferentes materiales. A diferencia de los entramados pesados y ligeros estas placas están concebidas para cubrir grandes luces de 6 hasta 30m.

Las placas integran aspectos de acabado, pues las superficies continuas resultantes constituyen el piso y techo sin necesidad de revestimientos, de igual forma las placas que debido a su geometría generan cavidades huecas a su interior permiten el paso de instalaciones y al buscar un mejor comportamiento termo-acústico, pueden ser rellenas con materiales como lanas o fibras minerales, entre otros.

Estas placas constituyen técnicas patentadas de diseño, entre los que podemos destacar al Sistema Lignatur, Sistema Kielsteg, Sistema CBS-CBT Wenus y O'portune, descritos a continuación:



Fig.11 Sistema Lignatur Box Element ¹⁰

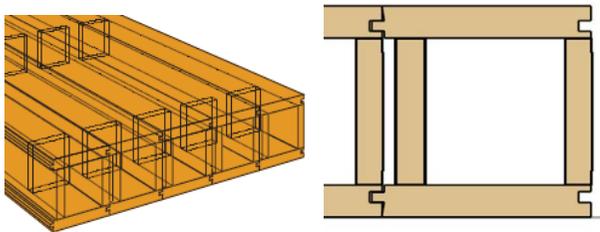


Fig. 12 Sistema Lignatur Box Element ¹⁰

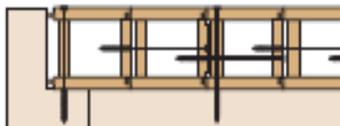
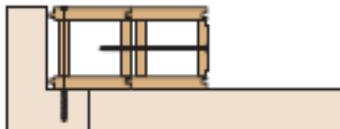
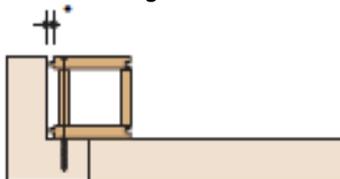


Fig.13 Sistema Lignatur Box Element, armado ¹⁰

1.7.1. SISTEMA LIGNATUR BOX ELEMENT

Constituye un elemento estructural nervado o cajón lineal que utiliza madera aserrada estructural, sus componentes son elementos verticales o nervios que cumplen la función de viguetas y son arriostrados por elementos horizontales que forman la superficie superior e inferior. Este sistema integra piezas transversales cada 1.20 m¹⁰ (Fig. 11 y 12).

Es destacable la unión entre los elementos, pues emplea adhesivo estructural, aplicado a presión, esta técnica de construcción no se evidenciaba en los anteriores sistemas, debido a que para su correcto funcionamiento se requiere el uso de maquinarias especializadas.

Las placas se apoyan sobre la estructura de manera simple y se ancla a esta atornillando todo su canto, se unen entre ellas mediante ensamble que poseen las superficies horizontales y atornillando los nervios de las placas (Fig.13).

Hay que destacar que esta placa tiene un ancho estándar de 0.40 cm por lo que resulta fácilmente manipulable y transportable, sin embargo, para su armado exige más elementos de sujeción de anclaje, principalmente el uso de tornillos largos para unir los nervios de las placas, lo que podría comprometer el tiempo de armado.

Otro aspecto relevante es que la disposición de los elementos generan al interior de la placa una cavidad hueca facilitando el paso de instalaciones y un buen comportamiento termo-acústico.

Dimensiones: Ancho: 0.40m Alto: 0.12 - 0.32m Longitud: 4 -12m

¹⁰Lignatur (2014), "Lignatur Workbook", Recuperado 5/1/2014 de <http://www.lignatur.ch/en/downloads/workbook/lignatur-workbook/>



Fig. 14 Sistema Lignatur Surface Element ¹⁰

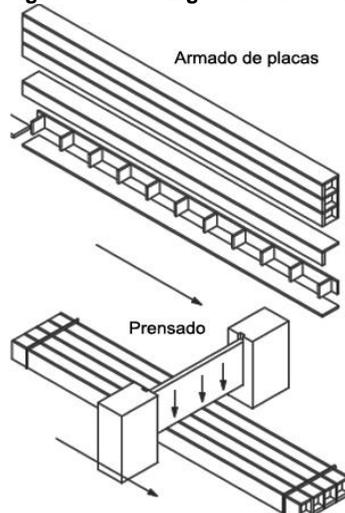


Fig. 15 Armado de placas ¹⁰

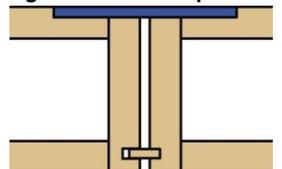


Fig. 16 Unión entre placas ¹⁰

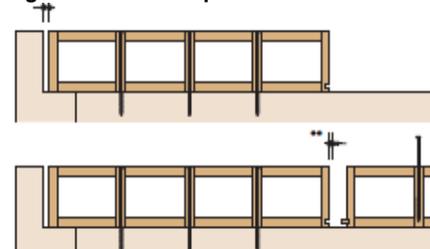


Fig. 17 Sistema Lignatur Surface Element, armado ¹⁰

1.7.2. SISTEMA LIGNATUR SURFACE ELEMENT

Es una placa nervada que utiliza madera aserrada estructural, está formada por nervios equidistantes entre sí que son arriostrados por elementos horizontales y refuerzos transversales dispuestos cada 1.20 m ¹⁰ (Fig. 14).

Un aspecto estructural a considerar es que la configuración del perfil de cajón, reduce la necesidad de arriostramiento vertical, sin embargo este sistema utiliza refuerzos transversales para dar estabilidad a la placa durante el armado, ya que el único elemento de sujeción que utiliza es un adhesivo poliuretánico (Fig. 15). Para cubrir grandes luces las tablas que la componen logran longitudes de hasta 12 m, mediante uniones dentadas.

La unión de la placa con la estructura es simplemente apoyada y se fija a la misma mediante tornillos que atraviesan todo su canto en los nervios centrales. La unión entre las placas se realiza mediante ensamble machihembrado inferior y conector metálico superior, el proceso de ensamble de las placas supone una gran destreza por parte de los operadores y además una exactitud y precisión de medidas, razón por la cual, su puesta en obra podría generar complicaciones al momento de armarlo (Fig. 16 y 17).

Si la comparamos con el sistema anterior esta placa tiene un ancho estándar de 1.00 m lo que incrementa su peso y dificulta la facilidad de manipulación, además requiere el uso de grúas para su puesta en obra, sin embargo evidencia la disminución de elementos de sujeción para la unión entre placas.

Las superficies constituyen el piso y techo, las cavidades permiten el paso de instalaciones y pueden ser rellenas con materiales que mejoren el comportamiento termo-acústico.

Dimensiones: Ancho: 1.00 m Alto: 0.12-0.32 m Longitud: 4-12 m

¹⁰Lignatur (2014), "Lignatur Workbook", Recuperado 5/1/2014 de <http://www.lignatur.ch/en/downloads/workbook/lignatur-workbook/>



Fig. 18 Perspectiva forjado Kielsteg ¹¹

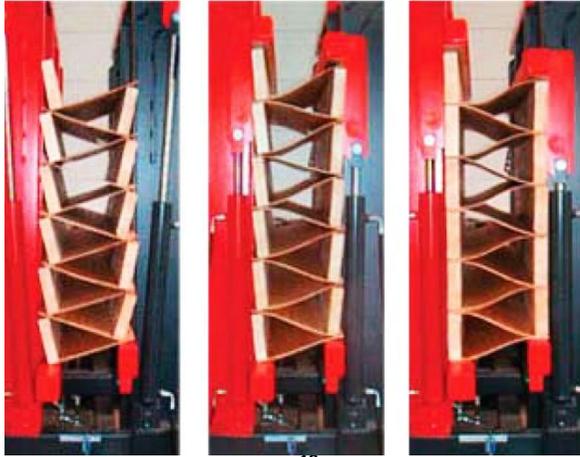


Fig. 19 Maquina de prensado ¹²

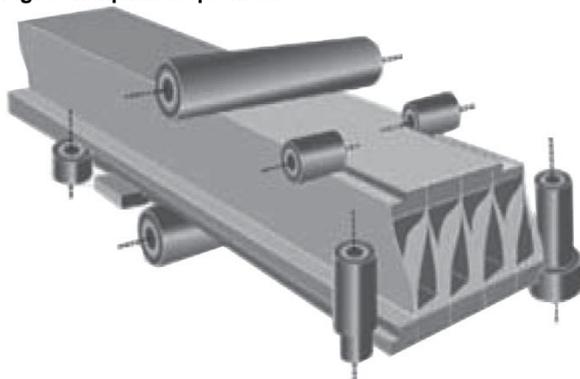


Fig. 20 Maquina que realiza los rebajes y lijado de la placa ¹²

1.7.3. SISTEMA KIELSTEG

Son placas de configuración lineal sin refuerzos transversales, la estructura interna consiste en una estructura repetitiva formada por patines superiores e inferiores de madera maciza conectados por zigzag a tableros OSB relativamente delgados, cubren luces de hasta 27 m¹¹ (Fig. 18).

Un aspecto importante a destacar en este sistema es el uso de dos materiales: la madera maciza de pino y el tablero OSB, cuyas características de resistencia son aprovechadas en las uniones puntuales dentro de la placa, dichas uniones son llevadas a cabo mediante un único elemento de sujeción que es el adhesivo poliuretánico aplicado a presión.

Es interesante en la configuración estructural la disposición de las piezas de OSB a manera de triángulo invertido, pues aportan de manera positiva a la distribución de las cargas y resistencia a esfuerzos de flexión y cizallamiento.

El armado de la placa es completamente automatizado tanto el proceso de prensado como de rebajes, dicha maquinaria está concebida particularmente para este servicio, el aporte de los operadores consiste en encolar las piezas y colocarlas en la respectivas maquinarias. De allí que se supone la precisión y homogeneidad del producto final ¹² (Fig. 19 y 20).

¹¹ Kielsteg Bauelemente, (2013), "Technical Specifications", Recuperado 10/1/2014 de <http://www.kielsteg.at/produkt/details/?lang=en#licence-information>

¹² Coronel C. Francisco, (2014), "Placas alveolares prefabricadas de madera para forjado y cubierta. Alternativa de uniones con pasadores de madera sin adhesivo", Barcelona, Recuperado 20/2/2015 de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/24535/1/20141210%20TFM%20Francisco%20%20Coronel%20C%C3%A1rdenas.pdf>

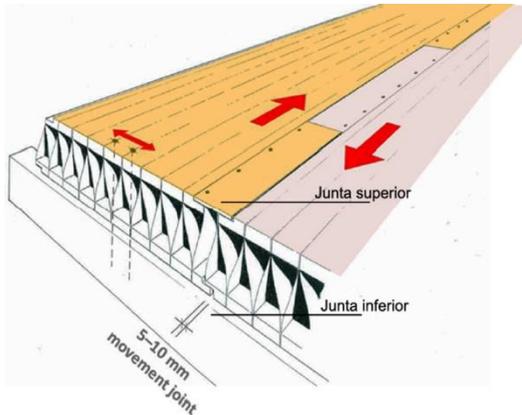


Fig. 21 Junta mixta¹¹

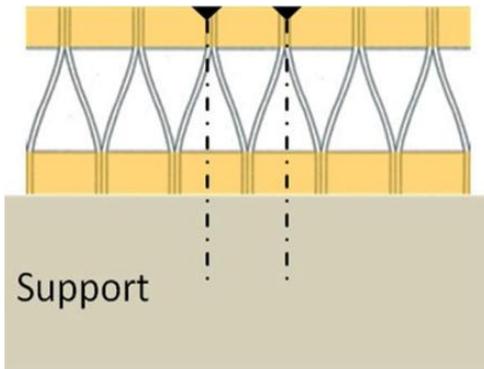


Fig. 22 Posición y fijación a la estructura¹¹

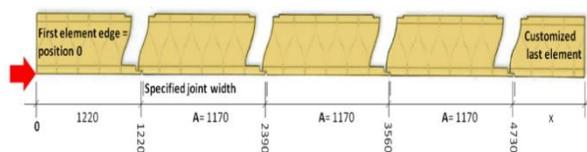


Fig. 23 Armado del forjado Kielsteg¹¹

La unión entre placas se realiza de manera mixta, en los bordes superiores de las placas se fijan tableros atornillados alternativamente permitiendo pequeños movimientos laterales por contracción y dilatación, y en la parte inferior se solapan los perfiles de los bordes de los paneles. A diferencia de la unión entre placas del sistema Lignatur, esta unión presenta la ventaja de facilitar la puesta en obra al ser simplemente traslapada, esto claro está, depende de la precisión que aportan las maquinarias que se usan¹¹ (Fig. 21).

Las placas se fijan a la estructura mediante tornillos colocados en la línea central del elemento, esto se da para permitir el movimiento lateral de cada placa, estos tornillos atraviesan el alma en la parte superior y el patín en la parte inferior, la longitud mínima de apoyo es de 0.10 a 0.15 m (Fig. 22).

Un aspecto interesante es la flexibilidad de este sistema para adaptarse a diferentes proyectos, pues, configura tres tipos de módulos, uno externo que tiene un borde en ángulo recto, el intermedio o módulo con ancho estándar y por último un módulo cuyo borde tiene ángulo recto y permite un ancho personalizado (Fig. 22).

El éxito de este sistema está directamente relacionado con el nivel tecnológico de la maquinaria que se ocupa (Fig. 19 y Fig. 20). El montaje de la placa se realiza con el uso de grúa.

Las superficies horizontales constituyen el piso y techo sin necesidad de revestimiento, las cavidades internas pueden ser utilizadas para el paso de instalaciones y cableados, su configuración aporta buenas cualidades térmicas y acústicas, por lo que no permite rellenar las cavidades con materiales aislantes.

Dimensiones: Ancho:1.20 m Alto:0.228–0.80 m Longitud: 5-27 m

¹¹ Kielsteg Bauelemente, (2013), "Technical Specifications", Recuperado 10/1/2014 de <http://www.kielsteg.at/produktedetails/?lang=en#licence-information>

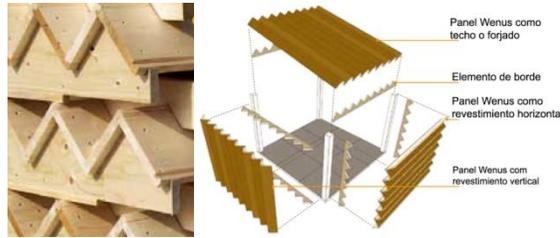


Fig. 24 Perspectiva del sistema Wenus ¹³

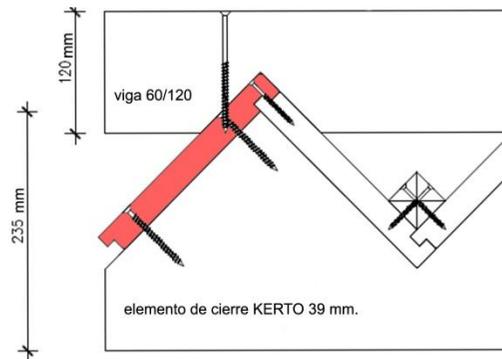


Fig. 25 Tablón modular, unión entre elementos superior e inferior ¹³

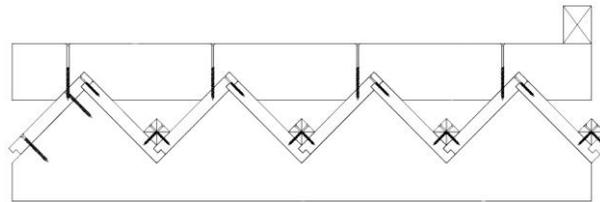


Fig. 26 Armado del forjado ¹³

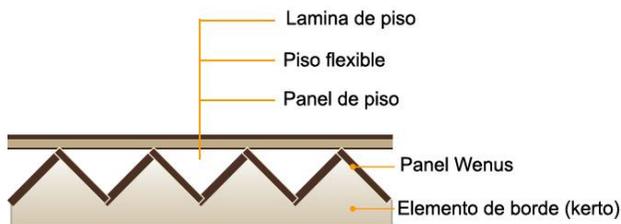


Fig. 27 Sección del forjado ¹³

1.7.4. SISTEMA CBS-CBT WENUS

La característica principal de este sistema es la utilización de un elemento estructural de madera maciza con forma dentada sobre el que se asientan tablonces de madera maciza de tal manera que conforman una estructura como una placa plegada que resiste esfuerzos de flexión¹³. La estructura no requiere el uso de refuerzos transversales para cubrir luces de 6 m (Fig. 24). Si vemos en los sistemas anteriores ninguno presenta la necesidad de elementos de borde, sin el cual, este forjado no se armaría, sin embargo destaca el uso de pocos elementos para conformar una estructura autoportante.

Un aspecto a tener en cuenta es que el tablón constituye un módulo que tiene en sus bordes ensambles para unirse entre sí, evitando desplazamientos, sin embargo, la unión superior se refuerza con tornillos que toman las fuerzas de cizallamiento producidas en este punto, y la unión inferior es reforzada para evitar su apertura utilizando una espiga cuadrada atornillada a la cara del tablón (Fig. 25). Debido al uso del módulo este forjado puede ser armado de manera prefabricada generando una placa cuyo ancho estándar es de 1.20 m (Fig. 26) o in situ uniendo los módulos entre sí.

En cuanto al aspecto de acabado, esta estructura integra a su sistema una placa de tablero estructural que le sirve de piso, (Fig. 27), para un mejor apoyo utiliza una viga en la parte superior cada 1.20 m y que además sirve para apilar las placas (Fig. 24).

El comportamiento termo-acústico lo proporciona la masa de los tablonces, aunque para incrementarlo los espacios vacíos superiores pueden ser rellenos con materiales aislantes, a su vez, dichos espacios sirven para el paso de instalaciones.

Dimensión: Ancho 1.20 m

¹³CBS-CBT, (2009), "Descriptif technique Wenus", Recuperado 25/01/2014 de <http://www.cbs-cbt.com/multimedia/documents/5340%20-%20Wenus%20-%20Descriptif%20technique.pdf>

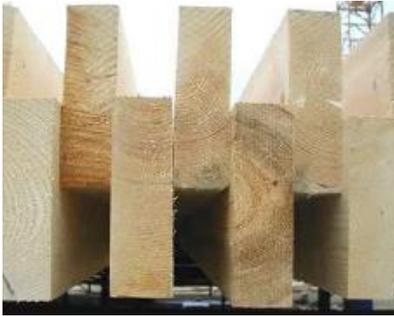


Fig. 28 Perspectiva forjado O'portune ¹⁴

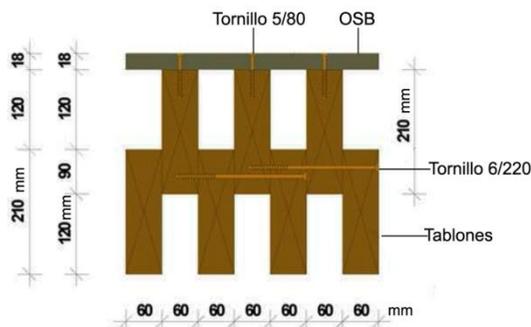


Fig. 29 Unión entre elementos ¹⁴

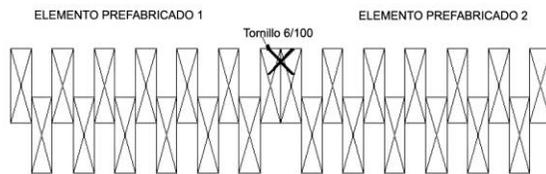


Fig. 30 Dos bloques O'portune ¹⁴

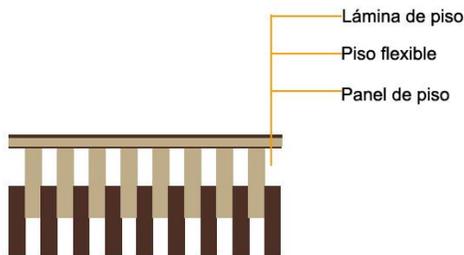


Fig. 31 Sección del forjado O'portune ¹⁴

1.7.5. SISTEMA ESTRUCTURAL CBS-CBT O'PORTUNE

Constituye una estructura monolítica, formada por tablonces de madera maciza aserrada que son desplazados entre sí y unidos mediante tornillos, cada tornillo atraviesa tres tablonces, aumentando la altura de la placa y permitiéndole cubrir luces de hasta 11 m¹⁴(Fig. 28). Es importante destacar que son los tornillos los que absorben los esfuerzos de corte en la unión y por tal razón sus dimensiones deben de ser perfectamente analizadas en función de las cargas solicitadas. Otro aspecto relevante es que para mejorar la distribución de cargas este forjado utiliza tableros estructurales que son fijados a las testas de los tablonces mediante tornillos, sirviéndole de refuerzo y proveyendo a la estructura la capacidad de transferir cargas horizontales y trabajar como diafragma (Fig.29).

El armado de la placa presenta una solución simple pues no se necesita de grandes maquinarias para unir tablonces con tornillos, por esta razón este forjado puede ser armado en taller o in situ. La unión entre placas prefabricadas, representa un solución sencilla, utiliza tornillos inclinados alternados que sujetan los tablonces superiores de los extremos generando un trabajo en conjunto (Fig. 30).

El uso del tablero estructural otorga la superficie de piso, pudiendo esta ser recubierta, la parte inferior de la estructura constituye el techo (Fig. 31). La sección de tablonces proporciona buenas características termo-acústicas debido a su masa, pero dificulta el paso de instalaciones.

A pesar que este sistema posee un elevado comportamiento estructural, y la unión entre sus elementos es sencilla, resulta ser una solución muy pesada complicando la adaptación a otras estructuras que por lo general buscan aligerar sus cargas.

¹⁴CBS-CBT, (2011), "Descriptif technique O'portune", Recuperado 26/01/2014 de <http://www.cbs-cbt.com/multimedia/documents/5320%20-%20Oportune%20-%20Descriptif%20technique%202011.pdf>



Fig. 32 Forjado, luz libre 15 m¹⁵

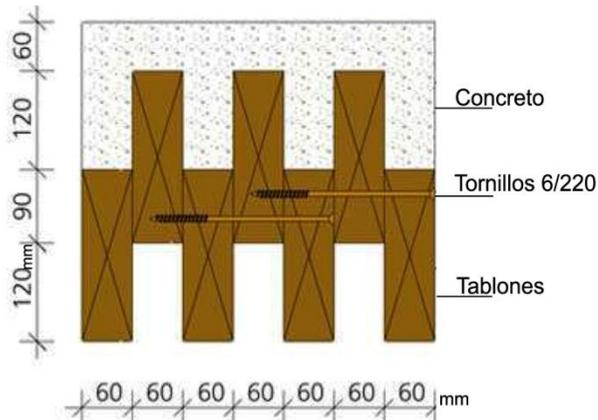


Fig. 33 Sección forjado D-Dalle¹⁵



Fig. 34 Conectores metálicos unidos a la estructura de madera¹⁵

1.7.6. SISTEMA CBS-CBT D-DALLE

Es una placa prefabricada que surge como alternativa al sistema O'portune, aumentando las propiedades estructurales, considerando la estructura de madera para resistir esfuerzos a tracción mientras que la capa de hormigón esfuerzos a compresión. Este forjado cubre luces de hasta 18 m¹⁵ (Fig. 32 y 33).

Una característica a resaltar es el uso de un conector metálico agujerado atornillado a los cantos de los tablones y embebido en la capa de hormigón, estos conectores están distribuidos cerca de los apoyos, y en el medio de la luz para recibir los esfuerzos cortantes, además de esta manera se mejora la adherencia del hormigón a la estructura de madera (Fig. 34).

En este sistema el uso de la capa de compresión le otorga un comportamiento monolítico o de diafragma al forjado pero también incrementa su peso y produciendo complicaciones como el transporte y montaje pues exige mayores cuidados para evitar producir fisuras a la capa de hormigón lo que significaría pérdida de resistencia a toda la placa.

Dimensiones:

Ancho: 1.20 m

¹⁵CBS-CBT, (2011), "Descriptif technique D-Dalle", Recuperado 28/01/2014 de <http://www.cbs-cbt.com/multimedia/documents/5350%20-%20D-Dalle%20-%20Descriptif%20technique%202011.pdf>



Fig. 35 Sistema Solivium, estructura de madera¹⁶

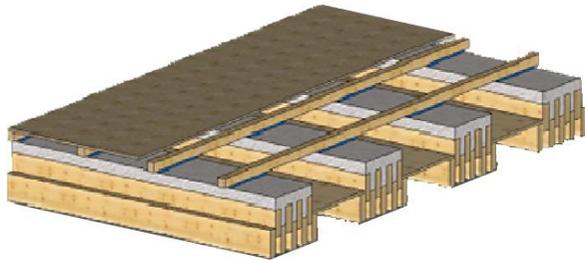


Fig. 36 Sistema Solivium, estructura mixta¹⁶

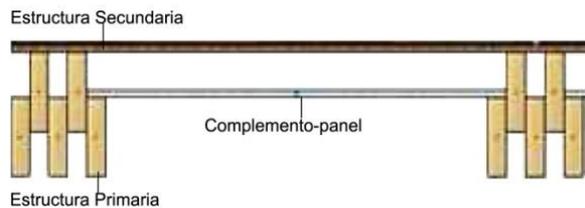


Fig. 37 Sección del forjado Solivium¹⁶

1.7.7. SISTEMA CBS-CBT SOLIVIUM

Este sistema consiste en el aligeramiento de los anteriores pues evita utilizar las secciones al 100% tanto de los sistemas O'portune como D-Dalle para utilizar un 15% a 50 % de las mismas¹⁶ (Fig. 35 y 36).

La configuración consiste en una estructura principal formada con vigas formadas por tablonces desplazados unidos mediante tornillos transversales y una estructura secundaria que consiste en tableros estructurales que arriostran las vigas. El forjado cubre luces de 6 a 14 m (Fig. 37).

Un aspecto a destacar es el uso de un elemento de complemento que consiste en paneles de yeso o madera fijados a la testa del tablón externo de la viga dejando vista la misma y generando una cavidad hueca que puede servir de paso para instalaciones o relleno de materiales termo acústicos (Fig. 37).

Este sistema evidencia la búsqueda de soluciones cada vez más ligeras y con menos cantidad de elementos unidos de manera sencilla.

¹⁶CBS-CBT, (2011), "Descriptif technique Solivium", Recuperado 29/01/2014 de <http://www.cbs-cbt.com/multimedia/documents/5360%20-%20Solivium%20-%20Descriptif%20technique.pdf>

1.8. SISTEMAS DE FORJADOS SECOS EN ACERO

Constituye sistemas mixtos formados por perfiles metálicos de poco espesor e industrializados que constituyen vigas o placas a las que se adiciona tableros de madera estructurales y placas de cemento que son fijados a la parte superior de los perfiles mediante tornillos, estos perfiles se obtienen de un proceso de conformación en frío, para lo cual se requiere el uso de maquinaria específica, generando las diversas formas de los perfiles.

Estos sistemas al igual que los entramados de madera siguen una modulación al disponer los perfiles equidistantes entre sí cuya dimensión de separación depende de las cargas a soportar. Cubren luces moderadas entre 4 – 6 m.

La construcción se realiza en obra siguiendo planos de montaje y unión entre sus elementos, siendo necesario para su ejecución mano de obra especializada. En algunos casos permite la construcción de módulos enteros que integran acabados e instalaciones.

El sistema Steel Frame es el precursor de varios sistemas en cuanto a forjados secos en acero se refiere, de los cuales se tiene alternativas en cuanto a la forma de los perfiles como también soluciones para mejorar el comportamiento acústico ya que debido a su ligereza proporciona una débil aislación de ruidos de impacto y vibración.

Estos sistemas se describe a continuación:



Fig. 38 Posicionamiento de las vigas de entrepiso en las cenefas¹⁷

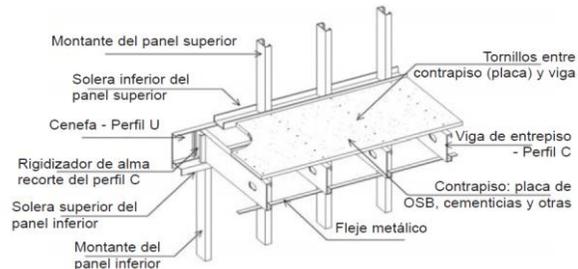


Fig. 39 Elementos de un entrepiso Steel Frame¹⁷

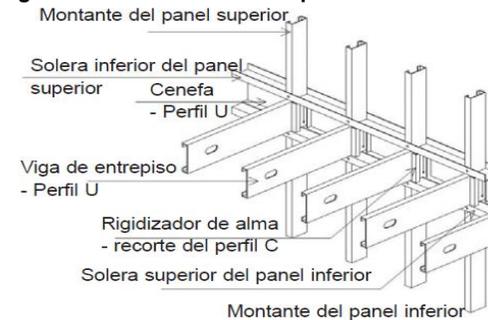


Fig. 40 Estructura de entrepiso¹⁷

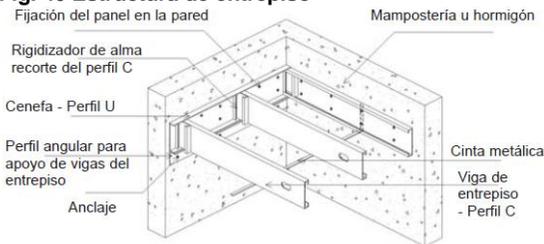


Fig. 41 Forjado Steel Frame sobre estructura tradicional¹⁷

1.8.1. FORJADO STEEL FRAME

Constituye un entramado de acero formado por perfiles de acero galvanizados estandarizados de espesor muy delgado unidos entre sí mediante tornillos. La estructura se forma por vigas de entrepiso que son perfiles de sección C, espaciadas entre sí, apoyadas en una cenefa perfil U en posición horizontal¹⁷ (Fig. 38 y 39).

Un aspecto relevante de este sistema es que debido al espesor tan delgado se requiere la utilización de rigidizadores al alma de las viguetas en los apoyos para evitar que estas se deformen cuando reciban las cargas (Fig. 40).

La unión entre sus elementos es relativamente simple pues utilizan tornillos autoperforantes. Este forjado puede fijarse a cualquier tipo de estructuras utilizando pernos o anclajes químicos (Fig. 41).

En cuanto a los acabados, utiliza tableros de madera que se fijan en los bordes de los perfiles aportándole rigidez pero también constituyen el piso o el soporte de otro tipo de revestimiento.

Este entramado metálico es muy ligero lo cual es ventajoso desde el punto de vista estructural y de montaje, pero así mismo esta ligereza genera un mal comportamiento acústico a ruidos de impacto o vibración, por lo que siempre requiere mejorar su comportamiento acústico adicionando materiales como lanas minerales, placas de caucho, entre otros, que pueden ser colocados en seco, sin embargo en algunas ocasiones se utiliza capas de concreto eliminando su característica principal, su ligereza.

¹⁷Freitas, A., Moraes de Crasto R.,(2006), "Steel Framing: Arquitectura", Rio de Janeiro, Recuperado 22/02/2014 de <http://www.construccionenacero.com/Articulos%20y%20Publicaciones/Steel%20Framing%20Arquitectura.pdf>

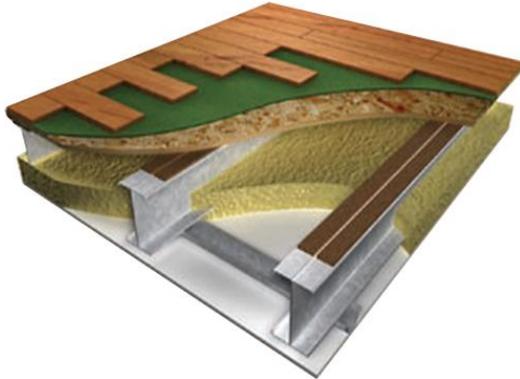


Fig.42 Perspectiva del forjado LSK¹⁸



Fig. 43 Forjado Armat Jump 45¹⁹

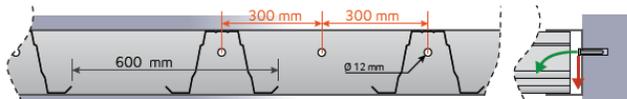


Fig. 44 Sección vigueta Jump 45¹⁹

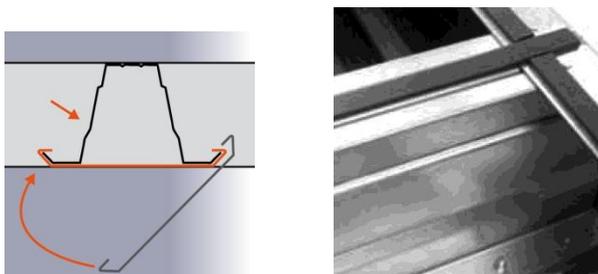


Fig. 45 Banda acústicas y pieza metálica¹⁹

1.8.2. SISTEMA DE FORJADO LSK

Los perfiles de acero que conforman la estructura del forjado constituye vigas en forma de I, apoyadas y atornilladas a un elemento de borde o perfil U, son rigidizadas por un tablero de madera estructural que le sirve de piso y/o soporte para otro revestimiento. Mejora el comportamiento acústico rellenando el espacio entrevigado con materiales termo-acústico¹⁸(Fig. 42). Debido al uso de elementos estandarizados, el forjado puede ser armado in situ o constituir módulos enteros cuya luz es de 3 m y que integra instalaciones técnicas y acabados.

1.8.3. SISTEMA DE FORJADO ARMAT, JUMP 45

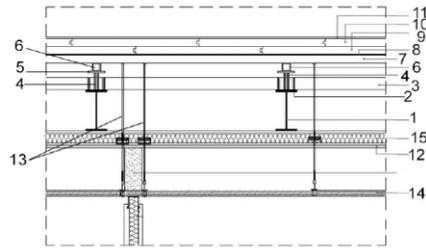
Igual que el sistema anterior, es una estructura de acero ligera conformada por la unión de perfiles de acero unidas mediante tornillos, la separación entre las vigas es de 0.60 m, y están fijadas por tornillos a una riel portadora de acero periférica, anclada a la mampostería o viga. Cubren luces de 4.50 m¹⁹(Fig. 43 y 44).

La variedad de este sistema es la forma trapezoidal de las vigas pues mejora la distribución de las cargas a las que está sometida, sin embargo como la viga es un perfil abierto para evitar deformarse en la parte inferior utiliza piezas metálicas cada 1/3 de su largo (Fig. 45).

Un aspecto interesante es el uso de una banda de caucho sobre las viguetas que genera una desconexión acústica entre los perfiles y el tablero OSB, es decir disminuye los ruidos por impacto y vibración y los causados por el comportamiento de dilatación y contracción de los perfiles (Fig. 45).

¹⁸ ArcelorMittal,(2008), "Guide Wish- Manual para viviendas con estructura de acero", Recuperado 1/02/2014 de http://www.constructalia.com/repository/Publications/Guide%20WISH/GuideWISH_ES_EN.pdf

¹⁹ ArcelorMittal, (2010), "Jump 45", Recuperado 10/02/2014 de http://ds.arcelormittal.com/repo/lionel%20pezzetti/armat%20france/Jump/Jump_web.pdf



1. Viguetas metálicas 2. Plano horizontal de apoyo 3. Paneles de Aislamiento 4. Amortiguadores Acústicos 5. Plataformas horizontales. 6. Perfiles tubulares. 7. Chapa de acero grecada 8. Lámina Bituminosa 9. Primera capa de Paneles de Sulfato Cálculo 10. Segunda Capa de Paneles de Sulfato Cálculo 11. Suelo de Terminación. 12. Placas de ferro silicato 13. Varillas Roscadas 14. Falso Techo 15. Aislamiento térmico

Fig. 46 Detalle del forjado C⁴

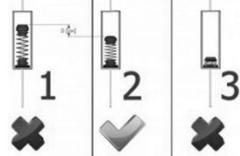


Fig. 47 Funcionamiento de amortiguador acústico²⁰



Fig.48 Tipo de forjado Supportsol²¹

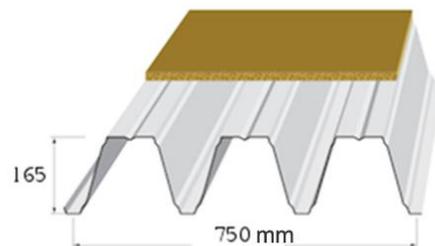


Fig. 49 Sección de Supportsol 170²¹

1.8.4. SISTEMA DE FORJADO C

Está formado por viguetas metálicas I espaciadas cada 60 cm sobre las que se asientan amortiguadores acústicos que incorpora una plataforma (Fig. 46), el uso de estos instrumentos constituye la solución para mejorar el comportamiento acústico pues disminuye el paso de las vibraciones producidas sobre el forjado⁴, lo complejo de su uso viene dado por la necesidad de un análisis adecuado de las cargas a las que estará sometido, pues trabaja a compresión y al no existir cargas o existir un exceso de ella, su trabajo será nulo²⁰ (Fig. 47).

Lo interesante del armado de este forjado es que constituye la superposición de diferentes tipos de materiales secos dispuestos sobre las plataformas de los amortiguadores.

1.8.5. SISTEMA DE FORJADO SUPPORTSOL

A diferencia de los sistemas anteriores que conforman entramados, este sistema constituye una placa formada por nervios trapezoidales que cubren luces de 4.50 m. Las placas se disponen de forma continua haciendo que sus bordes sean traslapados y se apoyan en diferentes tipos de estructuras.

Para conformar el piso se atornilla tableros de madera a las coronas de los nervios, en los anteriores sistemas se veía el uso de tableros estructurales para aportar rigidez a los perfiles, en este caso el tablero no requiere tal característica pues la placa constituye el único elemento resistente²¹(Fig. 48 y 49).

Este sistema no contribuye a un buen comportamiento termo-acústico.

⁴ Juntadeandalucia.es (2010), "Forjado C, Sistema de forjado construido en seco", Recuperado 5/9/2013 de https://ws147.juntadeandalucia.es/obraspublicasyvivienda/davwebvivi/Proyectos%20de%20Investigacion/09%20Sistema%20C/TOMO%20II%20BLOQUE%20C/08_PATENTE/Sistema_C.pdf

²⁰ Teoría de construcción.net (2012), "Aislamiento acústico", Recuperado el 5/9/2013 de <http://teoriadeconstruccion.net/blog/aislamiento-acustico-5-tecnicas-que-garantizaran-el-exito-de-tu-proyecto/>

²¹ ArcelorMittal,(2008), "Guía de sistemas de forjados Arval", Recuperado 20/02/2014 de <http://ds.arcelormittal.com/repo/lionel%20pezzetti/arval/arval%20template/Guia%20de%20forjados.pdf>

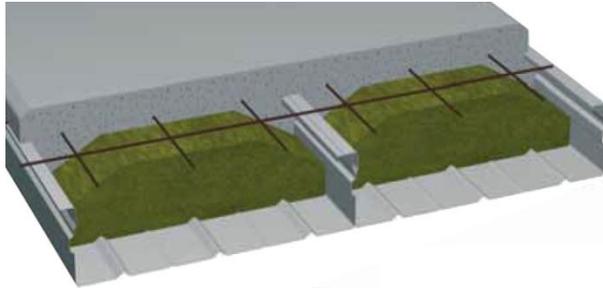


Fig. 50 Perspectiva Cofradal 200²²

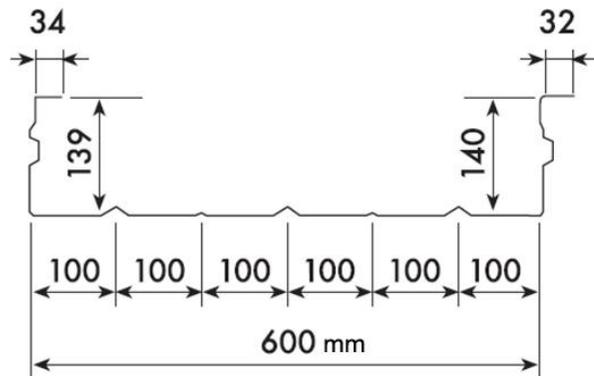


Fig. 51 Sección de bandeja metálica²²

1.8.6. SISTEMAS DE FORJADO COFRADAL 200

Es una placa prefabricada mixta de acero y hormigón, formada por una bandeja metálica estructural que recibe los esfuerzos de tracción e incorpora bloques de lana de roca que mejora el comportamiento termo-acústico de la misma, sobre esta se coloca una capa de hormigón que recibe los esfuerzos de compresión²²(Fig. 50).

Lo interesante de este sistema es la bandeja metálica pues constituye el elemento modular que además de ser resistente sirve de cofre durante el armado y proporciona a través del perfil lateral el ensamble para la unión entre placas (Fig.51).

1.9. SISTEMAS Y PROCESOS DE FORJADOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Constituyen placas prefabricadas, es decir son elementos constructivos que llegan listos para ser montados en obra, sin embargo para que este sistema de forjado entre en funcionamiento se requiere rellenar de hormigón las uniones tanto entre placas como con la estructura y en muchos casos adicionar una capa de compresión para que el forjado trabaje de manera monolítica, es por ello que este sistema no constituye un forjado seco, sin embargo para este estudio se ha buscado destacar la configuración estructural de la misma al considerar que las placas prefabricadas de hormigón cubren grandes luces con secciones aligeradas a través del uso de cavidades huecas obtenidas con espacios vacíos o elementos extremadamente ligeros.

A continuación se describen algunas placas prefabricadas de hormigón:

²²ArcelorMittal,(2008), "Guía de sistemas de forjados Arval", Recuperado 20/02/2014 de <http://ds.arcelormittal.com/repo/lionel%20pezzetti/arval/arval%20template/Guia%20de%20forjados.pdf>

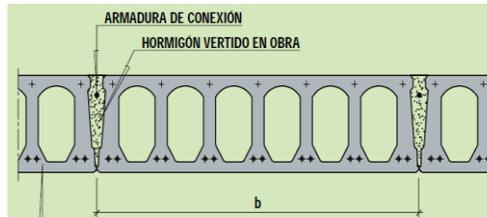


Fig. 52 Juntas entre placas²³



Fig. 53 Estructura de apoyo de placa alveolar²³

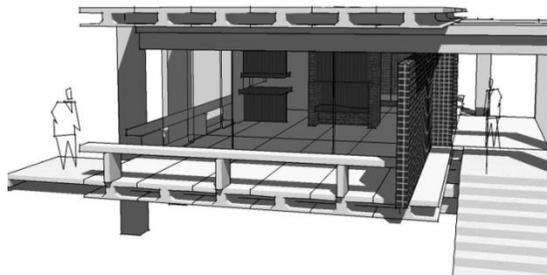


Fig. 54 Forjado con placa Artplack²⁴

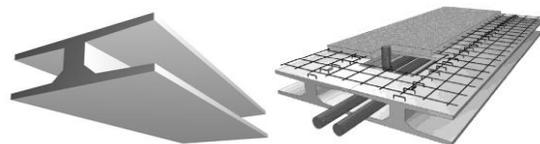


Fig. 55 Placa Artplack²⁴

1.9.1. FORJADO PLACA ALVEOLAR

Esta placa es aligerada mediante huecos longitudinales llamados alveolos entre los cuales se disponen nervios de hormigón armado o pretensado que resisten los esfuerzos de flexión y cortante²³ (Fig. 52 y 53). Las cavidades son obtenidas por el uso de maquinas que sirven de molde y dan forma a las mismas, estas permiten el paso de instalaciones.

Desde el punto de vista de configuración estructural esta placa puede considerarse como un entramado de elementos estructurales muy delgados equidistantes entre sí unidos por superficies horizontales, que debido al material funcionan de manera monolítica.

Dimensiones: Ancho: 0.60 – 1.20 m Alto: 0.15-0.20 m

1.9.2. SISTEMA DE FORJADO ARTPLACK

Es una placa prefabricada de hormigón fabricada mediante el uso de un molde metálico continuo, su geometría constituye una gran viga I, con un único nervio central y grandes alas. Esta placa cubre luces de hasta 12 m²⁴ (Fig. 54).

Es interesante el gran espacio que genera la unión entre dos placas, es quizás el sistema que mas holgura presenta para el paso de instalaciones o el relleno de materiales termo-acústico (Fig. 55).

Su aspecto final es de una superficie lisa que puede ser considerada el cielorraso, el piso lo constituye una capa de compresión que debe ser vertida en obra para garantizar la unión entre las placas.

Dimensiones: Ancho: 1.20 m Alto: 0.31 m

²³Rubiera Predisa, (2005), "Placas Alveolares", Recuperado 27/02/2014 de <http://www.rubiera.com/docs/CRPlacasAlveolares.pdf>

²⁴Artepref,(2009), "Artplack", Recuperado 25/02/2014 de <http://www.artepref.com/descargas/catalogo-artplack.pdf>

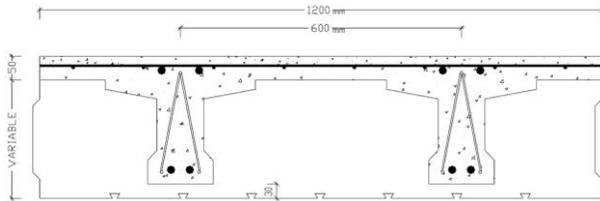


Fig. 56 Sección placa Modultherm²⁵



Fig. 57 Apoyo con salientes e izado de placa Modultherm²⁵



Fig. 58 Pieza de poliestireno soporte de armadura²⁵

1.9.3. PLACA MODULTHERM

Constituye una solución mixta, está formada por una pieza de poliestireno que une dos nervios de hormigón armado que son los que determinan la resistencia²⁵ (Fig. 56).

Lo interesante de este sistema es la pieza de poliestireno pues no solo constituye la ligereza de la placa sino que además desde un punto de vista constructivo le sirve de cofre y a través de su perfil lateral, proporciona la unión machihembrada entre placas, la parte inferior posee una serie de ranuras a las que se aplica un revestimiento de yeso constituyendo el cielorraso. Otro aspecto importante es su buen comportamiento térmico ya que el poliestireno es un excelente aislante térmico (Fig. 57 y 58).

Es un sistema que en términos generales resuelve su resistencia y ligereza con pocos elementos, pero para que funcione monólicamente requiere una capa de hormigón.

Dimensiones: Ancho: 1.20 m Alto: 0.19 m

²⁵Knauf Industries, (2007), "Construyendo el futuro con EPS", Modultherm, pag 16, Recuperado 1/03/2013 de <http://www.davsa.com/infoWeb%5CUnificador%5CCataleg%5C0401.pdf>

CAPÍTULO 2.- MATERIALES Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Los forjados secos están formados por elementos resistentes tales como vigas de sección llenas o aligeradas y elementos de cierre que los rigidizan como tableros o planchas estructurales los mismos que no sufren cambios de endurecimiento o fraguado in situ, sino que llegan en ese estado a la obra. En términos generales son prefabricados en madera, acero y hormigón. Además existen materiales complementarios que mejoran el comportamiento térmico, acústico y de protección a fuego.

2.1. MATERIALES

Los materiales que son utilizados en la fabricación de forjados secos constituyen generalmente madera, hormigón (en elementos prefabricados) y acero.

2.1.1. MADERA

Material de origen vegetal extraído de las partes leñosas de los árboles con suficientes dimensiones de forma tal que pueda ser utilizado en la fabricación de elementos para la construcción. Está formado por un conjunto de fibras alargadas y paralelas de celulosa aglutinadas por un material conocido como lignina que le proporciona rigidez y dureza. Es un material anisotrópico (el comportamiento tanto físico como mecánico depende de la dirección longitudinal de las fibras y anillos de crecimiento), higroscópico (absorbe la humedad del ambiente o sumergida en agua).



Fig. 59 Madera dura²⁷

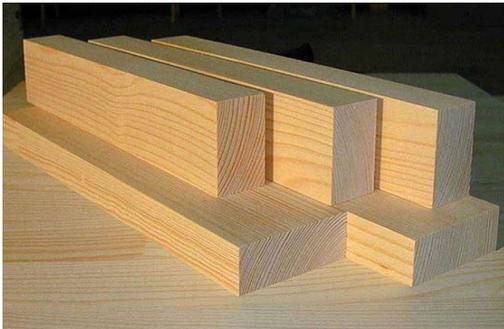


Fig. 60 Madera blanda-pino²⁷

La densidad de la madera varía notablemente entre especies y según la condición de contenido de humedad que esta posea²⁶.

El porcentaje de humedad influye notablemente en las propiedades mecánicas (resistencia a compresión, tracción, cizallamiento, flexibilidad y hendibilidad), convencionalmente se utilizan maderas entre 12 y 15 % de humedad. La presencia de defectos y nudos en la madera también hace que estas propiedades varíen.

La madera constituye un buen aislante térmico debido a que su estructura porosa establece una barrera al paso del calor, al igual que un buen absorbente acústico pues los sonidos son disipados a través de su estructura reduciendo la transmisión de ondas sonoras²⁶.

Existen dos grandes tipos de madera y son:

Madera Natural. Según la dureza la madera se clasifica en:

Madera Duras. Proceden de árboles que tardan mucho tiempo en alcanzar el grado de madurez suficiente para ser cortadas y empleadas en la elaboración de elementos de construcción. Estas maderas son resistentes, pero la mayoría son pesadas. Entre estas se tiene: haya, roble, nogal, ébano, cerezo, castaño, fresno, olivo, eucalipto²⁷ (Fig.59).

Madera Blanda. El término madera blanda es usado para describir la madera proveniente de los árboles coníferos, que tienen un tronco recto, cónico hasta su ápice, tienen buenas características de resistencia, son mas dúctiles. Presentan un elevado contenido de resinas. Entre estas se tiene: Pino, Abeto, Alerce, Ciprés, Cedro²⁷ (Fig. 60).

²⁶ Corporación Chilena de la Madera AG, (2007), "Manual La Construcción de Viviendas en Madera, Capítulo I, Unidad 1, La Madera", Centro de Transferencia Tecnológica Corporación Chilena de la Madera, Chile, Recuperado 22/05/2015 de http://www.cttmadera.cl/wp-content/uploads/2007/03/unidad_1-madera.pdf

²⁷ IES La Arboleada, "Tipos de Madera", Recuperado 25/05/2015 de <https://loskingdelamadera.wordpress.com/tipos-de-madera/>



Fig. 61 Madera artificial ²⁷

Según el proceso de fabricación de las maderas naturales se tiene:

Madera Maciza. Dentro de la madera maciza esta la madera aserrada y la madera de rollizo.

Madera Aserrada y Cepillada. Es la madera sometida a un proceso mínimo de transformación que no incluye ni encolados ni ensambles de unión dentada y que se obtiene mediante aserrado longitudinal del tronco y cepillado, obteniéndose piezas de diferente sección (ancho y altura), es habitual referirse a ellas como listones, tablas, tablones, madera escuadrada o madera de gruesa escuadría²⁸.

Madera Laminada Encolada. Son piezas estructurales formadas por el encolado y presión de laminas de madera manteniendo la dirección de la fibra paralela.

Madera Artificial. Son derivados de madera elaborados a partir de láminas o virutas de madera tratadas convenientemente²⁷ (Fig. 61). Según el proceso de fabricación utilizado podemos tener:

Aglomerado. Están fabricados con madera triturada o virutas de madera unida por medio de un aglomerante sintético. Presentan una superficie bastante lisa.

Contrachapado. Se fabrica mediante la unión encolada y prensada de varias láminas finas de madera, colocándolas con sus fibras perpendiculares entre sí para obtener mayor resistencia en todas las direcciones.

Tableros de fibra. Se obtienen uniendo partículas o fibras de madera con una resina sintética y luego prensando.

²⁷ IES La Arboleada, "Tipos de Madera", Recuperado 25/05/2015 de <https://loskingdelamadera.wordpress.com/tipos-de-madera/>

²⁸ Interempresasnet, Madera, (2013), "Madera aserrada para uso estructural", Recuperado 1-6-2015 de <http://www.interempresas.net/Madera/Articulos/105399-Madera-aserrada-para-uso-estructural.html>)

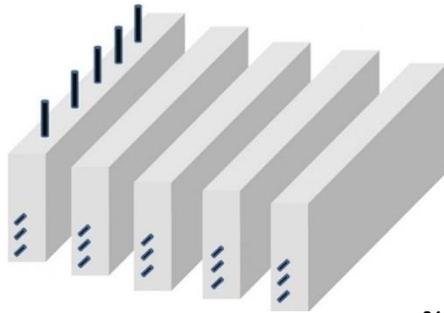


Fig. 62 Vigas prefabricadas de hormigón ³¹

El siguiente material se considera para este estudio desde el punto de vista de la prefabricación.

2.1.2. Hormigón prefabricado

Es el producto resultante de moldear piezas o elementos de diferentes dimensiones y tipos, de forma industrial, según su destino; utilizando una mezcla de arena, grava o piedra con un aglomerante que constituye cemento mezclado con una porción adecuada de agua, esta mezcla se vierte sobre una armadura de hierro. Este sistema industrializado de producción mejora las características físicas y mecánicas del material, (resistencia mecánica, a la corrosión, adherencia, superficies planas), requiere de control de calidad, además hace posible acortar los plazos de ejecución, bajando costes y disminuyendo riesgos en el deterioro del material. La densidad del hormigón varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Es un material que resiste muy bien los esfuerzos a compresión y el hierro resiste los esfuerzos a tracción²⁹.

Hormigón Pretensado. Son elementos estructurales prefabricados de hormigón sometidos intencionalmente a esfuerzos de compresión previos a su puesta en servicio, mediante barras, alambres o cables de acero que son tensados y anclados al hormigón. Esta técnica se emplea para superar la debilidad natural del hormigón frente a esfuerzos de tracción. La mayoría de elementos pretensados son prefabricados en taller y deben ser transportados al lugar de construcción, lo que limita su tamaño ^{30 31}(Fig. 62).

²⁹Construmática, "Hormigón prefabricado", Recuperado 25/05/2015 de http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n_Prefabricado

³⁰Wikipedia, "Hormigón pretensado", Recuperado 26/05/2015 de http://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n_pretensado

³¹Arqhys Arquitectura, "Vigas Pretensadas", Recuperado 25/05/2015 de <http://www.arqhys.com/construccion/fotos/construccion/vigas-pretensadas.jpg>

2.1.3. Acero

Es un material compuesto por una aleación de hierro y carbono. El acero ofrece diferentes resultados en función de la presencia o ausencia de otros metales, mejorando su resistencia y dureza, al impacto, al desgaste, a la corrosión.

Acero laminado. Son laminas de acero que se obtienen de la fundición de lingotes de acero a determinar temperatura que permita la deformación y devastación a través de una cadena de cilindros a presión llamado tren de laminación, estos cilindros van conformando el perfil hasta conseguir la forma y medidas adecuadas. Entre estos tenemos ángulos estructurales, vigas I, canales U, perfiles T, platinas, entre otros.

Acero galvanizado. Es un material que combina las características de resistencia mecánica del acero y la resistencia a la corrosión del Zinc, con esto se logra una buena duración y resistencia mecánica³² (Fig. 63).



Fig. 63 Perfil de acero galvanizado³²

³²Construmatica, "Acero", Recuperado 25/05/2015 de <http://www.construmatica.com/construpedia/Acero>

2.2. ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Son aquellos que componen un forjado, resisten y transmiten las cargas a las que el forjado se ve sometido. Constituyen elementos resistentes (vigas) y elementos que fijan (tableros o planchas estructurales) tanto superior y/o inferior a los elementos resistentes.

2.2.1. ELEMENTOS RESISTENTES

Constituyen principalmente vigas.

Viga. Elemento estructural lineal, cuya longitud predomina sobre las otras dos dimensiones, salva luces, soporta su peso propio y las sobrecargas de uso. Trabaja principalmente en flexión y corte. Un conjunto de vigas es lo que conforma básicamente la plataforma de piso o entrepiso.

Se consideran las vigas según su sección llena o aligerada pudiendo ser de madera, hormigón prefabricado o acero, las mismas son utilizadas en los forjados según el requerimiento de uso y resistencia.

Vigas de sección llena. Estos elementos por lo general son de sección rectangular, entre estas tenemos:

Vigas de madera maciza o aserrada. Viga llena, generalmente de sección rectangular, se usa principalmente en estructuras de luces pequeñas de 3 y 4 m³³ (Fig. 64).

Tablones y tablas de madera. Piezas de madera de sección rectangular llena, para el uso estructural deben ser consideradas dispuestas en forma de vigas continuas simplemente apoyadas, el distanciamiento dependerá de las cargas a soportar³³ (Fig. 65).



Fig. 64 Viga maciza³³



Fig. 65 Tablones y tablas³³



Fig. 66 Viga laminada³³

³³ Maderas Besteiro, "Madera Estructural", Recuperado 15/02/2014 de <http://www.mbesteiro.com/es/madera.php#/madera-estructural>



Fig. 67 Viga prefabricada de hormigón³⁴

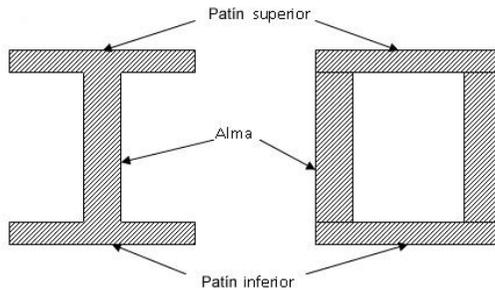


Fig. 68 Viga de acero alma llena³⁵

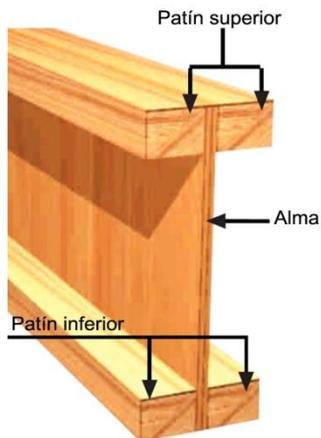


Fig. 69 Viga I³³

Viga de madera laminada. Viga llena de sección transversal rectangular de eje recto o curvo, compuesta de láminas o tablas de madera unidas entre sí por un adhesivo y a presión. Se usan para estructuras de luces mayores³³ (Fig. 66).

Viga prefabricada de hormigón. Son elementos estructurales prefabricados de hormigón armado de sección rectangular, que cubren luces de 3 a 4 m³⁴ (Fig. 67).

Vigas de acero con alma llena. Son estructuras solidas de acero pueden ser de sección cuadrada o rectangular, vigas I o cajón, también pueden estar formadas por la unión de diferentes perfiles, canales o ángulos metálicos. Los perfiles laminados en forma de L ó T ó I, forman un conjunto de tipologías diferentes, las masas de acero se disponen en los extremos o alas, y el alma actúa simplemente a manera de unión³⁵ (Fig. 68).

Vigas de sección aligerada. Son elementos aligerados que por lo general son usados para cubrir grandes luces.

Vigas de madera I. Tienen sección en forma de I, están compuestas por un patín superior e inferior de madera maciza unidos a el alma de la viga que puede ser de madera maciza o un tablero OSB o contrachapado, sus dimensiones dependen de las resistencia requeridas³³ (Fig. 69).

³³ Maderas Besteiro, "Madera Estructural", Recuperado 15/02/2014 de <http://www.mbesteiro.com/es/madera.php#/madera-estructural>

³⁴ Scribd, Giovanni Rosas, (2011), "Capítulo 8 Estructuras de concreto prefabricado", pág. 142, Recuperado 20/03/2014 de <http://es.scribd.com/doc/52458429/ESTRUCTURAS-DE-CONCRETO-PREFABRICADO#scribd>

³⁵ Educa gratis, Curso de estructuras metálicas, Piezas de directriz recta sometidas a flexión, Recuperado 28/05/2015 de <http://www.educagratis.org/moodle/course/view.php?id=598>

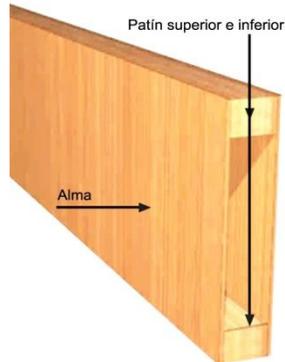


Fig. 70 Viga cajón ³³

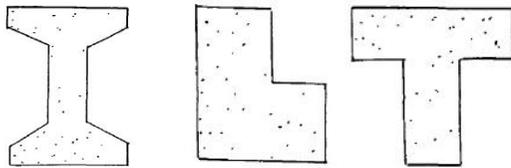


Fig. 71 Vigas de concreto prefabricado, rectangular , I, L, T ³⁴



Fig. 72 Viga abierta ^{36 - 37}



Fig. 73 Viga mixta aligerada ⁹

Vigas de madera cajón. Tienen una sección rectangular, están compuesta por madera macizas que constituyen los patines superiores e inferiores de la viga y son revestidos lateralmente por tableros OSB o contrachapado³³ (Fig. 70).

Vigas prefabricadas de hormigón. Son elementos estructurales de concreto armado o pretensado dependiendo las cargas y las longitudes a las que son sometidas. Tienen formas muy variadas. Las formas más comunes son I, L, T y sus variaciones³⁴ (Fig. 71).

Vigas de acero de sección aligerada. Están formadas por diferentes perfiles aligerados, o con una estructura de barras rígidas que se interrelaciona³⁶⁻³⁷ (Fig. 72).

Vigas de mixta. Son vigas aligeradas, los patines constituyen maderas maciza y el alma celosías que pueden ser de acero o madera⁹ (Fig.73).

⁹ SpaceJoist, (2007), "Floor Application Details", Recuperado 20/12/2013 de <http://www.statybulyga.lt/mokymai/medziaga/2007SpaceJoistDesignGuide.pdf>

³³ Maderas Besteiro, "Madera Estructural", Recuperado 15/02/2014 de <http://www.mbesteiro.com/es/madera.php#/madera-estructural>

³⁴ Scribd, Giovanni Rosas, (2011), "Capítulo 8 Estructuras de concreto prefabricado", pág. 142, Recuperado 20/03/2014 de <http://es.scribd.com/doc/52458429/ESTRUCTURAS-DE-CONCRETO-PREFABRICADO#scribd>

³⁶ ESJ, Exbeam, Recuperado 28/05/2015 de <http://www.esj.mx/c/ex-beam.html>

³⁷ G&J Empresas de acero, "Joist Vigueta Estructural", Recuperado 28/05/2015 de http://www.gyferreterias.com/index.php?id_product=17&controller=product



Fig. 74 Tableros de madera maciza³⁸



Fig. 75 Tableros contrachapado³⁸



Fig. 76 Tableros de partículas³⁸



Fig. 77 Tableros de fibras³⁸

2.2.2. ELEMENTOS DE FIJACIÓN

Constituyen principalmente tableros o planchas estructurales, son caracterizados por tener una gran superficie y un reducido espesor. Su aplicación radica como cerramiento y refuerzo de vigas de forjados. Resisten las cargas perpendiculares a su plano y en algunos casos actúan como diafragma, resistiendo los esfuerzos cortantes debido a acciones horizontales sobre la estructura³⁸. Entre estos tenemos:

Tableros de madera maciza. Están fabricados con tablas, tablillas o listones de madera que se unen entre sí por encolado, machihembrado o por un revestimiento de chapa encolada. Se fabrican con una o varias capas³⁸(Fig. 74).

Tableros contrachapados (plywood). Están fabricados mediante el encolado de chapas de madera que están dispuestas perpendicularmente entre sí³⁸ (Fig. 75).

Tableros de partículas. Están fabricados con virutas de madera y/o materiales lignocelulósicos en forma de partículas, adicionando un polímero aglomerante mediante la aplicación de presión y calor³⁸ (Fig. 76).

Tableros de fibras. Fabricado a partir de fibras lignocelulósicas, mediante la aplicación de calor y presión. La cohesión se consigue por prensado de las fibras por sus propiedades adhesivas intrínsecas, o por la adición de un adhesivo sintético³⁸ (Fig. 77).

³⁸ Confemadera, (2010), "Guía de Construir con Madera, Capítulo 0, Conceptos Básicos de la construcción con madera", Tableros estructurales derivados de la madera pág. 51-53, Recuperado 4/4/2014 de <http://www.confemadera.es/rs/99/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/dc5/filename/conceptos-basicos.pdf>



Fig. 78 Tableros de virutas-OSB ³⁹

Tableros de virutas orientadas–OSB. Es un tablero formado por virutas de madera, orientadas en capas perpendiculares entre sí, mezcladas con adhesivos fenólicos y de poliuretano prensados a alta temperatura y presión. Rigidizan estructuras de techos, muros y pisos en la construcción (Fig. 78). Existen tableros estructurales en cuya fabricación se incorpora aditivos para mejorar algunas de sus propiedades como: protección a termitas, hongos, retardantes de fuego y resistentes al agua, según su fabricación pueden ser aplicados en ambientes secos o húmedos³⁹. La densidad de los tableros OSB depende de la especie de madera, puede estar entre 600 a 680 kg/m³. Su capacidad de aislante térmico y acústico es similar a la madera natural, aunque mejorado por la incorporación de resinas y aditivos. Es un mal conductor de la temperatura, y debido al grado de heterogeneidad que presenta la estructura interna conformada por capas de virutas orientadas perpendicularmente entre sí, provoca altos niveles de divergencia o separación del haz sonoro, por lo que se le considera un atenuador acústico⁴⁰. Dependiendo de los tratamientos ignifugantes que ha recibido, pueden proporcionar una resistencia al fuego de 30 minutos hasta 90 minutos.

Para la unión y fijación, se puede utilizar tornillos, clavos estriados o grapas. Para mejorar la rigidez y prevenir la salida de los mismos debido a los movimientos naturales de la madera con las variaciones de humedad ambiente se puede considerar colocar cordones de adhesivo (puede ser adhesivo de poliuretano de rápido secado) en las viguetas a las que posteriormente se fija el tablero.

³⁹ LP Buildings Products, (2013), “Catalogo Técnico OSB Home Estructural”, Recuperado 22/03/2014 de http://lpchile.cl/files/catalogos%20t%C3%A9cnicos/LP_OSB_TEC_200213.pdf

⁴⁰ Garay M, Silva S., (2011), “Comportamiento de tableros a base de madera, durante ensayos de atenuación ultrasónica”, Revista de la Construcción Volumen 10 N° 3, Artículo05, p. 41-51, Santiago, Recuperado 24/03/2014 de <http://www.scielo.cl/pdf/rconst/v10n3/art05.pdf>

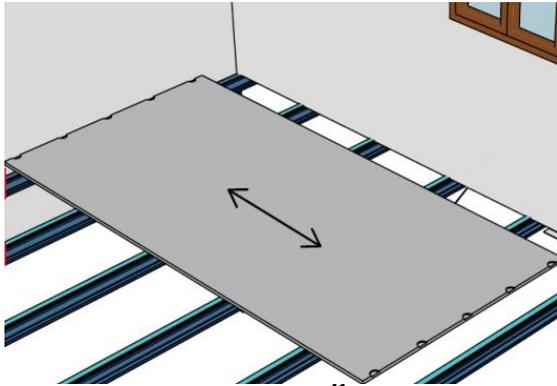


Fig. 79 Tablero de fibrocemento ⁴¹



Fig. 80 Placa de acero galvanizado ²¹

Tablero de fibrocemento. Es un tablero formado por cemento Portland, carbonato de calcio, fibras celulósicas, y otros agregados menores. La superficie es tratada con una emulsión impregnante que le imparte repelencia al agua⁴¹ (Fig. 79).

Placa de acero galvanizado. Es una placa de acero estructural con aleación de zinc con corrugación trapezoidal, en forjados secos sirve como elemento de soporte estructural sobre el que se coloca tableros de madera o de cemento²¹ (Fig. 80).

²¹ ArcelorMittal,(2008), "Guía de sistemas de forjados Arval", Recuperado 20/02/2014 de <http://ds.arcelormittal.com/repo/lionel%20pezzetti/arval/arval%20template/Guia%20de%20forjados.pdf>

⁴¹ Plycem, (2013), "Manual de entrepiso" Recuperado 25/05/2015 de <http://www.plycem.com/wp-content/uploads/2013/07/Manual-de-inst-Entrepiso-web-25-feb-2015.pdf>

2.3. MATERIALES COMPLEMENTARIOS

Son materiales no estructurales que se adicionan al sistema del forjado para generar una mejora en cuanto a las características de aislamiento térmico, acústico, y protección al fuego.

2.3.1. AISLANTES TÉRMICOS

Son materiales livianos que poseen baja conductividad térmica y alta resistencia térmica. Se considera aislante térmico al material que tiene una conductividad térmica menor que 0.060 W/m.K y una resistencia térmica mayor que $0.25 \text{ m}^2\text{-K/W}^{42}$ (Tabla 2).

2.3.2. AISLANTES ACÚSTICOS

Son aquellos materiales que minimizan la transmisión de sonido de un ambiente a otro o del exterior al interior del ambiente y viceversa (Tabla 3). Se clasifican de la siguiente manera:

Materiales absorbentes, tienen la capacidad de absorber la mayor parte de la onda sonora que reciben reflejando un porcentaje muy pequeño del sonido incidente, evitando los rebotes. Son materiales porosos, con relativa baja densidad, cuanto más poroso y denso, mayor es la absorción⁴³.

Materiales aislantes, son aquellos que no dejan pasar el ruido y lo reflejan en su mayor parte, suelen ser rígidos, compactos, densos y no porosos, casi impenetrables, sobre todo al aire⁴³.

Materiales anti vibratorios, reducen la transmisión de las vibraciones generados por impactos⁴³.

2.3.3. PROTECCIÓN A FUEGO

Son materiales de protección contra fuego (Tabla 4).

⁴²IVE Instituto Valenciano de la Edificación, (2011), "Cuadernos de rehabilitación, Producto y materiales. Propiedades de aislantes térmicas para rehabilitación energética", Recuperado 5/4/2014 de http://www.five.es/descargas/archivos/P1_portada.pdf

⁴³Tipos de Aislantes, (2014), Recuperado 1/5/2014 de <http://www.como-insonorizar.com/p/tipos-de-aislantes.html>



La tabla expone algunos materiales aislantes térmicos⁴² (Fig. 81).

Material	Estructura	Cond.T. W/(m.K)
Lana de roca	Fibrosa multidireccional, alberga aire inmóvil en su interior.	0,03-0,05
Lana de vidrio	Filamentos de vidrio unidos con un aglutinante, tiene burbujas de aire atrapadas entre las fibras.	0,03-0,05
Fibra de madera	Constituido por un 65 % de fibras de madera largas y por un 35 % de aglomerantes minerales, cemento o magnesita.	0.038-0.107
Fibra de cáñamo	Composición de 85 % fibra de cáñamo, 15 % fibra termo fusible poliéster.	0.037-0.045
Fibra de lino	Composición de 85 % fibra de lino y 15 % fibras termo fusibles de poliéster.	0.037- 0.047
Fibra de coco	Fibras naturales de coco.	0.043–0.047
Celulosa	Papel reciclado molido añadido sales de bórax.	0,034-0.069
Algodón	Fibras de algodón.	0.029-0.040
Lana de oveja	Lana de oveja natural.	0,035- 0,050
Corcho	Corcho sin aglomerantes.	0,034 -0,100
Vidrio celular	Formado a partir de polvo de vidrio.	0,035- 0,055
Espuma de poliestireno expandido	Estructura celular cerrada, el 85% es aire.	0,029 -0,053
Espuma de poliuretano	Estructura celular cerrada de aire.	0,019- 0,040
Poliestireno extruido	Estructura celular cerrada de aire.	0,025- 0,040

Tabla 2. Materiales aislantes térmicos⁴²

Fig.81 Materiales Aislantes Térmicos⁴²

⁴² IVE Instituto Valenciano de la Edificación, (2011), "Cuadernos de rehabilitación, Producto y materiales. Propiedades de aislantes térmicas para rehabilitación energética", Recuperado 5/4/2014 de http://www.five.es/descargas/archivos/P1_portada.pdf



Esta tabla expone algunos materiales aislantes acústicos⁴³ (Fig. 82).

Material	Estructura	Tipo
Lana de roca	Fibrosa multidireccional y elástica, frena el movimiento de las partículas de aire y disipa la energía sonora.	Absorbente
Lana de vidrio	Abierta y elástica, amortigua las ondas sonoras el sonido transmitido es menor.	Absorbente
Lanas de poliéster	Fibras de poliéster termo ligadas, estructura porosa y abierta.	Absorbente
Placa fonoabsorbente	Porosa, el sonido incidente se disipa en sus cavidades.	Absorbente
Espuma celulósica	Espuma de celulosa.	Absorbente
Vinílico alta densidad	Vinilo de alta densidad, compacto.	Aislante
Placa yeso laminado	Placa compuesta por yeso y celulosa.	Aislante
Espuma elastomérica	A partir de caucho sintético, se presenta en forma de célula cerrada.	Aislante
Poliestireno extruido	Estructura celular cerrada	Aislante
Espuma poliuretano	Espuma de celda cerrada	Aislante
Poliestireno expandido	Estructura celular cerrada con baja rigidez dinámica.	Antivibratorio
Espuma de polietileno reticulado	Estructura celular cerrada	Antivibratorio
Aisladores o silentbloks	Amortiguador de caucho termo acelerado con cuerpo metálico.	Antivibratorio

Tabla 3. Materiales aislantes acústicos⁴³

Fig. 82 Materiales aislantes acústicos⁴³

⁴³Tipos de Aislantes, (2014), Recuperado 1/5/2014 de <http://www.como-insonorizar.com/p/tipos-de-aislantes.html>



Fig. 83 Materiales de protección al fuego⁴⁴

Esta tabla expone algunos materiales de protección al fuego⁴⁴ (Fig. 83).

Material	Estructura	Comportamiento
Lana de roca	Fibrosa multidireccional, recubierto con papel aluminio.	No combustible, protección pasiva, no genera gases tóxicos ni humo.
Lana de vidrio	Filamentos de vidrio unidos entre sí.	No combustible, no propaga el fuego, sirve de barrera contra el fuego.
Yeso laminado	Formado de sulfato de calcio hidratado y otros compuestos.	No es inflamable, al exponerse al fuego, el sulfato de calcio pierde moléculas de agua por evaporación, retardando la propagación de fuego por varios minutos.
Corcho	Corcho natural	Difícilmente inflamable, no emite gases tóxicos.
Barniz ignifugo	Resinas de caucho halogenado modificado y aditivos ignífugos.	Ralentizan la acción del fuego y sus efectos.
Pintura intumescente	Pintura a base de agua con pigmentos intumescentes.	A altas temperaturas se forma una capa que actúa de barrera contra el fuego.
Espuma de poliuretano	Pintura a base de poliuretano auto expansiva.	Sirve de sellador hermetizado para humo y gas.
Silicona	Sellador con base de silicona.	Sellador retardante de fuego.

Tabla 4. Materiales de protección al fuego⁴⁴

⁴⁴EXB, (2010), "Seguridad y protección contra incendios", Recuperado 22/01/2014 de <http://www.exb.es/pasiva-prefacio-proteccion-fuego.php>

CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS DE LA MORFOLOGÍA DE DISEÑO DE FORJADOS SECOS

3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analiza los sistemas de forjado compuestos por placas prefabricadas que fueron descritos en el capítulo 1, de donde las características de los mismos otorgan pautas para la solución del diseño de forjado prefabricado seco.

Se analiza las características morfológicas estructurales, esto es, la configuración de elementos, peso, comportamiento estructural, unión entre elementos, unión entre placas, unión a la estructura.

También se analiza las características morfológicas arquitectónicas, esto es, coordinación modular, el comportamiento térmico, acústico y al fuego, así como el paso de instalaciones y el acabado final.

3.2. ANÁLISIS MORFOLÓGICO ESTRUCTURAL

3.2.1. CONFIGURACIÓN DE ELEMENTOS

Los forjados o placas prefabricadas están formados por elementos resistentes o nervios dispuestos de forma longitudinal a los cuales se fija por la parte superior una superficie o tablero estructural que sirve de piso; por la parte inferior también se fija a los nervios una superficie o tablero que sirve de techo y forma una cámara de aire proporcionando aislamiento térmico y acústico. Ambas superficies aportan rigidez a la placa (Fig. 84-91).

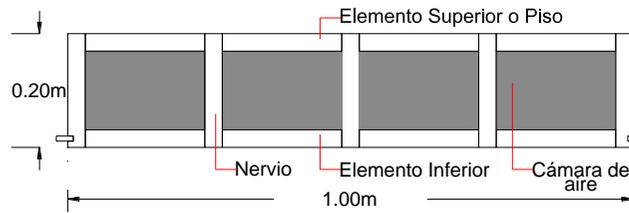


Fig. 84 Placa Lignatur

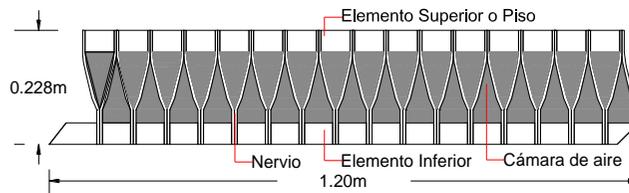


Fig. 85 Placa Kielsteg

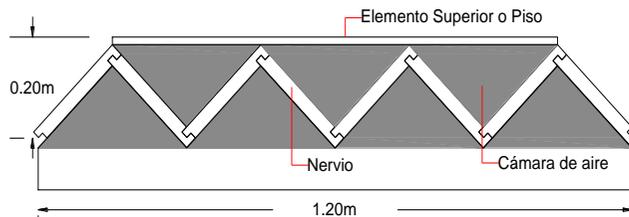


Fig. 86 Placa Wenus

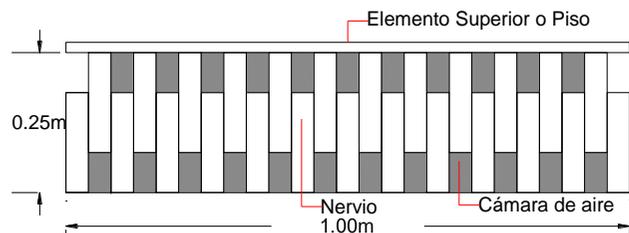


Fig. 87 Placa O'portune

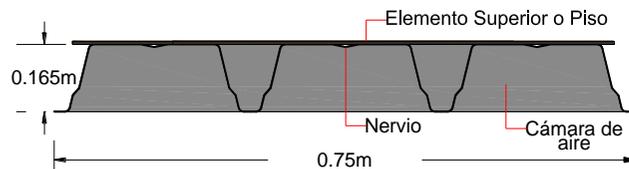


Fig. 88 Placa Supportsol

Volumen de Materiales y Aire

Una característica primordial en la configuración de las placas es la presencia de partes huecas o aire, que proporcionan ligereza a las mismas.

Para comparar las placas entre si se tomo en cuenta el alivianamiento a través del porcentaje de volumen de vacíos o partes ocupadas únicamente por aire y el de materiales. Para esto se considero las secciones indicadas en los gráficos multiplicadas por 1 m de largo (Tabla 5).

Sistema	Material	% Material	% Aire
Lignatur	Madera	42	58
Kielsteg	Madera	50	50
Wenus	Madera	29	71
O'portune	Madera	70	30
Supportsol	Acero	9	91
Cofradal	Hormigón	45	55
Modultherm	Hormigón	25	75
Losa Alveolar	Hormigón	64	36

Tabla 5. Porcentaje de materiales y aire de las placas prefabricadas

Luego de sacar la media proporcional, las placas de madera resultan estar compuestas por un porcentaje aproximadamente de un 50% de material y 50% de aire, y de igual manera se observa para las placas de hormigón con la diferencia que el porcentaje de material en las placas de madera representa un peso 3 veces menor al peso de las placas de hormigón.

En la placa de acero predomina el porcentaje de aire frente al material que constituye la lámina de acero y cuyo peso dependerá del espesor de la misma.

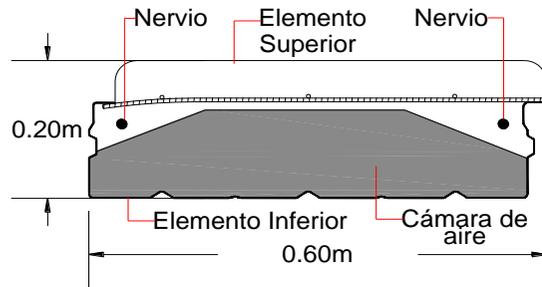


Fig. 89 Placa Cofradal

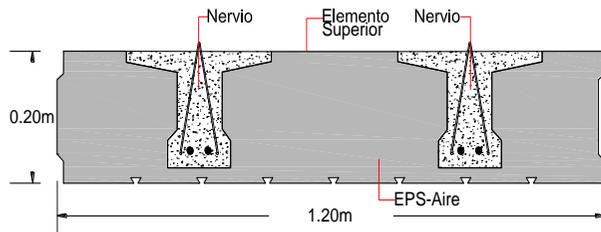


Fig. 90 Placa Modultherm

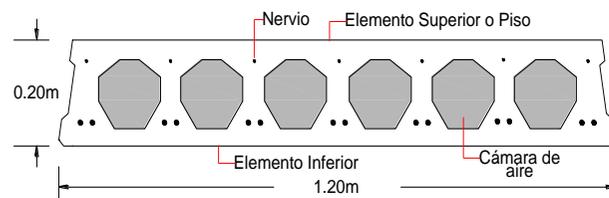


Fig. 91 Placa Alveolar

Altura mínima

Las placas tienen un amplio rango de alturas que es proporcional a la luz y la carga a la que esté sometida. Para poder realizar una comparación entre las placas se consideró exponer el peso y luz mínima correspondientes a una altura o canto de aproximadamente 0.20 m (Tabla 6), referenciando las gráficas de resistencia expuestas en los catálogos de las placas prefabricadas (Anexo B), también se comprobó a través de la fórmula de altura mínima ($L/20^*$, $L/25^{**}$, $L/20^{***}$) el cumplimiento de la altura para la luz correspondiente.

Sistema	Luz	Altura	Altura mínima H			Peso Placa Kg/m ²
			Madera L/20*	Hormigón L/25**	Acero L/20***	
Lignatur	6	0.20	0.30			39
Kielsteg	6	0.228	0.30			43.4
Wenus	6	0.20	0.30			20
O'portune	6	0.25	0.30			60
Supportsol	3	0.16			0.15	13
Cofradal	6	0.20		0.24		200
Modultherm	6	0.22		0.24		95
Alveolar	6	0.15		0.24		300

Tabla 6. Sistemas de placas prefabricadas

Las luces y altura (aprox. 20 cm) que han sido analizadas no corresponden a las más eficientes de los sistemas, sin embargo exponen, una diferencia de peso en cuanto a su configuración, la placa Wenus (Fig. 86) debido al uso de mínimos elementos presenta mayor ligereza, seguida de la placa Lignatur (Fig. 84) y la placa Kielsteg (Fig. 85), cuya diferencia entre éstas se da por la cantidad de elementos verticales que conforman el alma de la placa. Por último la placa O'portune (Fig. 87) cuya configuración de unión entre tablones de madera la hace la más pesada. Las placas de hormigón representan el triple de peso que las placas de madera, exceptuando la placa de Modultherm (Fig. 90), formado por pocos elementos siendo el bloque de poliestireno el responsable de su ligereza. La fórmula de altura mínima indica para las diferentes placas valores cercanos a su altura determinada (Tabla 6).

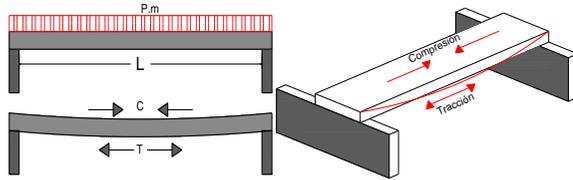


Fig. 92 Placa simplemente apoyada. Ensayo de flexión, superior esfuerzos de compresión, inferior esfuerzos de tracción

	Especies coníferas y chopo											Especies frondosas										
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70				
Propiedades resistentes en N/mm²																						
Flexión																						
$f_{b }$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70				
$f_{b\perp}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42				
Tensión perpendicular																						
$f_{t\perp}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6				
Compresión paralela																						
$f_{c }$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34				
Compresión perpendicular																						
$f_{c\perp}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5				
Cortante																						
f_v	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0				
Propiedades de rigidez en kN/mm²																						
Mód. elasticidad paralelo medio																						
$E_{m }$	7	8	9	9,5	10	11	12	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20				
Mód. elasticidad paralelo 5º percentil																						
$E_{5 }$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8				
Mód. elasticidad perpendicular medio																						
$E_{m\perp}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33				
Módulo de cortante medio																						
G	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25				
Densidad en Kg/m³																						
Densidad característica																						
ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900				
Densidad media																						
ρ_{med}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080				

Fig. 93 Clasificación de maderas⁴⁵

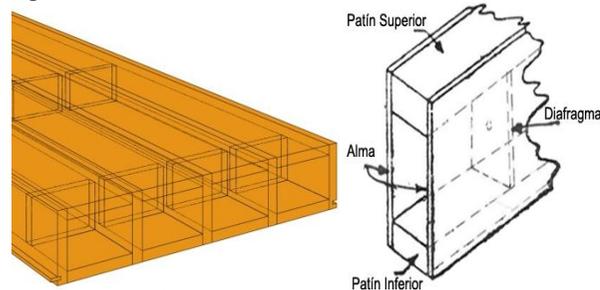


Fig. 94 Sucesión de vigas cajón

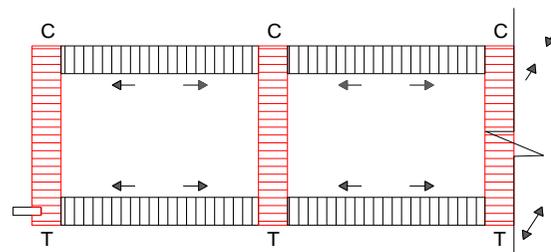


Fig. 95 Esfuerzos placa Lignatur

3.2.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Las placas prefabricadas se comportan como vigas simples, tienen una estructura lineal que trabajan principalmente a flexión, provocando tensiones de compresión y tracción (Fig. 92). Por lo anterior son placas unidireccionales, transmiten en una sola dirección las cargas a la estructura en la que se apoyan.

Para el análisis se considera que dichos esfuerzos son asumidos por los elementos resistentes o nervios que constituyen el alma de las placas y que los elementos horizontales superior e inferior ayudan a que la placa funcione monolíticamente. El análisis de las placas depende de la resistencia de los materiales y la unión entre ellos.

Placas prefabricadas de madera

La madera tiene un buen comportamiento a la flexión, dependiendo su resistencia, la más empleada para este tipo de elementos es la denominada blanda cuya clasificación es C24 (maderas coníferas con resistencia a flexión de 24 N/mm²), tienen una densidad característica de 350kg/m³⁴⁵(Fig. 93).

La placa Lignatur tiene una configuración estructural similar a una sucesión de vigas cajón (Fig.94), y está conformada por elementos de madera aserrada unidos lateralmente entre sí por adhesivo estructural, los elementos verticales tienen sus fibras dispuestas horizontalmente para absorber esfuerzos de compresión y tracción, los elementos horizontales tienen sus fibras de madera transversal para servir de arriostramiento o refuerzo (Fig. 95), al igual que una viga cajón en su interior lleva refuerzos transversales, estos están distribuidos cada 1.20 m y dan estabilidad a la placa durante el armado ya que al utilizar como único medio de sujeción adhesivo, supone un tiempo de secado y una correcta fuerza de presión para garantizar dicha unión.

⁴⁵Madera Aserrada Estructural (2008), Recuperado 3-3-2015 de http://www.csaec.com/area_tecnica/aitm/actividades/act_paginas/libro/35%20Madera%20aserrada%20estructural.pdf

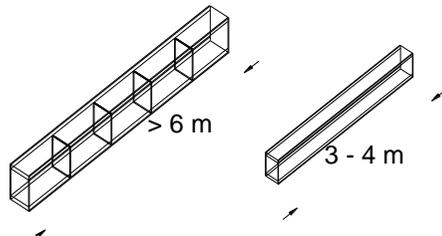


Fig.96 Viga cajón uso refuerzo transversal

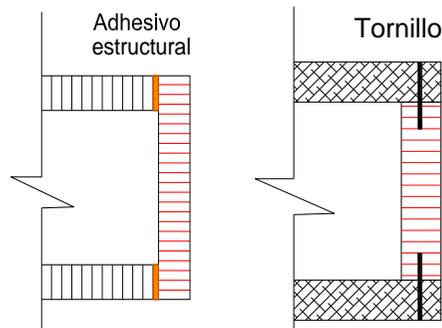


Fig. 97 Unión lateral con adhesivo, unión perpendicular con tornillo

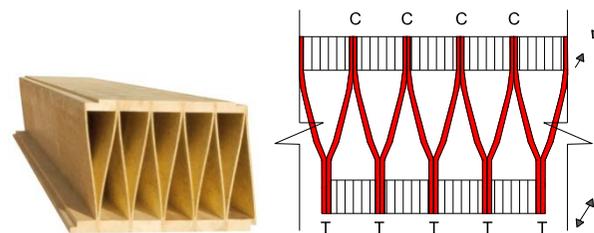


Fig. 98 Esfuerzo placa Kielsteg

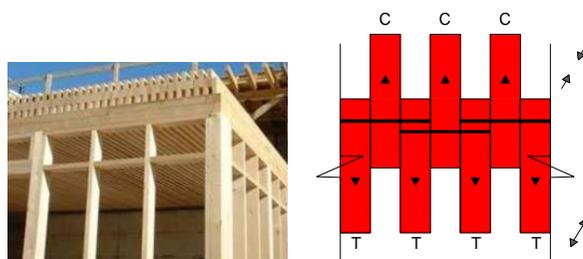


Fig. 99 Esfuerzos placa O'portune

De lo anterior, se considera que la configuración del perfil cajón como tal, reduce la necesidad de arriostramientos o de elementos transversales en su interior, en el caso de la viga cajón estos refuerzos le permiten cubrir grandes luces, sin embargo si las luces son moderadas podría considerarse prescindir de dichos refuerzos (Fig.96) , de igual forma se podría considerar uniones perpendiculares utilizando como medio de sujeción tornillos como una alternativa a la unión lateral de elementos con adhesivo (Fig. 97), evitando tiempos de secado y la presión provista por maquinarias especiales.

La placa Kielsteg (Fig. 98) tiene una configuración estructural lineal sin refuerzos transversales, consiste en la repetición de elementos de madera aserrada superior e inferior que unen y rigidizan el alma conformada por tableros OSB, los elementos están unidos por adhesivo estructural aplicado a presión. La curvatura de los tableros OSB le otorga a la placa resistencia a esfuerzos de cizallamiento. La sección de esta placa se logra usando una prensa fabricada especialmente para el efecto, de allí que, cualquier intento de variación para innovar en la figura de los componentes requerirían moldes a medida para poder garantizar que las figuras se repitan con la mayor exactitud posible.

En la placa O'portune (Fig. 99) el desplazamiento de los tableros atornillados entre sí, genera una mayor altura, aumentando su comportamiento a flexión, los tornillos al ser aplicados de manera lateral soportan esfuerzos de cizallamiento producidos por las cargas sobre los tableros, de allí que deben ser analizados según las cargas solicitadas. La unión entre elementos de esta placa es sencilla, pero si consideramos la disposición de tableros unidos entre sí, resulta una sección solida pero muy pesada.

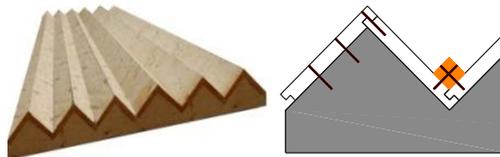


Fig. 100 Elemento de borde

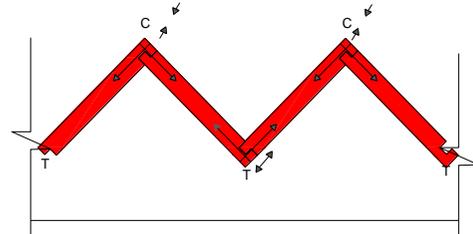


Fig. 101 Esfuerzos placa Wenus

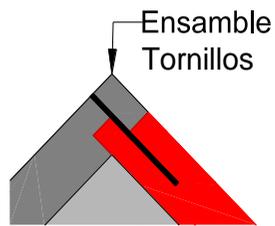


Fig. 102 Unión superior entre tablones

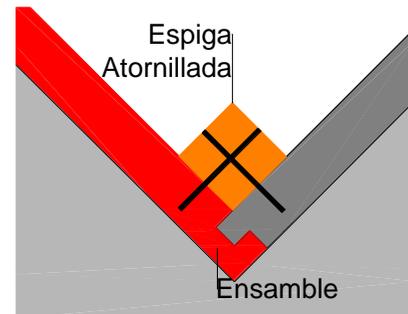


Fig. 103 Unión entre tablones

La configuración de la placa Wenus requiere de un elemento de borde sin el cual no podría funcionar, este elemento le otorga la forma plegada (Fig. 100) y genera la disposición de tablones unidos entre sí mediante ensambles en sus extremos y el uso de tornillos que evitan su desplazamiento (Fig.101). El uso de uniones con ensambles requiere de la precisión y exactitud de las mismas para un buen armado, además, debido a los rebajes se debe evitar el debilitamiento en la sección. Un elemento adicional de este sistema constituye el uso de una espiga cuadrada dispuestas a lo largo de las mismas a través de tornillos impidiendo que la unión se abra (Fig. 102 y 103).

De las placas de madera analizadas anteriormente destaco la configuración de cajón lineal debido a que la geometría es sencilla y está formada por pocos elementos por lo que se espera que sea ligera, al igual que todas las anteriores la transmisión de cargas es unidireccional

De igual manera de las uniones analizadas el elemento de sujeción más sencillo de usar y que no requiere el uso de maquinaria de punta, es el tornillo, sin embargo al tratarse de elementos de madera se debe considerar el comportamiento de este a lo largo de su uso, pues podría aflojarse debido a los movimientos de contracción y dilatación de la madera y de la vibración por motivo de carga, de donde para reforzarlo se podría utilizar adhesivo ⁴⁶ de secado rápido.

⁴⁶García R (2013), "Diseño y comportamiento de uniones estructurales mecánicas y adhesivas. Condiciones superficiales y operacionales", Departamento de Ingeniería y Ciencia de materiales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, Madrid, pág. 36, Recuperado 3-3-2015 de http://oa.upm.es/22235/1/RICARDO_GARCIA_LEDESMA.pdf

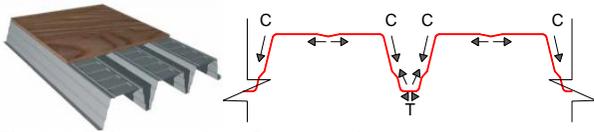


Fig.104 Esfuerzos placa Supportsol

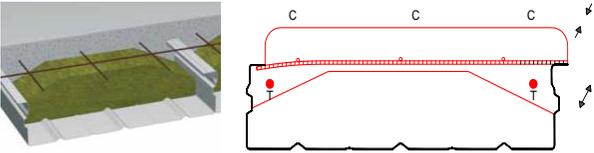


Fig. 105 Esfuerzos placa Cofradal

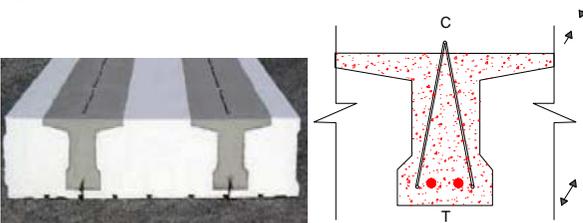


Fig. 106 Esfuerzo placa Modultherm

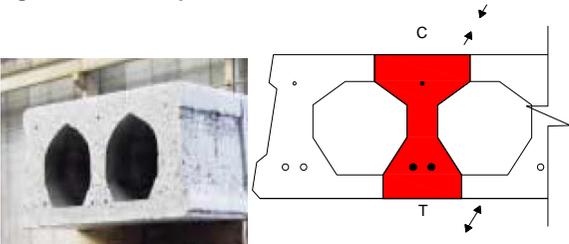


Fig.107 Esfuerzo placa Alveolar

Placas prefabricadas de acero

Son placas estructurales de acero obtenidos de un proceso de conformación en frío por el uso de maquinas dobladoras, según el espesor constituyen elementos ligeros.

Los perfiles de nervio trapezoidal en la placa Supportsol (Fig. 104) son los que soportan y transmiten las cargas del forjado, el panel de madera que se coloca sobre los nervios no es tenido en cuenta. La placa metálica del sistema Cofradal (Fig. 105) sirve como cofre y trabaja a tracción.

Placas prefabricadas de hormigón

Estas placas constituyen elementos prefabricados (Fig. 107), cuya configuración estructural, en términos conceptuales, podría considerarse como una sucesión de nervios de hormigón prefabricado que soportan esfuerzos tanto de compresión como de tracción separados por espacios vacíos que atribuyen a la placa su ligereza y que son rigidizados por superficies del mismo material o elementos ligeros como el bloque de poliestireno de la placa Modultherm (Fig.106) que no es contemplado en la transmisión de cargas, pero constituye la ligereza del sistema y el mecanismo de unión entre placas debido a la configuración de sus bordes.

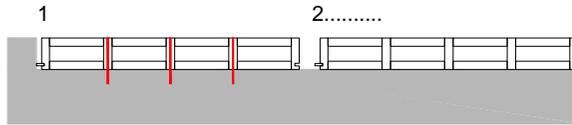


Fig. 108 Armado placa Lignatur

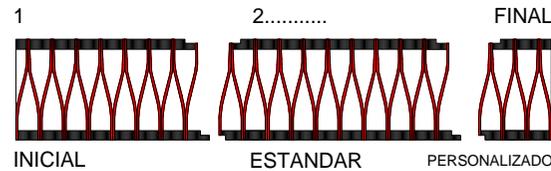


Fig. 109 Armado placa Kielsteg

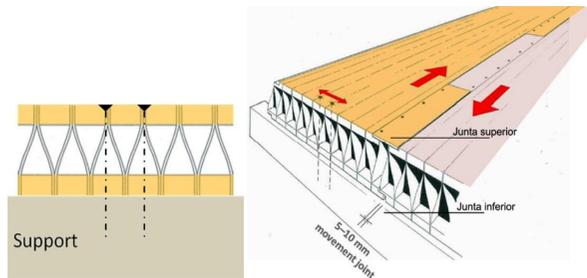


Fig. 110 Plano de la placa Lignatur

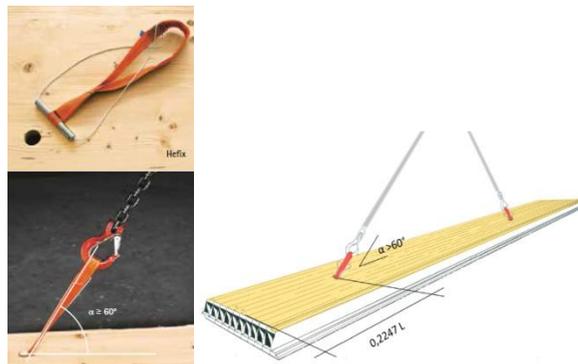


Fig. 111 Elementos de suspensión placa kielsteg

Para los siguientes análisis se consideran solo las placas de madera debido a que las placas de hormigón en su puesta en obra precisan el uso de concreto para generar un comportamiento monolítico, esto constituye el uso de material húmedo y que no es objeto de este estudio. Por otra parte, las placas de acero para su configuración deben utilizar máquinas para garantizar su forma y resultaría una producción costosa.

Armado

Los sistemas de forjado de placas de madera se arman secuencialmente, cada sistema maneja un plano de montaje en donde las placas son marcadas con etiquetas de identificación, detallando longitudes, cantidad y elementos de unión entre ellas como tornillos y/o conectores, la ubicación en planta, y los detalles de unión con la estructura.

El sistema Kielsteg (Fig. 109) presenta tres tipos de placas para el armado una de inicio que tiene un extremo perpendicular para facilitar la unión lateral con la edificación, la intermedia que es una placa con ancho estándar y tiene ambos lados el ensamble correspondiente y por último la placa final con uno de sus bordes en ángulo recto pero que además presenta variación en el ancho para adaptarse al diseño de la edificación. El sistema Lignatur (Fig. 108) arma su forjado colocando de manera secuencial una sola placa con ancho estándar. Estas placas son fijadas en los puntos centrales de la misma a la estructura principal a través de tornillos que atraviesan todo su canto, esto se da para permitir movimientos de dilatación y contracción de las misma (Fig. 110).

El montaje no puede ser manual debido al ancho de 1.00 m y 1.20 m y el peso de las placas, utilizando para este fin, elementos de suspensión: correa de elevación, insertos roscados y bucles de cuerda. Dependiendo del peso del elemento, se definen los elementos de suspensión y su grado de inclinación. Se requiere un mínimo de dos elementos de suspensión para un correcto izado (Fig. 111).

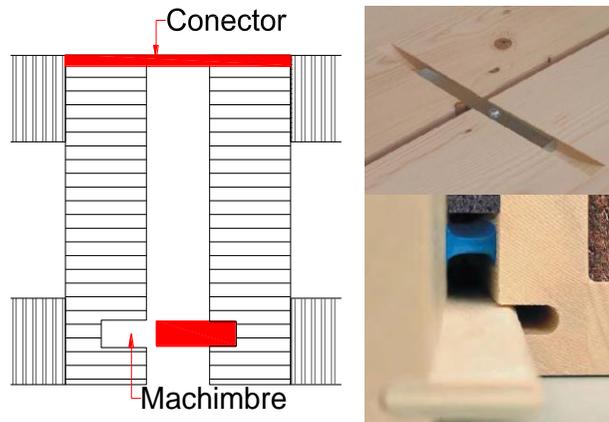


Fig. 112 Unión entre placas Lignatur

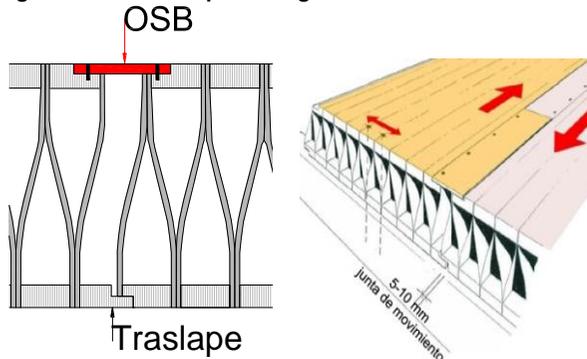


Fig. 113 Unión entre placas Kielsteg

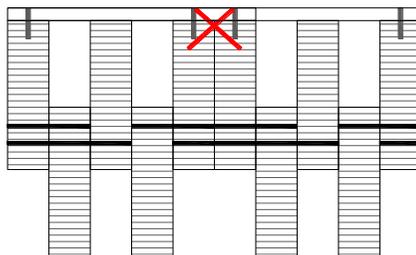


Fig.114 Unión de elementos y placa O'portune

Unión entre las placas

Si bien es cierto, las placas no transmiten las cargas de manera horizontal, sin embargo la configuración del forjado requiere que las uniones entre ellas generen un trabajo en conjunto. Estas uniones se ejecutan a lo largo de todo el canto y deben resistir esfuerzos de pandeo.

La placa Lignatur presenta una solución mixta, en la parte superior utiliza conectores metálicos fijados mediante tornillos a cada extremo de la placa, en la parte inferior posee un ensamble machihembrado, un extremo tiene la ranura y el otro la clavija (Fig. 112), este tipo de unión requiere exactitud y precisión de medidas, además de tomar en cuenta los movimientos de contracción y dilatación propios de la madera, razón por la cual el proceso de montaje pudiera verse complicado.

La placa kielsteg, también presenta una unión mixta, en la parte superior utiliza un tablero OSB como conector que se atornilla a los bordes laterales superiores de las placas, le otorga la capacidad de transferir fuerzas de corte y permite pequeños movimientos laterales, en la parte inferior los bordes tiene un perfil que se superpone directamente de igual forma requiere precisión en su forma y medidas para facilitar el montaje (Fig. 113). Los ensambles pueden ser reforzados con la colocación de tornillos autopercutoros cada 10 a 15 cm.

En el sistema O'portune las placas tienen sus extremos planos sin ensambles y se unen de manera sencilla usando el cruce de tornillos inclinados y alternados a lo largo de su longitud cada 0.20 m, los tornillos para garantizar esta unión deben cubrir más de la mitad del ancho de los tablonces (Fig. 114).

Todas estas uniones son consideradas según la carga a la cual vaya a estar sometido el forjado.

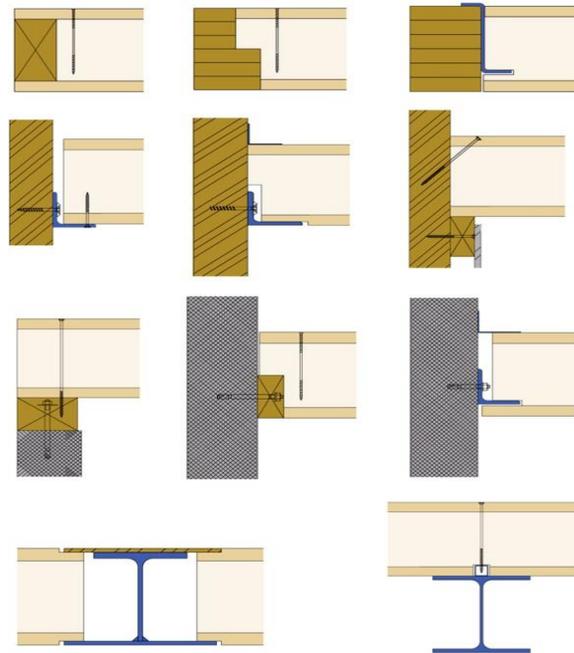


Fig. 115 Unión con la estructura, placa Lignatur

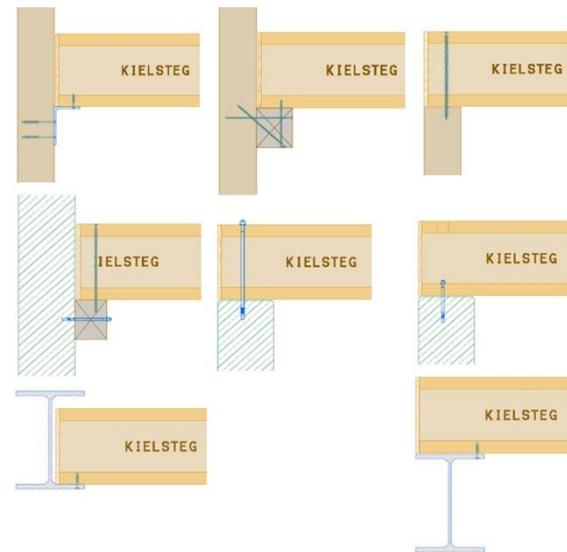


Fig. 116 Unión con la estructura, placa Kielsteg

Unión con estructura

La unión de las placas a la estructura puede ser de dos maneras apoyadas sobre la estructura conformando una plataforma para que sobre ella se coloque los muros del piso superior, o colgando de la estructura es decir anclada a la misma.

Para el primer caso las placas son atornilladas sobre la estructura, los tornillos deben atravesar todo el canto, se debe considerar una longitud mínima de apoyo (0.04-0.05 m), siendo esta diferente para cada sistema. Cuando no es posible apoyarlas sobre la estructura se utiliza instrumentos de cuelgue como: ángulos metálicos o piezas de madera que se anclan a la estructura y sobre estos se asientan las placas. Esta unión puede ser reforzada utilizando ángulos o tornillos que sujeten por la parte superior, también las placas pueden presentar rebajes formando ángulos rectos y unidas a piezas ancladas a la estructura (Fig. 115 y 116).

Estas soluciones permiten a los sistemas anclar las placas prefabricadas a todo tipo de estructuras bien sea de madera, de hormigón o metálicas, la elección de las mismas dependerá del requerimiento estructural y económico.

3.3. ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO

Las placas prefabricadas de madera constituyen elementos modulares que unidos entre sí generan superficies que delimitan los espacios verticales de una edificación.

Las superficies continuas sirven de piso y cielorraso, que al realizarlas con madera el acabado no requiere de mayores revestimientos.

Las placas presentan una configuración ligera debido al uso de cavidades huecas comprendidas entre los elementos resistentes o nervios y los elementos de cierre, dichas cavidades contribuyen a un buen comportamiento termo-acústico, además de facilitar el paso de instalaciones.

Coordinación modular

El módulo que manejan las placas corresponde a la medida del ancho estándar que poseen, ya que tanto la altura como la longitud están en función de las luces y cargas a las que están sometidas.

Esta medida responde a la optimización de los recursos, la facilidad de montaje y armado, y la generación de espacios funcionales.

Según las normas INEN concernientes a la coordinación modular en la construcción, el módulo más flexible para diseñar espacios habitables constituye 0.30m ⁴⁷ y sus múltiplos (Fig.117).

La tabla a continuación, compara los anchos de las placas analizadas, la facilidad de manipulación, el tipo de montaje y su adaptabilidad como múltiplo del módulo antes mencionado.

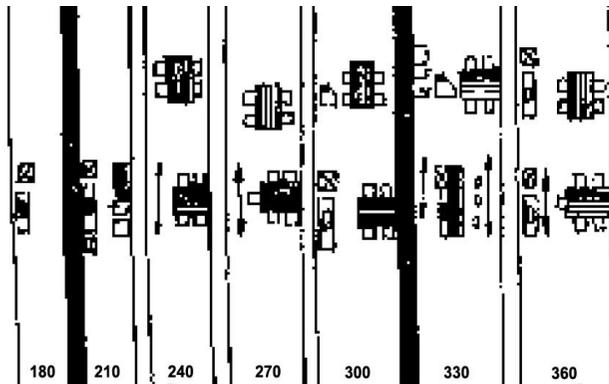


Fig. 117 Espacios funcionales múltiplos de 0.30m ⁴⁷

⁴⁷ INEN, Guía práctica. El diseño en el sistema de coordinación modular, Quito, Recuperado 20/11/2015 de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.gpe.41.1977.pdf>



Fig. 118 Montaje placa Kielsteg



Fig. 119 Manipulación placa Box Element Lignatur

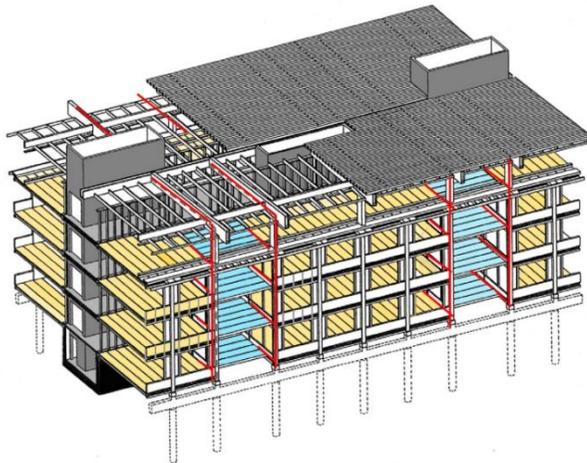


Fig. 120 Escuela Suiza, placas prefabricadas de madera distribuidas sobre estructuras individuales con orientación alternada¹²

Placa	Ancho(m)	Manipulación	Montaje	Múltiplo 0.30 m
Lignatur Surface	1.00	Compleja	Grúa	NO
Lignatur Box	0.40	Sencilla	Manual	NO
Kielsteg	1.20	Compleja	Grúa	SI
Wenus	1.20	Compleja	Grúa	SI
O'portune	1.20	Compleja	Grúa	SI

Tabla 7. Comparación de anchos de placas prefabricadas

De la tabla se observa que la medida de 1.20 constituye múltiplo del módulo recomendado, sin embargo dificulta la manipulación del elemento cuyo montaje se realiza con grúa (Fig.118). Contrario a esto, el ancho de 0.40 m de la placa Box Element (Fig.119) facilita la manipulación de los elementos que pueden ser izados de manera manual pero no constituye múltiplo.

De lo anterior, concluyo que si anchos pequeños pueden ser manipulados de mejor manera, y la dimensión de 1.20 resulta múltiplo del módulo flexible es posible considerar la dimensión de 0.60 m como una opción de medida a un elemento modular que facilite la manipulación y permita la creación de espacios flexibles, siempre que este permita la optimización de los materiales que lo conformen.

Alternativa de orientación de placas

Las placas trabajan transmitiendo las cargas unidireccionalmente en el espacio limitado por un marco estructural, la existencia de combinaciones con respecto a su orientación no es posible, pero una edificación al estar conformada por varios marcos estructurales independientes¹² permitiría el cambio de orientación, todo esto dependiendo del comportamiento de las fuerzas y el requerimiento de transmisión de cargas (Fig. 120).

¹²Coronel C. Francisco, (2014), "Placas alveolares prefabricadas de madera para forjado y cubierta. Alternativa de uniones con pasadores de madera sin adhesivo", Barcelona, Recuperado 20/2/2015 de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/24535/1/20141210%20TFM%20Francisco%20%20Coronel%20C%C3%A1rdenas.pdf>

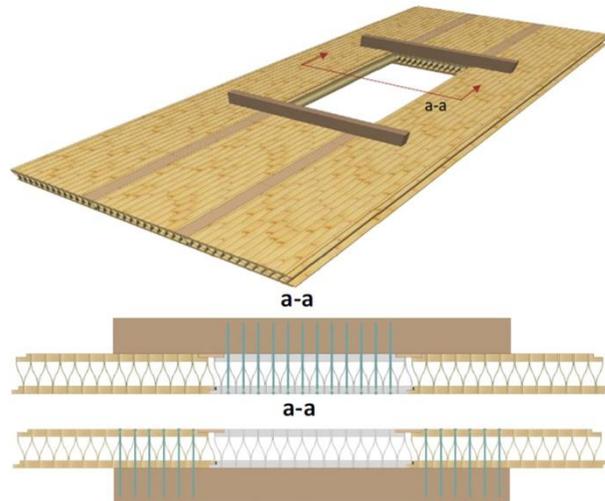


Fig. 121 Apertura de vano placa Kielsteg

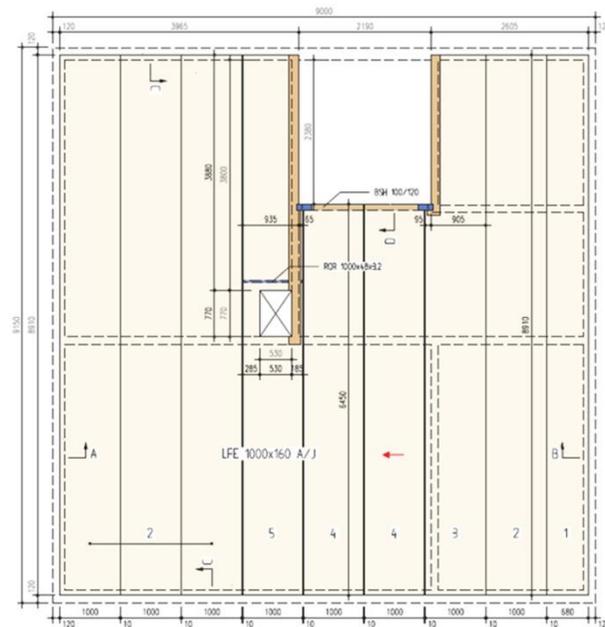


Fig. 122 Planta con placas Lignatur

Vanos

La conformación de vanos ya sea para el paso de luz o recibir una escalera es factible, las placas prefabricadas generan estos vanos a través de un recorte a la longitud de la misma utilizando para su estructuración diferentes elementos que le sirve de apoyo tales como vigas de madera que pueden ser posicionadas en la parte superior o inferior de las placas a las cuales se une mediante tornillos fijados a los nervios de las placas (Fig. 121) así como elementos de madera o metálicos fijados a refuerzos transversales, dispuestos como apoyo a la placa recortada (Fig.122 y 123).

En todos los casos la conformación de estos vanos requiere un análisis y diseño estructural adicional.

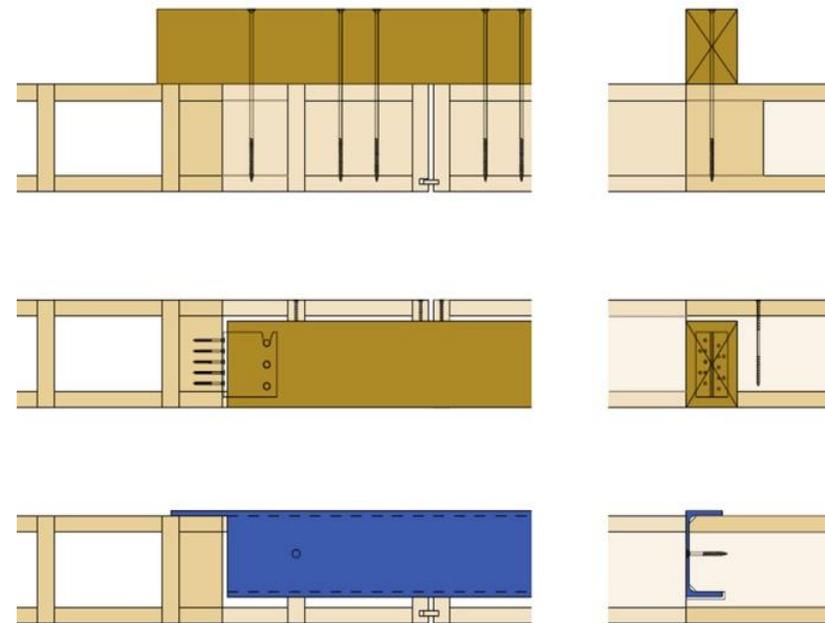


Fig. 123 Elementos de apoyo

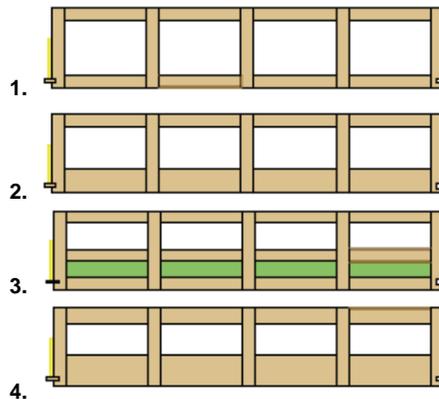


Fig. 124 Resistencia a fuego de placa Lignatur. 1. REI 30 2. REI 60, 3. REI 90, 4. REI 120

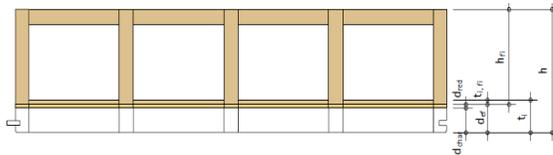


Fig. 125 Sección residual, placa Lignatur

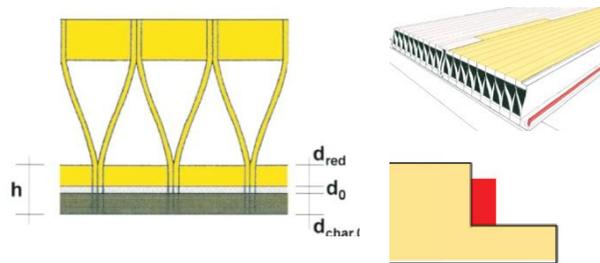


Fig.126 Sección residual, placa Kielsteg

3.3.1. ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO AL FUEGO, TÉRMICO Y ACÚSTICO

Las placas prefabricadas de madera presentan un buen comportamiento frente al fuego, térmico y acústico, debido a la integración de cavidades huecas y el tipo de material y el espesor de las superficies horizontales. De igual forma para mejorar esta condición estas cavidades facilitan la adición de materiales aislantes como lanas o fibra minerales.

Comportamiento al fuego

“En cuanto a resistencia al fuego, se destaca que cuando un elemento constructivo de madera se encuentra expuesto a un incendio, se genera en su superficie una capa carbonizada que aporta protección como aislante a las capas interiores. Esta característica hace que la pérdida de capacidad portante del elemento se deba, principalmente, a la reducción de su sección y no tanto al deterioro de las propiedades del material. Además se conoce que la madera tiene una conductividad térmica muy baja esto lleva a que la combustión, alimentada por oxígeno, se desarrolle únicamente en la superficie de la pieza”⁴⁸.

Los diferentes sistemas de placas prefabricadas de madera dimensionan los elementos que pueden estar expuestos a fuego a fin de proteger por un período de tiempo adecuado los demás componentes. Las placas Lignatur (Fig. 124 y 125) y Kielsteg (Fig. 126) además de dimensionar los elementos poseen una cavidad de aire ayudando a que el lado que no es expuesto a fuego permanezca protegido, esto puede ser mejorado al rellenarla con materiales de buen comportamiento al fuego (indicados en el capítulo 2), de igual manera utilizan cintas retardantes a fuego para las uniones entre placas.

⁴⁸ Infomadera, “Comportamiento frente al fuego, Capítulo 3, Documento de aplicación del CTE”, Recuperado 3-3-2015, de http://www.infomadera.net/uploads/descargas/archivo_17_Comportamiento%20al%20fuego%20CcM.pdf

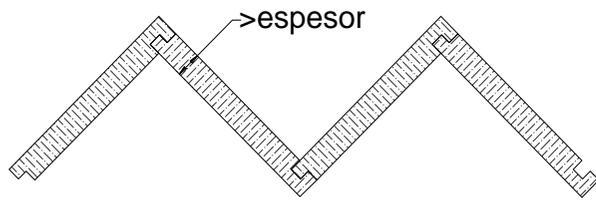


Fig. 127 Engrosamiento de tablonnes

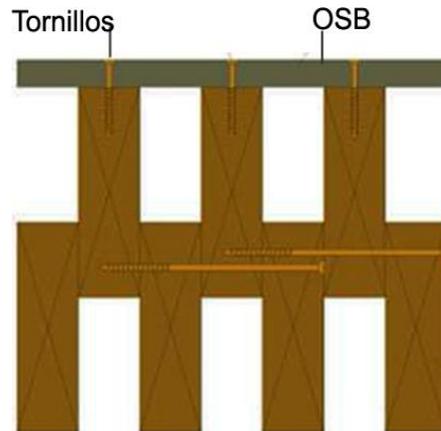


Fig. 128 Sección inicial placa O'portune

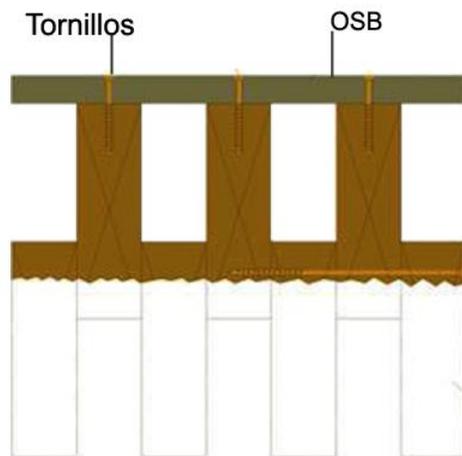


Fig. 129 Sección residual luego de 60m de exposición a fuego

Igual comportamiento se observa en la placa Venus cuyos elementos son engrosados para resistir la exposición a fuego (Fig. 127). La sección de la placa O'portune constituye una barrera al fuego en donde la parte inferior de los tablonnes es la primera en carbonizarse hasta alcanzar la zona donde los tablonnes se desplazan y unen mediante tornillos, que constituye la sección residual que se mantiene operante por un determinado tiempo (Fig. 128 y 129).

Los diferentes sistemas de forjados de madera manejan la característica de resistencia a fuego representada con la letra R que representa la capacidad portante del elemento durante un periodo de tiempo y sin pérdida de la estabilidad estructural bajo acciones mecánicas definidas, E, representa la integridad de un elemento constructivo con capacidad separadora, es decir no deja paso a llamas ni gases de la cara no expuesta a fuego, I, representa el aislamiento del elemento con capacidad separadora, es decir la capacidad de un elemento de soportar la exposición de fuego de un solo lado, estas características van acompañadas por un valor que es el periodo de tiempo en minutos durante el cual se mantiene los requisitos de comportamiento.

Todas las placas manejan una resistencia a fuego en el orden de REI 30, 60, 90, mismas que como se indicó anteriormente dependerá de la dimensión de los elementos y el uso de materiales de relleno de buen comportamiento al fuego.

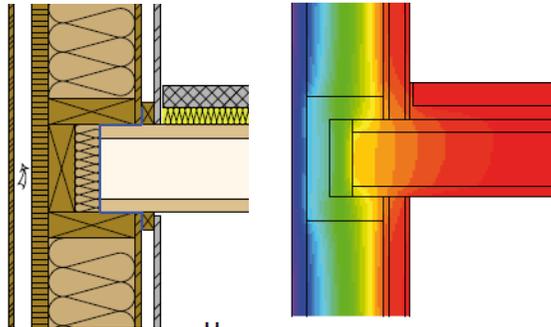


Fig.130 Esquema de puente térmico. Unión externa

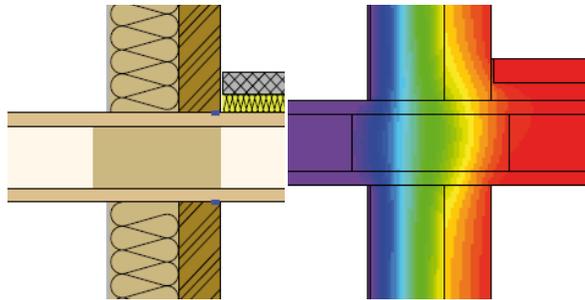


Fig.131 Esquema puente térmico. Unión interna



Fig.132 Transmitancia de calor placa Lignatur

Comportamiento térmico

La madera tiene una conductividad térmica baja, es decir es un mal conductor de calor, por lo tanto es un buen aislante térmico. La conductividad depende de la densidad, si esta es baja conducirá menos calor; de igual manera depende de la dirección de la fibra, al ser la madera un material fibroso y poroso, sus cavidades celulares están llenas de aire, la conductividad térmica será menor al tener sus fibras dispuestas en sentido horizontal⁴⁹.

La geometría de las placas generan cámaras de aire las mismas que pueden ser consideradas en la resistencia térmica y que dependerán de la absorción de las superficies, su dimensión y la temperatura de los espacios, así como del movimiento del aire dentro de ellas; para que esto tenga validez es necesario sellar los extremos de las placas. Los forjados casi nunca están delimitados homogénea y continuamente, la unión entre las placas y con la estructura, los anclajes, hacen que las placas presenten ciertas heterogeneidades que van a influir decisivamente en las características que regulan el equilibrio térmico del sistema de forjado. Por ejemplo si la placa se ve interrumpida por la intersección de otro elemento de mayor conductividad térmica como viga metálica, la cantidad de calor que atraviese esa sección será mayor, la densidad de la línea de flujo de calor será superior al resto de la sección lo que constituye un puente térmico (Fig. 130 y 131). Algunos sistemas de forjados presentan en las juntas materiales de aislación térmica que ayudan a evitar el paso del aire impidiendo así el desequilibrio térmico (Fig. 132).

A pesar de que el uso de elementos de madera sea adecuado para un buen comportamiento térmico, es posible mejorarlo a través del uso de materiales térmicos, rellenando las cavidades, colocándolos sobre la superficie superior o colgándolos de la superficie inferior. Estos materiales fueron detallados en el capítulo 2.

⁴⁹ Álvarez N. Humberto, "La Madera como aislamiento térmico", Recuperado 3/18/2015 de http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1177_17059.pdf?PHPSESSID=a151aa4a643b7f12cd632a074193d1da

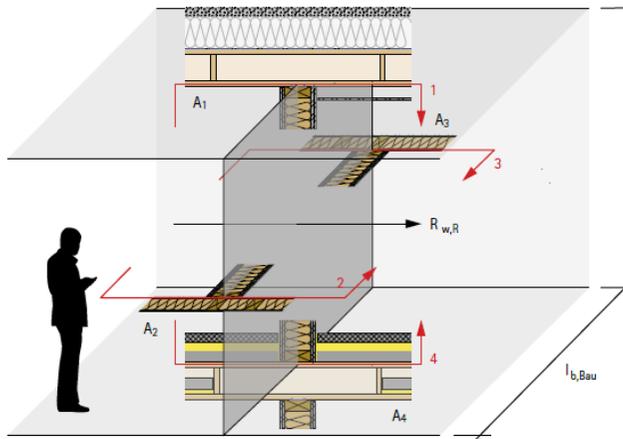


Fig.133 Ejemplo de sistema Lignatur, pronóstico de transmisión de sonido horizontal.

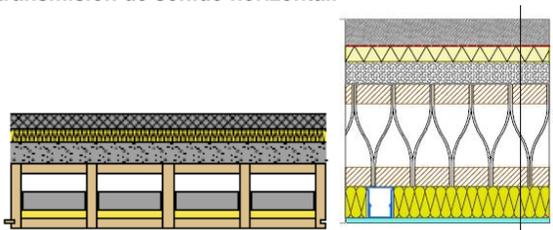


Fig. 134 Sistema multicapas en placa Lignatur y placa Kielsteg

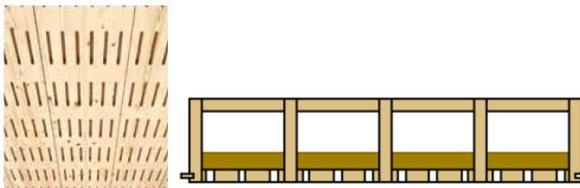


Fig.135 Ranuras para mejorar la absorción de la placa Lignatur

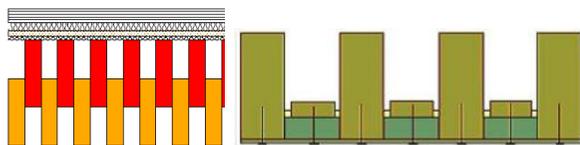


Fig. 136 Integración de elementos entre tableros placa O'portune

Comportamiento acústico

Existen dos tipos de ruidos que afectan estas estructuras, el ruido aéreo y el de impacto. El de impacto se propaga a gran velocidad a través de los materiales con poca pérdida de energía produciendo vibraciones que provocan ruidos aéreos. El aéreo es transmitido por vía directa o por transmisiones laterales o emisiones secundarias y por impacto¹². Estas transmisiones dependen de la manera como se unen las placas con la estructura y sus acabados (Fig. 133).

El comportamiento acústico de la madera depende de su densidad, al ser su estructura porosa y fibrosa presente una buena absorción acústica; sin embargo no es un buen aislante acústico, por lo cual es necesario sumar el comportamiento acústico de diversos materiales que constituyan productos de construcción en seco, denominados sistema multicapas (Fig. 134).

La configuración de las placas de madera presentan espacios huecos que pueden ser rellenos con materiales de aislamiento acústico, la placa Wenus mejora su comportamiento acústico al relleno parcialmente de material flexible (arena), de igual forma para un correcto comportamiento acústico las juntas entre las placas deben de presentar estanqueidad.

Para mejorar la absorción acústica se realizan en la superficie ranuras o agujeros que mejoran este comportamiento (Fig. 135).

La placa O'portune (Fig.136) debido a la forma de su sección presenta una buena absorción acústica y que al integrar elementos aislantes entre los tableros mejoran su comportamiento acústico.

¹² Coronel C. Francisco, (2014), "Placas alveolares prefabricadas de madera para forjado y cubierta. Alternativa de uniones con pasadores de madera sin adhesivo", Barcelona, Recuperado 20/2/2015 de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/24535/1/20141210%20TFM%20Francisco%20%20Coronel%20C%3%A1rdenas.pdf>

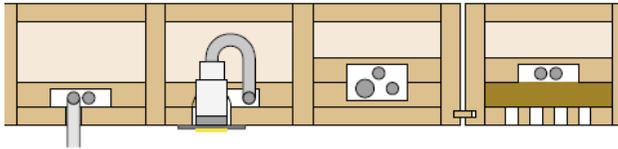


Fig.137 Paso de instalaciones placa Lignatur

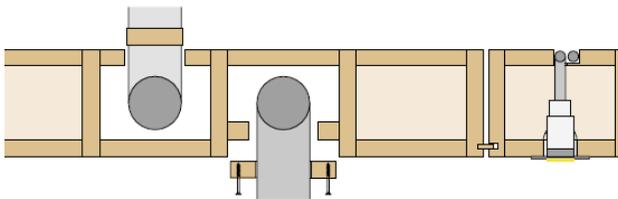


Fig. 138 Paso de ductos placa Lignatur



Fig. 139 Abertura de ductos placa Kielsteg

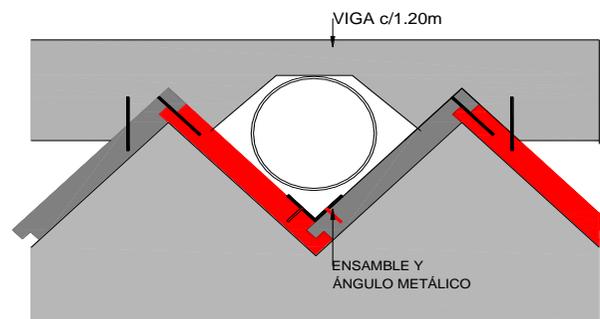


Fig.140 Paso de tuberías. Placa Wenus

3.3.2. INSTALACIONES

Las placas debido a sus cavidades pueden albergar en su interior instalaciones evitando que estas queden expuestas, en ninguna manera el paso de las mismas debe dificultar el movimiento de contracción y dilatación de los elementos de madera que constituye la placa.

La placa Lignatur, para no dificultar el relleno con materiales aislantes térmicos y acústicos, tiene unas tablas que albergan distintas instalaciones que pueden ser colocadas en fábrica (Fig.137).

El paso vertical de las instalaciones requieren de aberturas que son admitidas siempre que no comprometan la capacidad de soporte de carga del elemento, es decir, se evite romper los nervios. La placa Lignatur admite aberturas sin refuerzo estructural de hasta 0.20 m (Fig.138). La placa Kielsteg admite aberturas de 0.25 x 0.25 m, siendo estas aberturas reforzadas con placas de tablero OSB o de placas de yeso cartón para protección al fuego (Fig.139).

En la placa Wenus, las instalaciones pasan por la cavidad superior que forman los tablones, para no dificultar la colocación del piso este se soporta sobre una viga distribuida cada 1.20 m atornillada a los tablones que presenta un desgaste en su parte inferior facilitando el paso de la instalación (Fig.140).



Fig. 141 Acabado natural, placa Lignatur

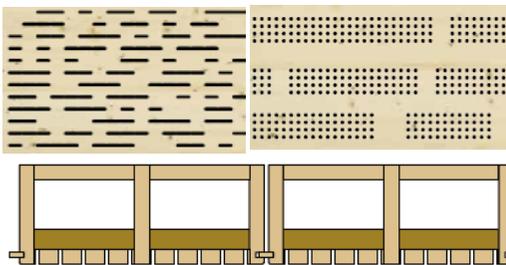


Fig.142 Superficie con ranuras placa Lignantur

3.3.3. ACABADO

Las placas tienen una configuración estructural lineal que genera un aspecto final de patrón lineal correspondiente a la unión de sus elementos que conforman las superficies tanto superior como inferior y además a las uniones entre placas. La superficie visible de la placa Kielsteg presenta debido a la repetición de su sección una forma característica lineal (Fig.143), al igual que las uniones entre placas Lignatur cuya superficie inferior puede llevar un aspecto con ranuras para mejorar la absorción acústica (Fig. 142), la placa Wenus deja visible su estructura lineal en forma de V invertida (Fig.144) y la placa O'portune constituye un entramado de tablonces de madera (Fig.145).

Las placas presentan en su mayoría un acabado natural o industrial (Fig. 141), cuyas superficies son cepilladas y tratadas, cualquier defecto visual como nudos u orificios son corregidos en fábrica. El requerimiento en la cara inferior visible o la instalación de un techo suspendido no es necesario. El aspecto característico de la superficie depende del tipo de madera utilizada. Estas superficies sirven directamente de piso y techo.



Fig. 143 Estética placa Kielsteg



Fig. 144 Estética placa Wenus



Fig. 145 Estética placa O'portune

CAPÍTULO 4.- DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE FORJADO PREFABRICADO SECO

4.1. INTRODUCCIÓN

Luego de realizar la investigación de los diferentes materiales y el análisis de la morfología arquitectónica y estructural de las placas prefabricadas, destaco desde el punto de vista arquitectónico el uso de medidas modulares que facilitan la conformación de espacios funcionales, optimizan los materiales que la componen y facilitan su manipulación, además la presencia de cavidades huecas en su configuración, facilita el paso de instalaciones y puede ser rellena con materiales que mejoren el comportamiento térmico y acústico. Las superficies finales no requieren revestimiento y sirven de piso y techo.

Desde el punto de vista estructural destaco la configuración estructural de cajón lineal, que transmite las cargas de manera unidireccional, con una geometría simple y con el mínimo de elementos posibles, las uniones entre placas con tornillos autoperforantes y las uniones con la estructura simplemente apoyadas o ancladas a ella a través de piezas de madera o ángulos metálicos.

Otros aspectos que destaco son el desempeño de elementos estructurales de madera aserrada (vigas, tablonés, tablas) y tableros estructurales derivados de madera existentes en los diferentes sistemas analizados que presentan un buen comportamiento a la flexión y mayor ligereza frente a elementos de hormigón, de la misma forma la configuración de las placas con este material, presenta un buen comportamiento a fuego, buen aislante térmico, y buena absorción acústica.

Una vez que se han determinado estas consideraciones se pudo concretar el Diseño Arquitectónico y Estructural de Forjado Prefabricado Seco, objetivo final de este trabajo y que presento a continuación.

4.2. DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE FORJADO PREFABRICADO SECO

El diseño constituye una placa prefabricada de configuración estructural lineal que transmite las cargas de forma unidireccional, cubre luces moderadas y no requiere en su interior refuerzos transversales.

Está compuesta por dos superficies horizontales, una superior e inferior y la disposición de tres elementos verticales, dejando dos cavidades huecas al interior de la misma, estos elementos están unidos de manera perpendicular por tornillos autoperforantes y adhesivo.

Los materiales que conforman estos elementos son de madera y fueron determinados según su existencia en el mercado, prestaciones y valor económico.

La dimensión modular fue determinada relacionando las dimensiones de los materiales que la constituyen (aproximando las medidas para evitar al máximo los desperdicios), la modulación estándar de estructuras de madera para viviendas, el módulo flexible recomendado por INEN y el peso de montaje que representaría la placa para facilitar su manipulación.

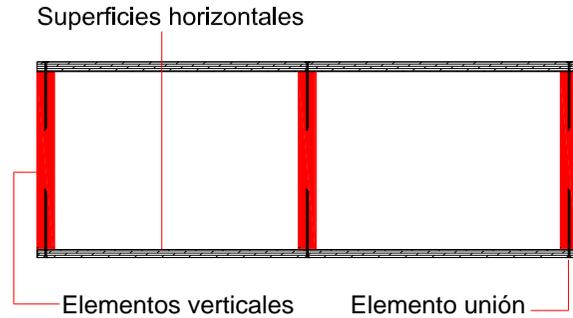


Gráfico 1. Componentes placa prefabricada

4.3. COMPONENTES DEL FORJADO

Los componentes del forjado están formados por elementos de madera (Gráf. 1) y constituyen:

Superficies horizontales

Función superficie superior: Constituye el piso del forjado, transmite la carga que esta sobre el forjado al nervio, rigidiza la parte superior de los nervios.

Función superficie inferior: Rigidiza la parte inferior de los nervios, cierra el forjado generando cámara de aire que sirve como aislamiento térmico y acústico.

Dimensiones:

Ancho y Longitud: Deben cubrir el área total de la placa.

Espesor: Está en función de sus prestaciones.

Elementos verticales

Función: Constituyen los nervios del forjado o elemento resistente, soporta y transmite las cargas a las que se encuentran sometidos.

Dimensiones:

La altura para este elemento está en función de la luz.

Longitud: El elemento vertical no debe necesitar uniones intermedias para cubrir la longitud.

Elementos de unión

La fijación superior e inferior de estos elementos se realiza por medio de tornillos autoperforantes y adhesivo que evitan el desgaste de la unión atornillada por efecto de contracción y dilatación, y movimientos de compresión y tracción, cumpliendo con el requerimiento de durabilidad en el tiempo.

4.4. DIMENSIÓN MODULAR

La dimensión estándar de la placa se determinó considerando:

- Sea múltiplo de 0.30 m (módulo flexible según INEN para la concepción de espacios funcionales), esta medida no se considera pues es muy pequeña para la configuración de la placa ya que supone mayor tiempo para el armado en obra y mayor elementos de sujeción para la unión entre placas (Gráf. 2).
- Los entramados de madera recomienda al utilizar elementos de escuadría delgada, modulaciones de 30 y 40 cm entre ejes de los elementos soportantes de forjados (Gráf. 3).
- Optimización de los materiales.
- Se busca que el ancho de la placa sea manejable tanto desde el punto de vista de peso y montaje.

De lo anterior se determinó un módulo de 0.60 m y la separación entre ejes de los elementos verticales de 0.29 m.

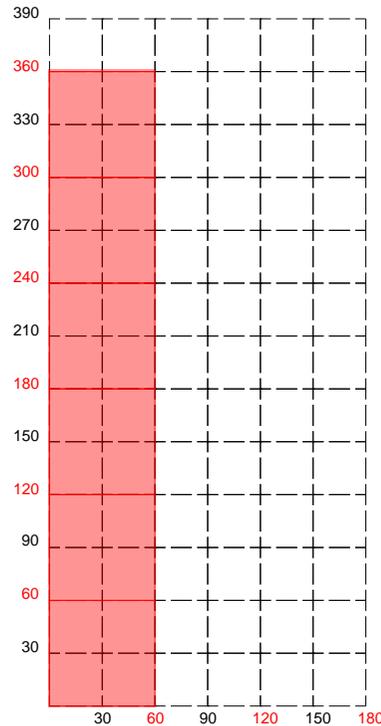


Gráfico 2. Módulo de 60 cm

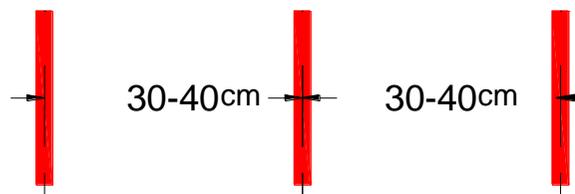


Gráfico 3. Separación, entramado de madera

Optimización de materiales

Materia Prima

Debido a que en el mercado los tableros OSB y las tablas de pino tienen dimensiones estandarizadas, presentan adecuadas características estructurales, y su precio es relativamente económico se vio favorable utilizar estos recursos, optimizándolos a través de mínimos cortes, de manera tal que el nivel de desperdicio sea despreciable. La calidad de estos materiales deben ser libres de defectos (orificios).

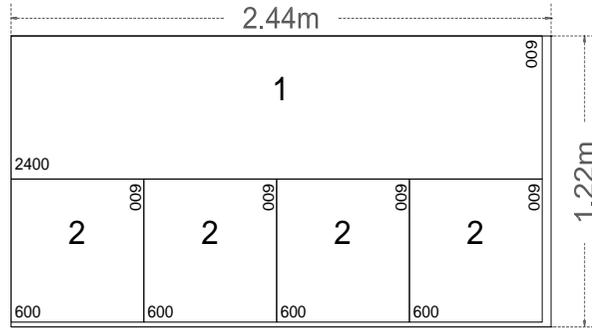


Gráfico 4. Cortes de tablero OSB

Cortes de los elementos

El módulo de 0.60 m generó el máximo aprovechamiento de cortes en los tableros OSB, obteniéndose dos tipos de piezas.

1 Pieza de 0.60x2.40 m y 2 Piezas de 0.60x0.60m (Gráf. 4 y 5)

Estas piezas se unen longitudinalmente y abarcan una dimensión total de 3.60 m, la disposición de las mismas responde a que la placa trabajaría a esfuerzos de flexión, razón por la cual en el centro no debería haber ningún tipo de unión, no así en los extremos.

Estos cortes dejan un sobrante útil de dos piezas de 0.60x0.60 m y un desperdicio del 3%.

Las tablas de pino fueron recortadas para proporcionar la longitud otorgada por los tableros OSB. El sobrante se utiliza para reforzar las uniones de los encuentros de los tableros superiores (Gráf. 6 y 7).

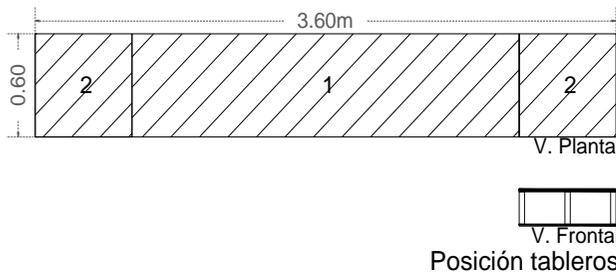


Gráfico 5. Posición de piezas de tablero OSB

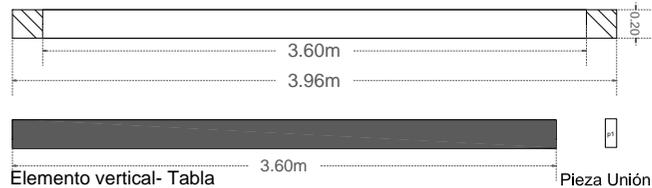


Gráfico 6. Cortes de tabla de pino

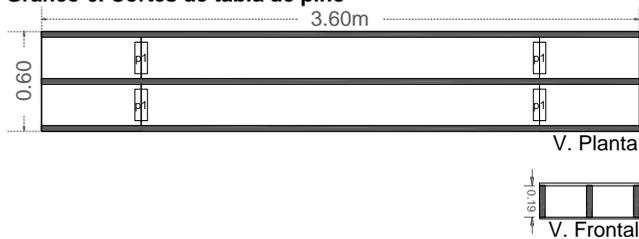


Gráfico 7. Posición de pieza restante en placa

% Volumen Placa Prefabricada

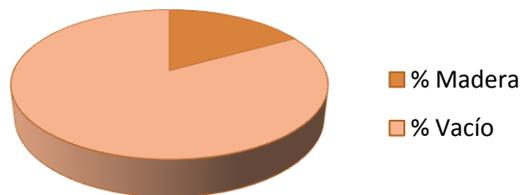


Gráfico 8. Volumen de placa prefabricada

4.5. DIMENSIÓN DE LA PLACA

Luz (m)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Longitud (m)
3.50	60	22	3.60

Tabla 8. Dimensiones de la placa

4.6. PORCENTAJE DE VOLUMEN

El volumen total de la placa es de 0.47 m^3 , de donde el porcentaje de volumen de material es 17 % y el 83% el volumen de aire (Gráf.8) (Tabla 9).

Elemento	Volumen	Porcentaje (%)
Superficie Superior	0.024	5
Superficie Inferior	0.019	4
Tablas verticales	0.041	8
Vacío	0.39	83
TOTAL	0.47	100

Tabla 9. Porcentaje de volumen material y aire

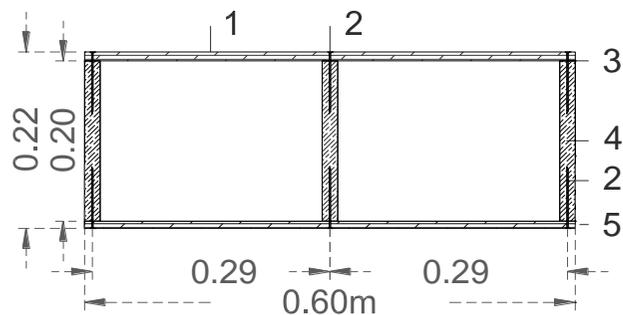
4.7. PESO DE LA PLACA

El peso de la placa fue determinado calculando el peso y la cantidad de cada uno de los materiales que la integran, el peso de tornillos y adhesivo fue despreciado (Tabla 10).

Peso de elementos de la placa				
Elemento	Área tablero	Peso tablero	Área tablero	Peso tableros
OSB11.1mm	$2.44 \times 1.22 = 2.9768$	23.8 Kg	2.16	17.26 kg
OSB 9 mm	$2.44 \times 1.22 = 2.9768$	20.8 Kg	2.16	15.09 kg
Subtotal				32.35 kg
Elemento	Peso Especifico	Volumen m^3	Peso kg	Peso x 3 u.
Tabla pino	448 kg/m^3	0.01368	6.13	18.39 kg
Subtotal				18.39 Kg
TOTAL				50.74 Kg

Tabla 10. Peso del forjado diseño final

El peso de la placa sin adicionar ningún otro elemento o material es de 23.50 kg/m^2



1. Tablero OSB, 11.1 mm, 0.60x3.60m
2. Tornillo autoperforante 3", d: 8mm, c/15cm
3. Adhesivo de Poliuretano, d: 5mm, Long.: 3.60 m
4. Tabla de Pino 20 x 1.9 cm, Long.: 3.60m
5. Tablero OSB, 9.5 mm, 0.60 x3.60m

Gráfico 9. Sección de la placa

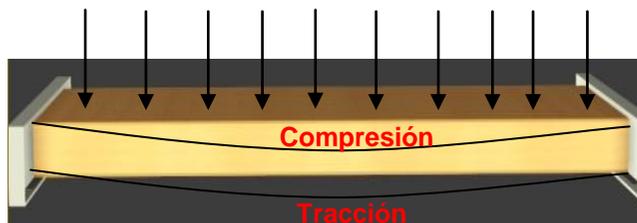


Gráfico 10. Esfuerzo de flexión

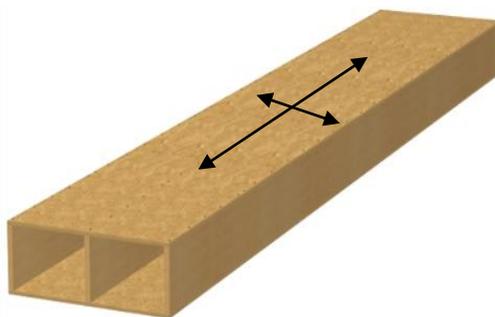


Gráfico 11. Comportamiento homogéneo ante esfuerzos tablero OSB

4.8. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

El forjado trabaja de manera unidireccional, simplemente apoyado. Los elementos resistentes que conforman los nervios de la placa son tablas de pino cuyas fibras están orientadas de manera longitudinal, perpendiculares a las cargas (Gráf. 9 y 10).

Las tablas son maderas cepilladas secas, con clasificación estructural C es decir pertenece al grupo de maderas coníferas cuya densidad oscila 400 – 550 kg/m³ (Tabla 11). Se utilizan estas maderas porque se disponen en el mercado pese a su relativa baja resistencia.

Propiedades mecánicas Tablas de Pino amarillo			
Flexión	Kg/cm ²	Compresión Perpendicular	Kg/cm ²
Resistencia a flexión	975	Resistencia a compresión	492
Módulo de elasticidad	130000		

Tabla 11. Propiedades mecánicas de pino⁵⁰

El tablero superior transmite la carga que esta sobre el forjado al nervio, por lo que debe tener el espesor necesario para transferir esta carga con deformaciones apreciables. Además rigidiza la parte superior del nervio. Constituye tableros OSB de espesor de 11.1 mm, con densidad de 700 Kg/m³.

El tablero inferior rigidiza la parte inferior del nervio y sirve para formar una cámara de aire. Constituye tableros OSB de espesor de 9mm con densidad 690 Kg/m³.

La estructura interna, los tableros tienen un comportamiento homogéneo ante las dilataciones o esfuerzos en distintas direcciones⁵¹ (Gráf.11).

⁵⁰ Confemadera, (2004), "Guía práctica de especies de madera", Recuperado 10/4/15 de <http://www.confemadera.es/rs/34/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/be0/filename/guia-practica-de-especies-de-madera.pdf>

⁵¹ LP Building Productos, Recuperado 1/10/14 de <http://lpchile.cl/descargas/tecnicos/propiedades-osb-2009.pdf>

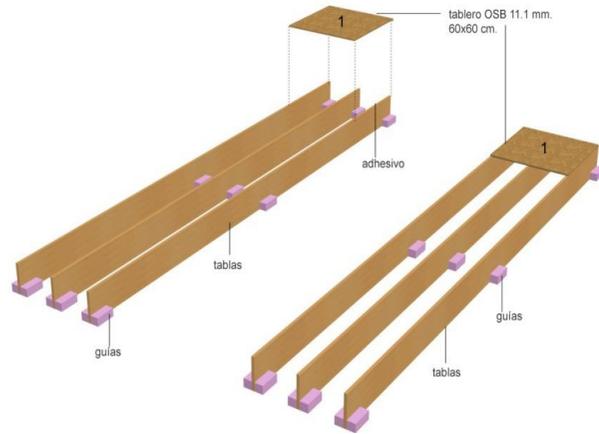


Gráfico 12. Fijación de pieza 60x60 cm e: 11.1mm

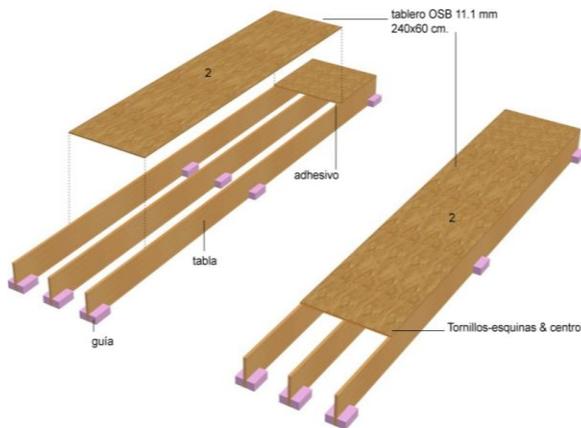


Gráfico 13. Fijación de pieza 240x60 cm e: 11.1mm

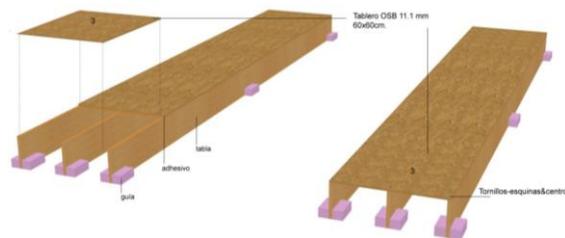


Gráfico 14. Fijación de pieza 60x60 cm e: 11.1mm

4.9. ARMADO

El armado de la placa es muy sencillo, se realiza en dos etapas, y consisten en:

Primera Etapa

1. Se colocan guías que sirve para la correcta posición y unión de los cantos de las tablas con los tableros superior e inferior. Se trazan líneas ejes en los tableros.
2. Los 3 tableros superiores son atornillados y pegados a los cantos de las tablas, los tornillos son distribuidos cada 15 cm (Gráf. 12, 13 y 14).
3. Se invierte la estructura (Gráf. 15).
4. Se refuerza la unión entre los tableros superiores con adhesivo en su borde y tabla inferior fijada con clavos neumáticos.

Segunda Etapa

1. Los 3 tableros inferiores son atornillados y pegados con adhesivo poliuretánico a los cantos de las tablas, los tornillos son espaciados cada 15 cm (Gráf. 16 y 17).



Gráfico 15. Refuerzos

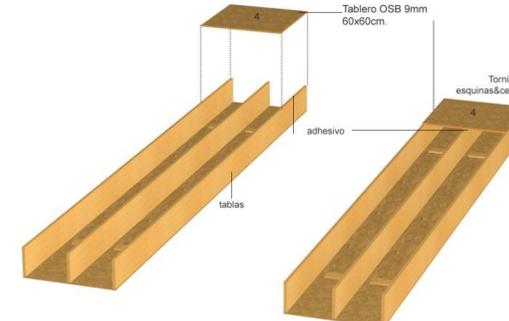


Gráfico 16. Fijación de pieza 60x60 cm e: 9.5 mm

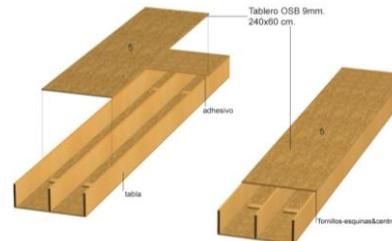


Gráfico 17. Fijación de pieza 240x60cm y pieza 60x60 cm e: 9.5mm

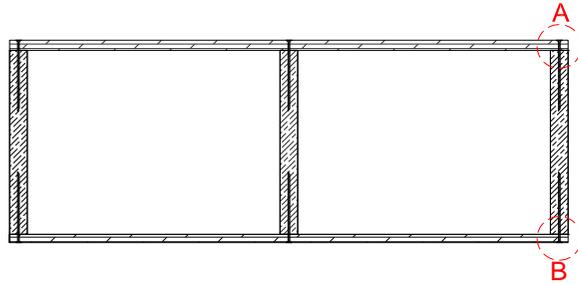


Gráfico 18. Unión superior e inferior

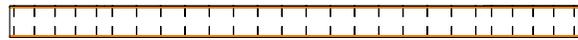
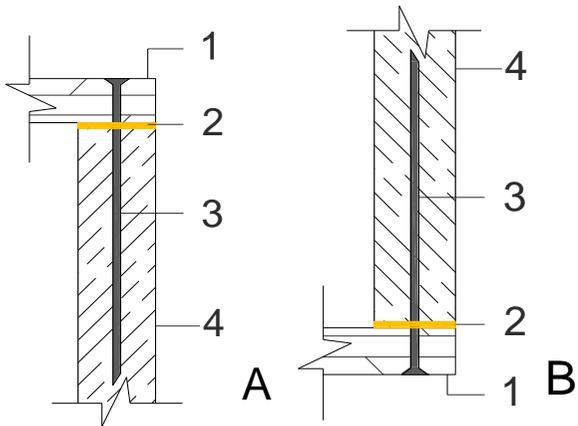


Gráfico 19. Tornillos 3'' cada 15 cm



- | | |
|----------------------------|------------------------|
| 1. Tablero OSB e: 11.1mm | 1" Tablero OSB e:9.5mm |
| 2. Adhesivo de Poliuretano | |
| 3. Tornillo autoperforante | |
| 4. Tabla de Pino | |

Gráfico 20. Detalle A y B, unión entre elementos

4.10. UNIÓN ENTRE ELEMENTOS

Tableros a canto de tablas

La unión superior e inferior de los tableros OSB a los cantos de la tabla de pino, se realiza con tornillos de acero autoperforante dispuestos cada 15 cm a lo largo de la placa, a esta unión se adiciona un cordón de adhesivo poliuretánico que ayuda a mejorar el desempeño estructural generando mayor amarre y evitando el desgaste de la sujeción de los tornillos a los tableros y tablas (Gráf. 18,19 y 20).

Tableros superiores

La unión de tableros superiores se refuerza con la colocación de piezas de madera fijadas con adhesivo y clavos, evitando el movimiento de desplazamiento de los tableros en la parte hueca de la placa. La unión de los tableros inferiores no requiere dichos refuerzos (Gráf. 21 y 22).

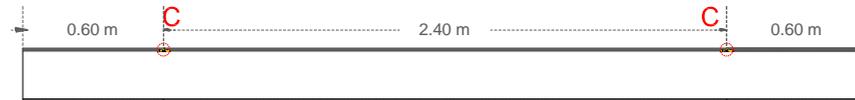
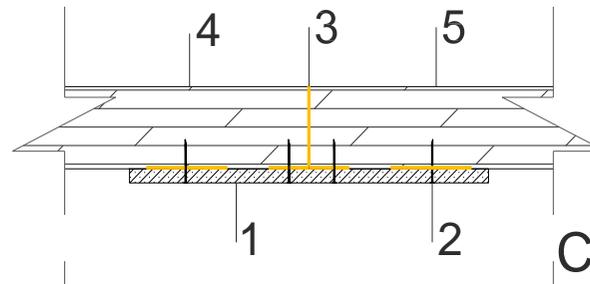


Gráfico 21. Vista lateral-unión entre tableros superiores



- | | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 1. Pieza de Pino | 4. Tablero OSB e:11.1mm, 60x60 cm |
| 2. Clavos neumáticos | 5. Tablero OSB e:11.1mm, 240x60cm |
| 3. Adhesivo Poliuretano | |

Gráfico 22. Detalle C, unión de tableros superiores

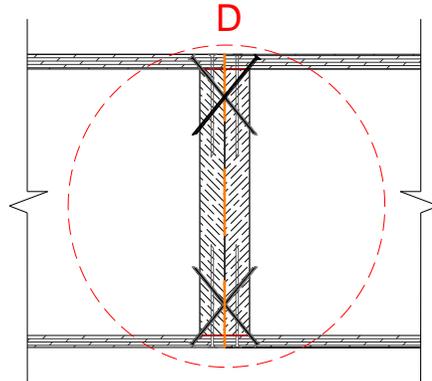
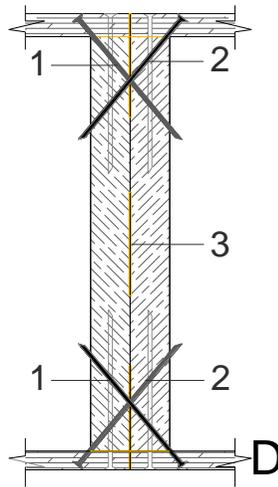


Gráfico 23. Detalle D



1. Tornillo de acero cincado 3" Izquierdo
2. Tornillo de acero cincado 3" Derecho
3. Adhesivo de Poliuretano

Gráfico 24. Detalle D - unión entre placas



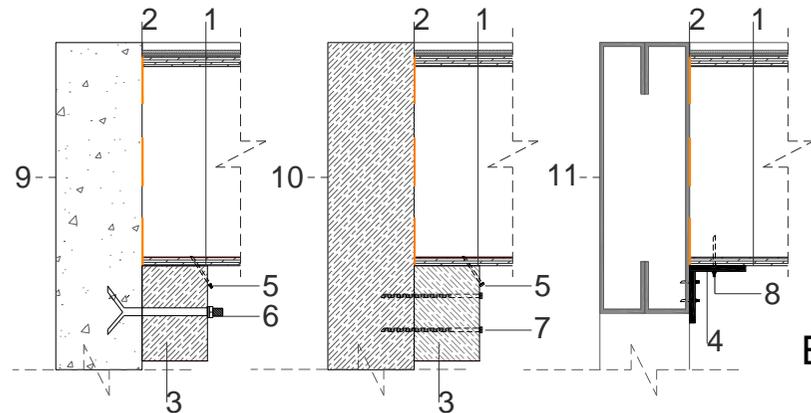
Gráfico 25. Placa apoyada en sus extremos

4.11. UNIÓN ENTRE PLACAS

La unión entre placas se realiza con la colocación de tornillos de acero para madera con ángulo de +/- 50 grados de inclinación cada 20 cm a lo largo de la longitud, garantizando la sujeción de la tabla vertical como de los tableros OSB de cada placa, adicional a esto se coloca cordones de adhesivo poliuretánico a lo largo de la cara lateral de la placa proporcionando mayor sujeción. Esta unión se realiza en la parte superior como inferior (Gráf. 23 y 24).

4.12. UNIÓN CON ESTRUCTURA

En los extremos, la placa se apoya sobre piezas de madera que son ancladas a estructuras de madera y hormigón, y sobre ángulos metálicos anclados a estructura metálica, a estos se fija mediante tornillos auto perforantes (Gráf. 25 y 26).



- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Placa prefabricada | 7. Tornillo de madera d: 10mm, longitud: 4" |
| 2. Adhesivo de poliuretano | 8. Pernos de anclaje, d: 8m, longitud: 3" |
| 3. Soporte de madera 7x10cm | 9. Estructura de Hormigón |
| 4. Angulo metálico, 60x60 cm e: 6mm | 10. Estructura de Madera |
| 5. Tornillos auto perforantes 3" | 11. Estructura de Metal |
| 6. Perno de anclaje | |

Gráfico 26. Detalle E, apoyo en diferentes estructuras

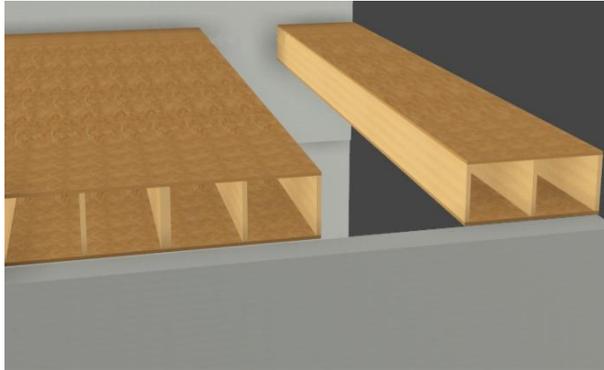
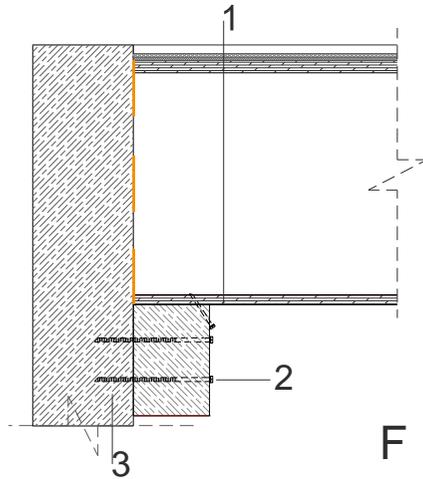


Gráfico 27. Montaje de placas



1. Placa
2. Pieza de madera 7x5 cm
3. Estructura principal

Gráfico 28. Detalle F, elemento de soporte anclado a estructura

4.13. MONTAJE

El proceso de montaje es simple debido al peso de la placa (50.74 kg) y su dimensión modular (60 cm), la placa puede ser colocada en obra de manera manual sin necesidad de grúas o instrumentos de elevación.

Pasos de Montaje

1. Se anclan los elementos de soporte (pieza de madera o ángulo metálico) en el marco de la estructura (Gráf. 28).
2. Se fija con tornillos la primera placa a los elementos de soporte y se colocan las siguientes (Gráf. 27 y 29).
3. La unión superior e inferior entre placas se realiza con tornillos cincados dispuestos longitudinalmente cada 20 cm y adhesivo.
4. Por último se coloca la última placa que es atornillada a los elementos de soporte y a la placa continua.

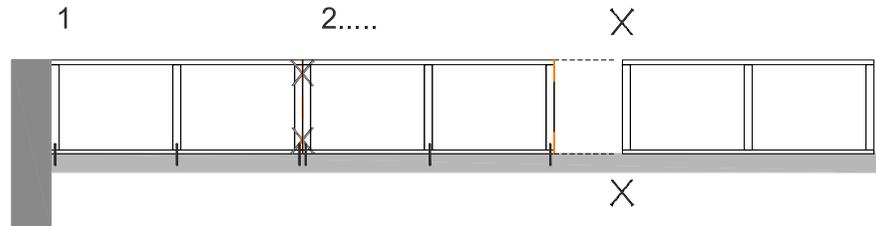


Gráfico 29. Proceso de Montaje

4.14. CONFIGURACIÓN ARQUITECTÓNICAS

PLANTAS

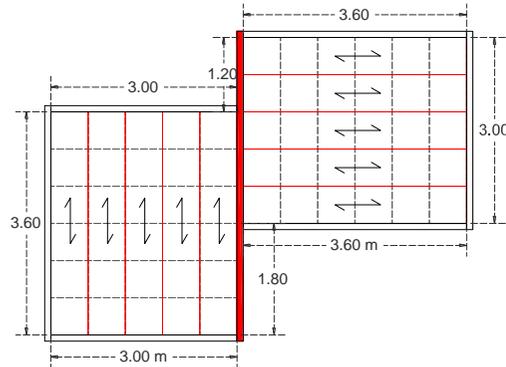


Gráfico 30. Disposición de placas en estructura

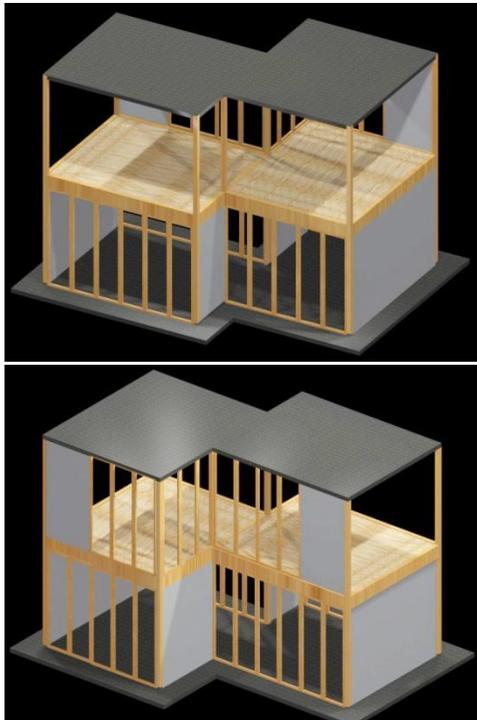


Gráfico 31. Esquema de disposición de placas

Debido al módulo de 0.60 m, es posible configurar plantas arquitectónicas dinámicas, sin olvidar el comportamiento estructural lineal de las placas esto es soportadas en elementos (piezas de madera o ángulo metálico) ancladas a la estructura principal.

Todo dinamismo debe ser analizado y calculado estructuralmente, ya que si se varía en la orientación de las placas de un espacio a otro estas ejercerán empujes horizontales que deben ser tomados en cuenta (Gráf 30 y 31) .

La longitud de la placa es 3.60 por tal razón será una de las medidas de los espacios conformados, en la otra dirección las medidas de los espacios responden a múltiplos de 0.60 m (Gráf 32). Si consideramos como medida mínima en la edificación de viviendas es de 2.70 m, los espacios cubiertos por la placa resultan ser funcionales.

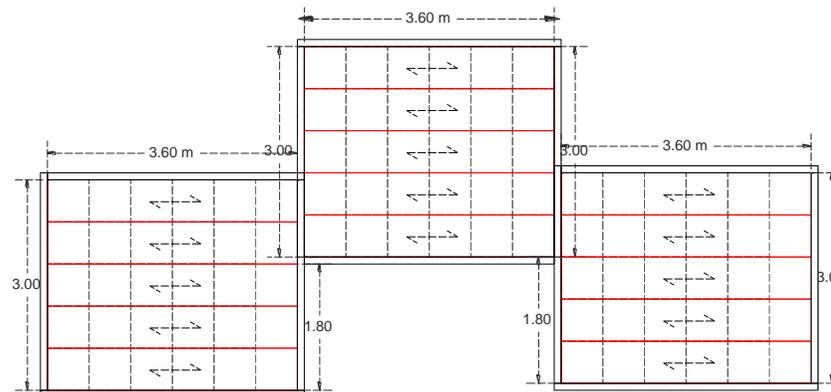


Gráfico 32. Configuración de planta arquitectónica

4.15. CONFIGURACIÓN DE VANOS

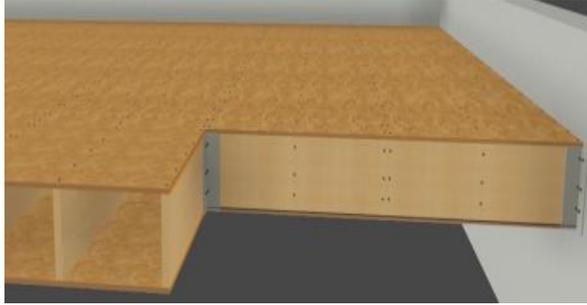


Gráfico 33. Abertura en el forjado

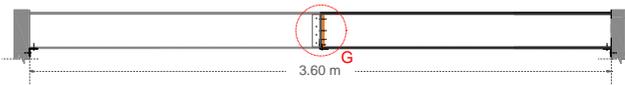
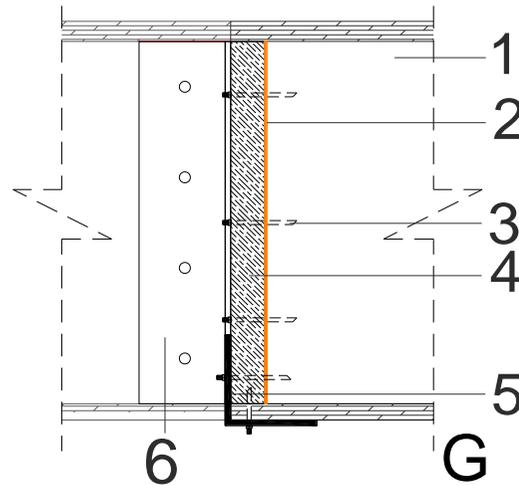


Gráfico 34. Lateral placas cortadas

En caso de requerirse aberturas se colocará en los extremos de las placas cortadas vigas transversales de madera fijadas a las testas de las tablas que conforman la placa mediante tornillos auto perforantes y adhesivo (Gráf. 33, 34 y 35).

Las vigas transversales se fijan por medio de ángulo metálico a la estructura como a la cara lateral de la placa que no se recorta.

Cabe destacar que este requerimiento necesitará cálculos estructurales adicionales que establezcan las dimensiones de las vigas que servirán de apoyo.



1. Placa
2. Adhesivo de poliuretano
3. Tornillos auto perforantes
4. Angulo Metálico 40x40,e:2mm
5. Tabla de Pino, alto 20cm,e:1.9mm
6. Angulo Metálico 40x40, e:2mm

Gráfico 35. Detalle G

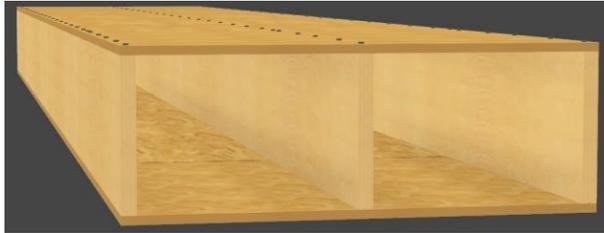


Gráfico 36. Placa sin revestimientos



Gráfico 37. Revestimientos

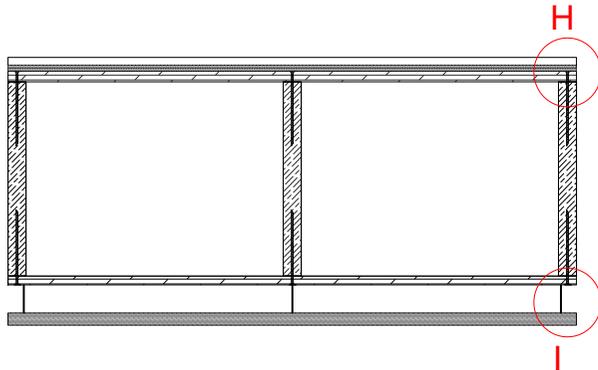


Gráfico 38. Opción de revestimiento

4.16. ACABADO

El acabado final lo constituyen las superficies horizontales que bien pueden quedar vista y sin necesidad de tratarla, estas superficies sirven de piso y techo (Gráf.36).

Sin embargo la superficie también constituye el soporte para adicionar otro tipo de revestimiento tanto en la parte superior como inferior (Gráf.37,38 y 39).

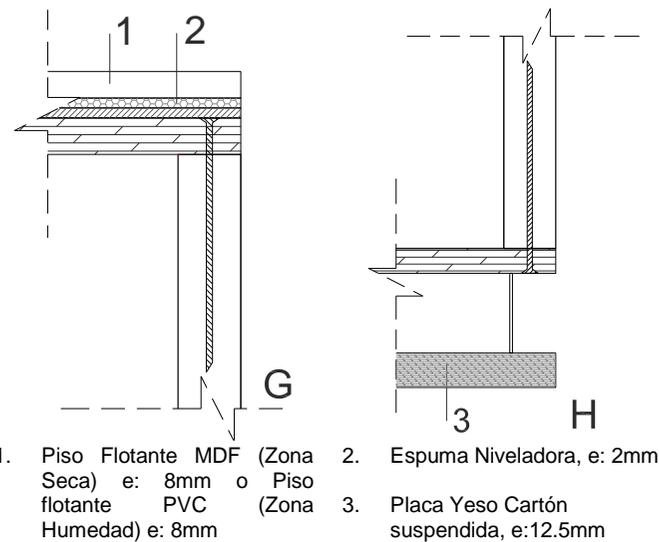


Gráfico 39. Detalle G y H. Piso terminado y cielorraso suspendido



Gráfico 40. Placa con tubería

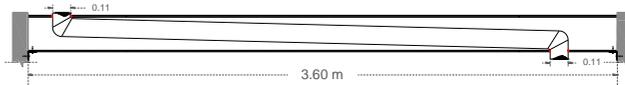
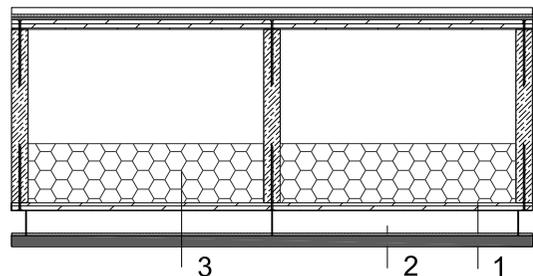
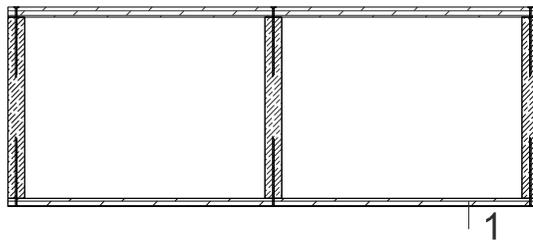


Gráfico 41. Paso de tubería



Gráfico 42. Detalle J, paso vertical de tubería



1. Tablero OSB Retardante a Fuego (aditivo borato de zinc)
2. Placa Yeso Carton, e: 12.5mm
3. Relleno Lana Mineral

Gráfico 43. Comportamiento a fuego

4.17. INSTALACIONES

Si se requiere realizar las instalaciones por el interior de las placas, estas deberán ser analizadas, consideradas durante el diseño de la edificación para aprovechar las ventajas del sistema (Gráf. 40 y 41). En caso de tener que atravesar verticalmente una de las placas, se recomienda realizar un agujero no mayor a 112 mm, e impermeabilizar con láminas asfálticas autoadhesivas, tanto el agujero como el trayecto del tablero OSB por donde pasa la tubería (Gráf. 42).

4.18. COMPORTAMIENTO A FUEGO

Como se indico, la madera es un mal conductor de calor, lo que genera que al estar expuesta a fuego la combustión se desarrolle únicamente en la superficie de la pieza, formándose una capa carbonizada que protege y aísla a otras capas del elemento.

Las superficies de la placa están formadas por tableros de OSB, que son productos derivados de la madera tratados por el uso de adhesivo y aditivos otorgándole mayores resistencias que piezas de madera sin tratar.

Puntualmente el uso en su fabricación de un aditivo natural, "borato de zinc" para protegerlo de termitas y hongos impidiendo la pudrición del tablero, es también un retardador de fuego, lo que serviría de protección a las tablas que constituyen el elemento resistente de la placa.

Para mejorar este comportamiento la placa puede utilizar para su superficie inferior una estructura de yeso cartón y/o rellenar sus cavidades con lanas minerales, todos estos constituyen materiales de buen comportamiento a fuego (Gráf. 43).

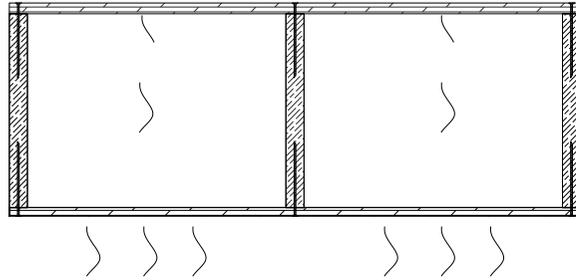
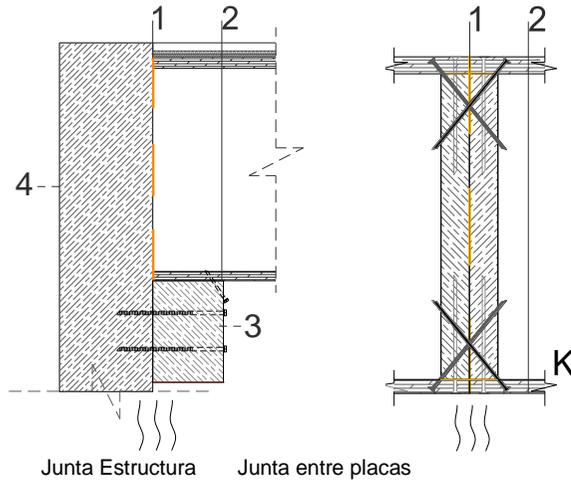
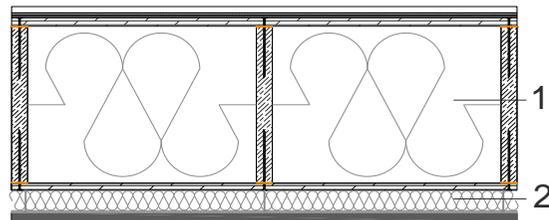


Gráfico 44. Pérdida de calor transmitido



- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. Adhesivo poliuretánico | 3. Soporte de madera |
| 2. Placa prefabricada | 4. Estructura de Madera |

Gráfico 45. Detalle K. Juntas con estanqueidad



- | |
|--------------------------------|
| 1. Relleno de Aislante Térmico |
| 2. Placa de aislacion térmica |

Gráfico 46. Relleno de cavidades y aislacion térmica sobre cielorraso

4.19. COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Se conoce que la madera es un mal conductor térmico, lo que genera que sea un buen aislante térmico, los tableros OSB son productos derivados de la madera, su estructura interna es heterogénea y compuesta por capas de virutas unidas por adhesivos y aditivos. Las capas de los tableros OSB son colocadas en sentidos contrarios provocando altos niveles de divergencia para el paso del aire, conociendo que el calor es transmitido a través del aire, esta colocación de las capas ocasionando la pérdida del calor transmitido.

Los tableros OSB son malos conductores del calor (Gráf. 44), la conductividad térmica del tablero OSB superior (e:11.1mm) es 0.12 W/m.k y el tablero OSB inferior (e:9.5mm) es 0.13 W/m.k., por lo que la placa presentaría un buen comportamiento de aislación térmica.

Junta de unión con la estructura. El espacio de holgura de las placas con respecto a la estructura es de 3 a 5 mm el mismo que se sella colocando adhesivo poliuretánico en la testa de las tablas y los bordes de los tableros OSB superior e inferior. Además en el caso de unirse a estructuras de hormigón y madera, la placa se soporta sobre un elemento solido de madera que actúa como barrera disminuyendo el paso de aire.

Junta de unión entre placas. Tiene un espacio de holgura de 2 a 3 mm, el mismo que es sellado al colocar en la parte superior e inferior de los tableros OSB y a lo largo de la cara de las tablas adhesivo. Las juntas deben lograr estanqueidad (Gráf. 45).

El comportamiento térmico de la placa podría ser mejorado con el uso de material aislante relleno las cavidades del forjado o con una placa aislante suspendida del cielorraso. El uso de esta mejora dependerá del factor climático en donde se emplace la edificación (Gráf. 46).

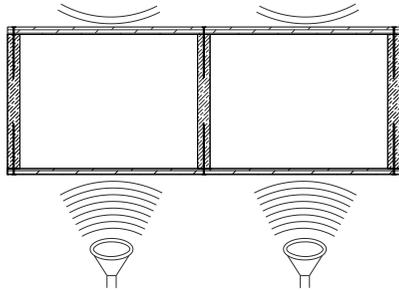


Gráfico 47. Comportamiento acústico

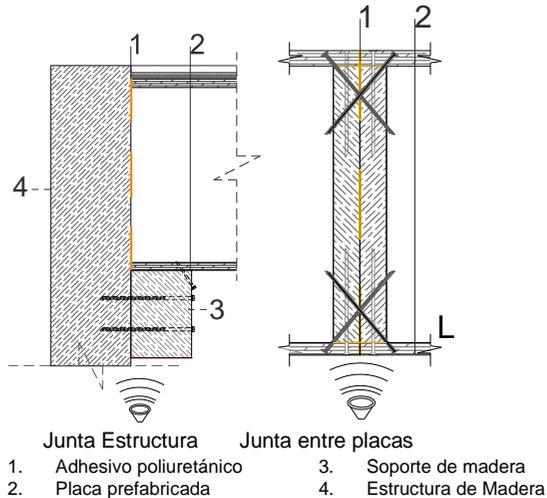
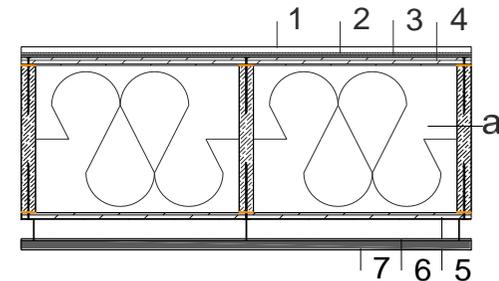


Gráfico 48. Detalle L. Juntas con estanqueidad



- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| 1. Piso flotante MDF, e: 8mm | 5. Tablero OSB, e:9.5mm |
| 2. Espuma niveladora, e: 2mm | 6. Lámina absorbente, e:3 mm |
| 3. Lámina contra impactos, e:3mm | 7. Placa Yeso Cartón, e:12.5 mm |
| 4. Tablero OSB, e:11.1mm | a. Lana Mineral |

Gráfico 49. Disposición de multicapas

4.20. COMPORTAMIENTO ACÚSTICO

Los tableros OSB poseen un buen comportamiento acústico debido al grado de heterogeneidad que presenta la estructura interna del tablero que dificulta la continuidad del paso de ondas de sonido. Además al ser un material derivado de madera tiene la capacidad de amortiguar las vibraciones sonoras reduciendo la transmisión de las mismas. La placa tiene dos superficies horizontales con este material lo que le atribuiría un buen comportamiento acústico (Gráf. 47).

La colocación de adhesivo poliuretánico en el espacio de holgura que tiene las juntas tanto de apoyo como de unión entre placas, sella las mismas evitando el paso de aire, reduciendo el paso de sonido (Gráf. 48).

Los acabados que se coloquen tanto en su parte superior como inferior van a contribuir a mejorar el comportamiento acústico (no transmisión de ondas sonoras). En los casos en que pasen tuberías por la placa, estas podrían ir forradas por materiales aislantes acústicos.

Si se necesitaría mejorar el rendimiento acústico de la placa, se puede incorporar un sistema multicapas, es decir, en la parte superior se coloca un material contra ruido de impacto o anti vibratorio, junto con una espuma aislante y piso terminado y en la parte inferior un material fonoabsorbente o contra ruidos aéreos, de igual forma se pudiera rellenar las cavidades con materiales de absorción acústica. (Gráf. 49).

CAPÍTULO 5.- CONSTRUCCIÓN DE LA PLACA PREFABRICADA LIGERA Y SECA

5.1. INTRODUCCIÓN

Se decidió llevar a escala natural 1:1, la placa prefabricada diseñada y descrita en el capítulo 4, la construcción se llevo a cabo en las instalaciones de la fábrica de madera Rowoodmadera, facilitando un espacio para el armado de la placa, recursos de personal y herramientas.

Para el armado se recibió la materia prima revisando visualmente que estuviera libre de nudos y orificios, y tengan las dimensiones preestablecidas, se procedió con el armado, uniendo las tablas a los tableros superior e inferior por medio de tornillos y adhesivo.

El tiempo de armado fue de 45 minutos aproximadamente, con dos personas, el peso de la placa oscilo los 50.74 kg, pudiendo cargarlo e izarlo manualmente entre dos personas, el costo final de m² del forjado fue de 37.60 dólares. Siendo estos los resultados podría decir que la placa cumple con la característica de seca, ligera y económica.

5.2. MATERIALES

Los materiales utilizados para la construcción de la placa fueron:

- Tablas de pino. Utilizados para formar el entramado, estuvieron libres de deterioros y defectos de maquinado. Con contenido de humedad 10%, determinado por Hidrómetro, aparato electrónico que sirve para determinar el porcentaje de humedad de distintas especies de madera.
- Tablero estructural LP-OSB. Para los elementos superior e inferior, que encierran el forjado.
- Adhesivo Poliuretánico. De fácil aplicación con pistola y rápido secado.
- Tornillo. Tornillos negro autoperforante acerado y cincado.

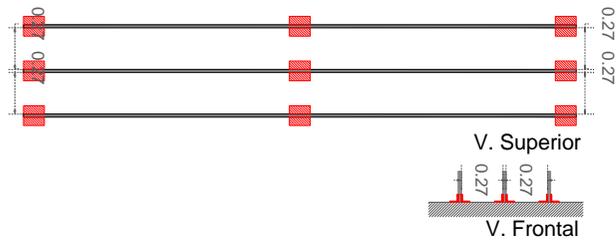


Gráfico 50. Plantilla guía



Foto 1. Uso de plantilla guía

5.3. FABRICACIÓN

Se llevo a cabo de la siguiente manera:

Recibo de materia prima

La fuente proveedora entregó en el lugar los materiales cuyas dimensiones respondieron a las medidas preestablecidas de diseño.

Armado de la placa

El armado siguió los pasos indicados en el capítulo 4 y que describo a continuación:

- **Plantilla guía**

Se elaboró una plantilla guía, que constituye la mesa de trabajo para el armado de la placa, manteniendo las tablas verticales con el respectivo espaciamiento entre ejes y facilitando la correcta unión con los tableros (Gráf. 50) (Foto 1).



Foto 2. Fijación pieza superior de 60x60 cm, tornillos y adhesivo



Foto 3. Fijación pieza superior de 240x60cm, tornillos c/15cm



Foto4. Fijación pieza superior de 60x60 cm

- **Superficie horizontal superior**

Luego se realizó la unión de los cantos de las tablas con las tres piezas de tablero OSB de e: 11.1 mm.

Para esta unión se colocó cordones de adhesivo, en los cantos de las tablas como en las uniones horizontales entre las piezas de tablero OSB (Foto 2).

Se fijó la primera pieza de 60x60 cm atornillándose a los extremos y el centro, luego la segunda de 240x60 cm y por último la tercera de 60x60 cm, al final se colocaron a lo largo de los cantos de cada tabla, tornillos de 3" cada 15 cm (Foto 3 y 4).

Refuerzo de la superficie

Se invirtió el forjado y se colocó en la unión posterior entre las piezas de tableros de OSB de 11.1 mm., 4 piezas de madera con clavo neumático y adhesivo, para asegurarla y evitar desplazamientos entre los tableros (Foto 5).



Foto 5. Refuerzo en unión posterior de tableros superiores



Foto 6. Estructura invertida y fijación de pieza inferior de 60x60cm



Foto 7. Fijación pieza inferior de 240x60cm



Foto 8. Fijación pieza inferior 60x60 cm

- **Superficie Horizontal Inferior**

Luego se realizó la unión de los cantos de las tablas con las tres piezas de tablero OSB de e: 9 mm.

Para esta unión se colocó cordones de adhesivo, en los cantos de las tablas como en las uniones horizontales entre las piezas de tablero OSB. Estas uniones no son reforzadas debido a que no producen movimientos de desplazamiento causado por cargas.

Se fijó la primera pieza de 60x60 cm atornillándose a los extremos y el centro, luego la segunda de 240x60 cm de la misma manera y por último la tercera de 60x60 cm, al final se introdujeron los tornillos autoperforantes faltantes de tal manera que queden dispuestos cada 15 cm a lo largo de los cantos de cada tabla (Foto 6,7 y 8).

Por último se limpió los residuos de adhesivo de las caras de de las placas (Foto 9).



Foto 9 Limpieza de residuos en las caras de la placa



Foto 10. Construcción en una hora



Foto 11. Dos personas



Foto 12. Herramientas

5.4. RECURSOS DE FABRICACIÓN

La fabricación se realizó de manera manual y precisó de un espacio de trabajo adecuado para almacenar la materia prima, armar la placa y apilar las placas terminadas.

El tiempo aproximado de fabricación fue de 45 minutos por placa (Foto 10).

El personal necesario fueron dos personas (Foto 11).

Las herramientas necesarias (Foto 12) que se utilizaron para el armado fueron:

- Plantilla Guía
- Taladros
- Prensa
- Pistola
- Espátula
- Clavadora neumática

5.5. COSTO DE FABRICACIÓN DE LA PLACA

Se determinó el costo de fabricación de la placa considerando precios unitarios de los materiales y la cantidad necesaria para la placa, además el costo de mano de obra y herramientas se determinó según un estimado de producción al día en las instalaciones de la fábrica (Tabla 12).

COSTO DE LA PLACA				
DESCRIPCION	U	\$ UNI.	CANT.	VALOR FINAL
TABLA DE PINO 20X1.9 cm, long: 3.95	m	2.21	10.8	23.868
TABLERO OSB 1.22x2.44 m, e: 11.1 mm	m2	9.65	2.16	20.844
TABLERO OSB 1.22 x 2.44 m, e:9.0 mm	m2	7	2.16	15.12
TORNILLO NEGRO AUTOPERFORANTE 3"	U	0.02	100	2
ADHESIVO DE POLIURETANO.	U	18.5	7.4	7.4
MANO DE OBRA Y MAQUINARIA	m2	5.55	2.16	11.988
			TOTAL	81.22
			m2	37.60185185

Tabla 12. Costo de fabricación de placa prefabricada

CAPÍTULO 6.- ENSAYO DE RESISTENCIA Y SERVICIO

6.1. INTRODUCCIÓN

La Norma Ecuatoriana de Construcción indica el cumplimiento de carga viva en viviendas de 2.0kN/m^2 (200kg/m^2)⁵². Se estableció que la placa de madera diseñada con escala 1:1, debería soportar un peso aproximado de 400 kg/m^2 equivalente al doble de lo estipulado en la norma. Para ello se vio necesario someter a la placa a un ensayo de “Prueba de carga” que según Marinilli⁵³ “La evaluación de la resistencia y el comportamiento de miembros estructurales o de estructuras ya construidas puede ser realizada mediante pruebas de carga realizadas en campo o en laboratorio. En estas pruebas los miembros o las estructuras son sometidos a un proceso de carga controlado hasta alcanzar la condición que se requiera evaluar.” Para este ensayo se considero como pesos equivalentes a cuatro tanques metálicos con capacidad 220 litros, cada litro equivale a un kilogramo, estos se dispusieron a lo largo de la placa y fueron llenados con agua progresivamente hasta alcanzar una sobrecarga de 407 Kg/m^2 evidenciando el cumplimiento de resistencia de la placa.

De igual forma debido a que la NEC no contempla ensayos a uniones en estructura de madera se realizo un ensayo de vibración que se tomo como un ensayo de comprobación, a través de carga cíclica utilizando como instrumento un vibrador de concreto sujeto a la placa por medio de elementos de madera, este produjo carga a fatiga cada 15 min con reposo de 10 min , produciendo cargas repetidas que resultan más fuertes de intensidad y frecuencia que una carga usual, evidenciando ningún aflojamiento en las uniones atornilladas de la placa.

⁵² NEC-2015, Norma Ecuatoriana de la Construcción, (Dic-2014), “Cargas no sísmicas”, pág. 29, Recuperado 21-6-2015 de [http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_CG_\(cargas_no_sismicas\).pdf](http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_CG_(cargas_no_sismicas).pdf)

⁵³ Marinilli A., (2003) “Servicio Técnicos Especializados recientemente”, Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Recuperado 20/11/2015 de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=s0376-723x2003000200005&script=sci_arttext

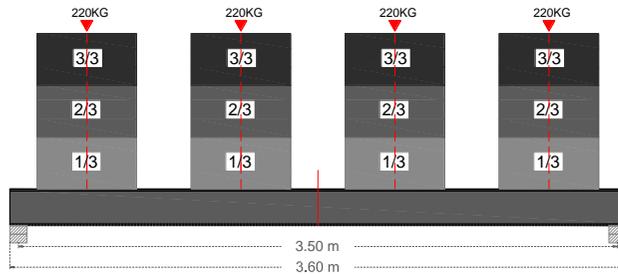


Gráfico 51. Cargas sobre la placa simplemente apoyada



Foto 13. Revisión de llenado progresivo con manguera de agua



Foto 14. Toma de medidas en el centro de la luz

6.2. LUZ Y CARGA

6.2.1. LUZ DE ENSAYO

La longitud de la placa es de 3.60 m, al estar simplemente apoyada sobre tacos de madera de 10x10 cm, la luz es de 3.50 m, siendo esta constante en todos los ensayos (Gráf. 51).

6.2.2. UBICACIÓN DE CARGA

Se colocó un peso aproximado de 407Kg/m², mediante el uso de cuatro tanques metálicos con capacidad de 220 litros aproximadamente (1 litro de agua=1Kg.), distribuidos a lo largo de la placa (Gráf.51).

$$\begin{aligned} \text{Carga Total} &= 220 \text{ Kg.} \times 4 = 880 \text{ Kg.} \\ 880 \text{ kg} &\div 3.50 \text{ m} \div 0.60 \text{ m} = 407 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{La carga final fue de } 407 \text{ Kg/m}^2 + 23.50 \text{ Kg/m}^2 \text{ (peso de la placa)} = 430.50 \text{ kg/m}^2$$

6.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENSAYO

La placa fue sometida a esfuerzo de “flexión simple”, se registró la medida en el centro de la luz cada 1/3 que los tanques metálicos fueron llenados. No se llevó a la placa a un ensayo de rotura debido a que el objetivo era comprobar que podía resistir una sobrecarga mayor a la expuesta en la norma (Foto 13).

6.3.1. EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Se colocó la placa sobre los apoyos (tacos de madera de 10x10cm) y se señaló el centro de la luz a ambos lados de la placa, como puntos de referencia destinados a ser las lecturas de deformación, se tomó las diferentes medidas, conforme la carga se iba incrementando (Foto 14).

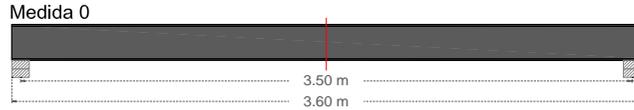


Gráfico 52. Medida 0



Foto 15. Medida 0. Deformación derecha: 9.1 cm e izquierda: 9.2 cm

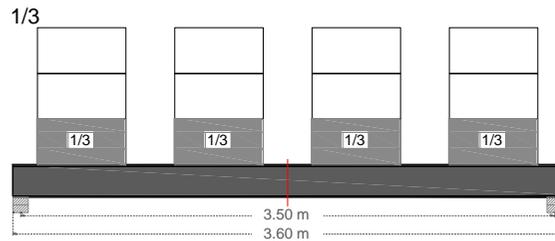


Gráfico 53. Medida 1



Foto 16. Medida 1. Deformación derecha: 8.9 cm e izquierda: 9.0 cm

Medidas de deformación

1. Se registró las medidas iniciales en la placa sin carga. La diferencia entre las medidas a cada lado se debió a la no uniformidad del piso (Gráf. 52 y Foto 15).
2. Se colocó el sistema de carga, esto es los cuatro tanques metálicos con capacidad de 220 litros = 220 kg distribuidos a lo largo de la placa. El método implementado fue tomar medidas a lado derecho e izquierdo, al incrementar por tercios la capacidad de los tanques, es decir los tanques llenos a 1/3, 2/3 y 3/3, este último constituye los tanques llenos (Gráf. 53,54,55 y Foto 16, 17, 18).

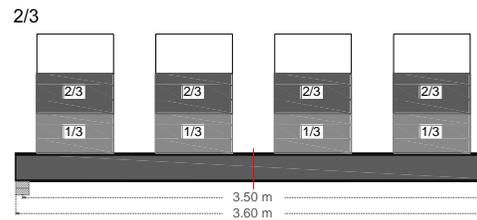


Gráfico 54. Medida 2



Foto 17. Medida 2. Deformación derecha: 8.6 cm e izquierda: 8.8 cm

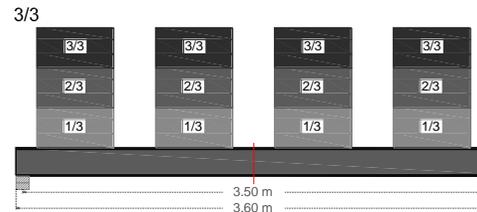


Gráfico 55. Medida 3



Foto 18. Medida 3. Deformación derecha: 8.4 cm e izquierda: 8.6 cm

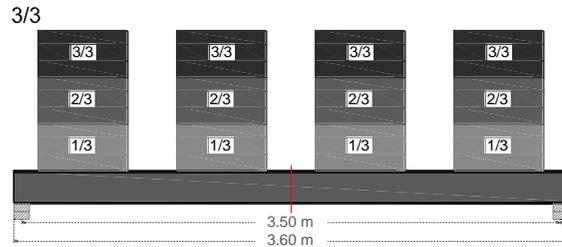


Gráfico 56. Medida 4

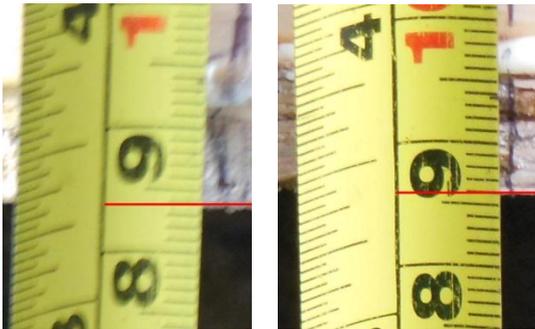


Foto 19. Medida 4. Deformación derecha: 8.4 cm e izquierda: 8.6 cm
FINAL



Gráfico 57. Medida 5



Foto 20. Medida 5. Deformación derecha: 9.1 cm e izquierda: 9.2 cm

3. Con los tanques llenos se tomó una cuarta medida (Gráf. 56 y Foto 19), al transcurrir de una hora de carga constante, y por último una quinta medida (Gráf. 57 y Foto 20), al retirar los tanques de la placa.

4. Tabla de resumen de medidas de deformación.

Medida	Deformación	
	Derecha (cm)	Izquierda (cm)
0	9.1	9.2
1	8.9	9.0
2	8.6	8.9
3	8.4	8.6
4	8.4	8.6
5	9.1	9.2

Tabla 13. Deformaciones

De la tabla se concluye que a medida que fue incrementándose la carga se presentó una deformación de 2 mm, tanto para un lado como para otro, llegando a ser para una carga total (tanques llenos) una deformación de 6mm que se mantuvo constante al transcurrir de una hora con la carga. Al retirar la carga (Foto 21) la placa volvió a su posición inicial, es decir la medida 0 y la medida 5 fueron iguales. La placa estuvo trabajando en su rango elástico.



Foto 21. Revisión de lleno total de cada tanque metálico y retiro de los mismos

6.4. UNIÓN ENTRE PLACAS

Para realizar este ensayo se unieron dos placas prefabricadas de iguales características.

Las placas se unieron por sus caras lisas y limpias, colocando dos cordones de adhesivo superior e inferior a lo largo de la placa y tornillos cincados de 3", con inclinación aproximadamente 50 grados, alternados (derecha e izquierda) cada 20 cm. Los tornillos unieron tanto los tableros superior e inferior como las tablas de cada placa (Gráf. 58) (Foto 24).

Para esta unión se utilizó una prensa dotando de una superficie plana y ejerciendo una mínima presión a las placas. Las caras de las placas se unieron en la parte superior como inferior (Foto 22 y 23).

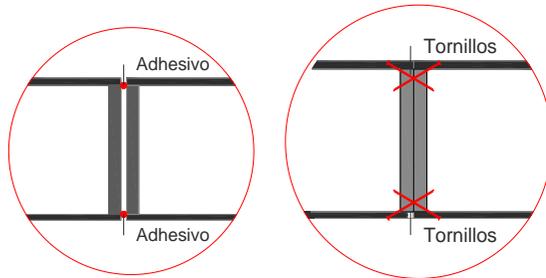


Gráfico 58. Unión entre placas con tornillos y adhesivo



Foto 22. Colocación de placa sobre prensas



Foto 23. Presión mínima de prensa a las placas

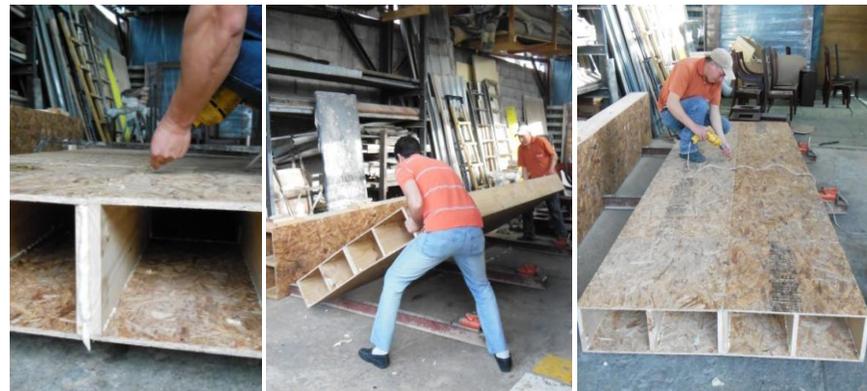


Foto. 24 Unión superior e inferior con tornillos cincados alternados (derecha e izquierda)



Foto 25. Placas apoyadas sobre tacos de madera



Foto 26. Carga sobre una placa

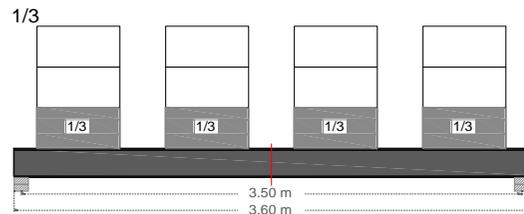


Gráfico 59. Medida 1



Foto 27. Medida 1 en placa con carga 10 cm y sin carga 10.8 cm

6.5. ENSAYO DE UNIÓN

Se procedió a comprobar el comportamiento en conjunto de las placas a través de la unión anteriormente detallada, para esto se colocó la carga progresiva (1/3, 2/3 y 3/3) de tanques metálicos sobre una sola placa.

6.5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENSAYO

1. Se montó las placas unidas sobre apoyos (pieza de madera de 10x10 cm) y se señaló el centro de la luz (Foto 25).
2. Solo una de las placas fue cargada con cuatro tanques metálicos distribuidos longitudinalmente, los tanques fueron llenados por tercios y se tomaron las medidas de deformación en el centro de las placas, para comprobar el trabajo conjunto de la unión (Foto 26).
3. Se registro las medidas por cada etapa de carga, esto es 1/3, 2/3, 3/3 (Gráf. 59,60,61) (Foto 27,28,29).

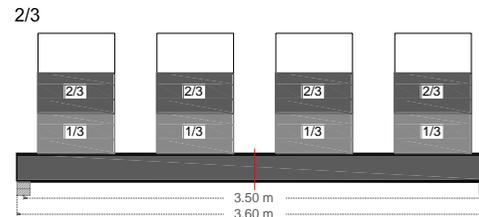


Gráfico 60. Medida 2

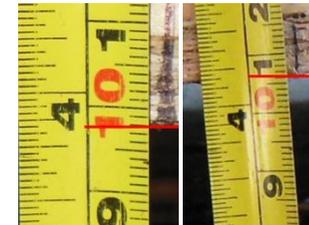


Foto 28. Medida 2 En placa con carga 9.8 cm y sin carga 10.6 cm

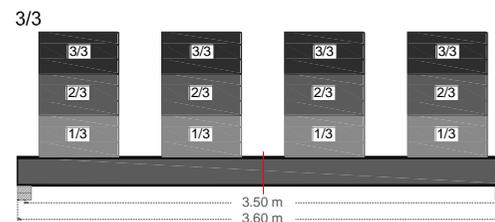


Gráfico 61. Medida 3

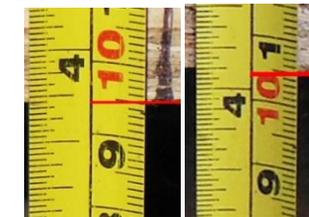


Foto 29. Medida 3 En placa con carga 9.5 cm y sin carga 10.5 cm



Foto 30. Tanques llenos en los extremos de las placas



Foto 31. Piezas de madera para anclaje de vibrador



Foto 32. Para soportar la fuerza del impacto se colocó varios tornillos contra el tablero OSB

4. Tabla de resumen de medidas de deformación en placas.

Medida	Deformación	
	Placa con carga (cm)	Placa sin carga (cm)
1	10.00	10.80
2	9.80	10.60
3	9.50	10.50

Tabla 14. Deformación en placas

De la tabla se concluye que la unión entre las placas genera un trabajo en conjunto, al incrementar el peso de los tanques metálicos, se observó deformaciones en la placa cargada en el orden de 2 mm, y también se observó deformaciones en la placa sin cargar en el orden de 1 a 2 mm.

6.6. ENSAYO DE VIBRACIÓN

Las placas unidas fueron sometidas a la fuerza de impacto que genera un vibrador eléctrico de hormigón anclado a los mismos a través de piezas de madera. Todo esto para comprobar el trabajo de los tornillos y adhesivo empleados en la unión de los elementos que lo conforman.

6.6.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENSAYO

1. Se colocaron las placas del forjado sobre apoyos (tacos de madera de 10x10cm). Debido al poco peso que presenta las placas, se colocó en cada extremo un tanque metálico lleno de agua (Foto 30).
2. Se ancló el instrumento de vibrado a los tableros OSB mediante piezas de madera (Foto 31 y 32).



Foto 33. Elemento vibrador anclado a estructura



Foto 34. Agua rebosada de tanque con vibrado.



Foto 35. Cada zona del forjado estuvo sometida a la fuerza de impacto del vibrador.

3. Se sometió a vibrado todo el sistema por lapsos de 15 minutos y 10 minutos de reposo, durante cuatro horas (Foto 33, 34 y 35), produciendo una carga cíclica.
4. Se retiraron los tanques y se registró el efecto de vibrado en la unión entre placas, unión de elementos (tablero-tabla) y en el lugar donde se colocó el vibrador.

Luego de someter a vibración el forjado en un tiempo total de dos horas con 15 minutos, no se observó modificaciones en ninguna de las uniones de sus elementos, ni en la unión entre placas (Foto 36). La zona donde se ancló el vibrador, presentó un hundimiento de alrededor de 2 mm debido a la fuerza de impacto a la que estuvo sometida (Foto 37).



Foto 36. Unión no alterada entre elementos y entre placas



Foto 37. Zona de impacto, hundimiento de 2 mm

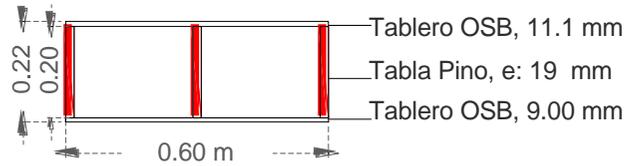


Gráfico 62. Sección de placa

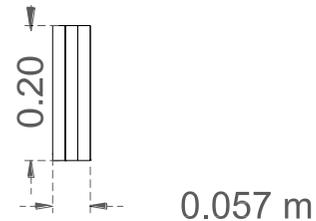


Gráfico 63. Sección de viga

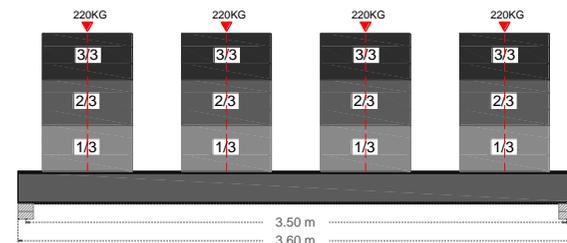


Gráfico 64. Carga uniformemente distribuida

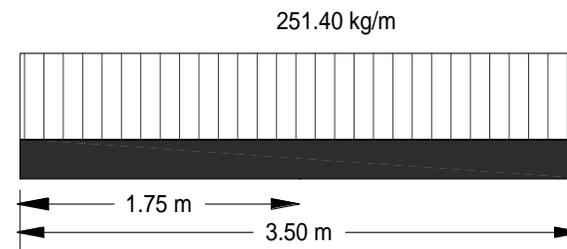


Gráfico 65. Carga uniformemente distribuida

6.7. CÁLCULOS

6.7.1. PLACA

Como se había indicado en el capítulo 4, el elemento resistente de la placa son las tablas de pino, por tal razón no se considera la acción de los tableros OSB unidos por tornillos y adhesivo a las tablas.

Para los cálculos se considera una viga simplemente apoyada cuya dimensión constituyen la unión de las tres tablas de la placa (Gráf. 62 y 63).

6.7.2. CARGA

De igual manera se considera al peso de los tanques llenos distribuidos a lo largo de la viga como una carga uniformemente distribuida (Gráf. 64 y 65).

$$Q = 220\text{kg} + 220\text{kg} + 220\text{kg} + 220\text{kg} = 880\text{kg}$$

$$q = 880\text{kg} \div 3.50\text{m} = 251.40\text{ kg/m}$$

(q= despreciando el peso de la placa)

6.7.3. RESULTADO DE ENSAYOS

Como resultado del ensayo a flexión se tiene que la deformación en el centro de la luz de las placas fue de 6mm.

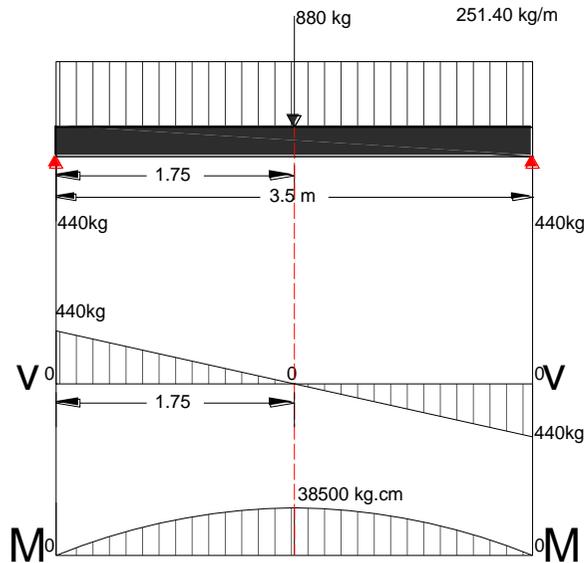


Gráfico 66. Cortantes y Momento Flector

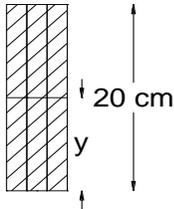


Gráfico 67. Momento de inercia

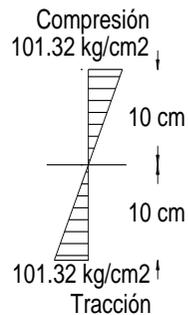


Gráfico 68. Tensión en la viga

6.7.4. ESFUERZOS EN LA VIGA

Se determinó los esfuerzos cortantes y momento flector que existen en la viga (Gráf. 66).

Esfuerzo cortante en extremos : 440 kg

Esfuerzo cortante en el centro: 0

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{251.40 \text{ kg/m} \cdot 3.5\text{m}^2}{8} = 385 \text{ kg.m}$$

Momento flector: 38 500 kg.cm

6.7.5. MOMENTO DE INERCIA

Se determinó el momento de inercia de la viga (Gráf. 67).

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I = \frac{5.7 \text{ cm} \cdot 20\text{cm}^3}{12}$$

$$I = 3800 \text{ cm}^4$$

6.7.6. TENSIÓN DE FLEXIÓN

Se determinó las tensiones en la viga (Gráf. 68).

$$T. \text{ flexión} = \frac{M \cdot y}{I}$$

$$T. \text{ flexión} = \frac{38500\text{Kg.cm} \cdot 10 \text{ cm}}{3800 \text{ cm}^4}$$

$$T. \text{ flexión} = 101.32 \text{ kg/cm}^2$$

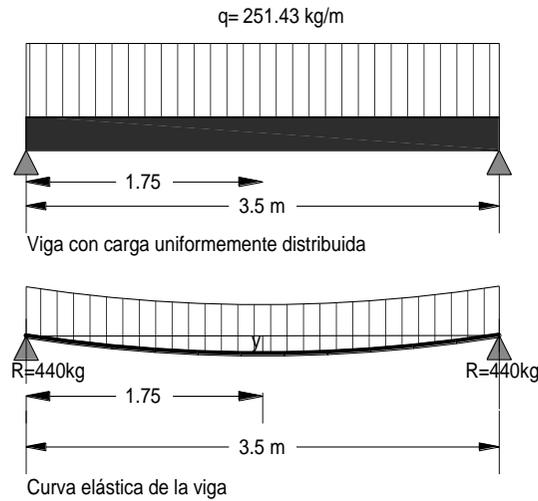


Gráfico 69. Flecha máxima

6.7.7. FLECHA MÁXIMA. Para calcular la flecha máxima se consideró el módulo de elasticidad de la tabla de Pino (Tabla 11-Capítulo 4) (Gráf. 69 y 70).

Fórmula de flexión - Método de la doble integración

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M(x)$$

Integro

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + C_1$$

Integro nuevamente

$$EI y = \iint M dx \cdot dx + C_1 \cdot x + C_2$$

Momento para una carga distribuida

$$M(x) = R \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

Reemplazo

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = 440 \cdot x - \frac{251.40 \cdot x^2}{2}$$

Integro

$$1). \frac{EI dy}{dx} = \frac{440 \cdot x^2}{2} - \frac{251.40 \cdot x^3}{6} + C_1$$

Integro nuevamente

$$2). EI y = \frac{440 \cdot x^3}{6} - \frac{251.40 \cdot x^4}{24} + C_1 \cdot x + C_2$$

$$C_2 = 0$$

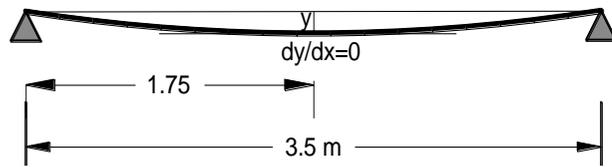


Gráfico 70. Pendiente en el centro es igual a 0

Se tiene que:

$$x=0; y=0$$

$$x=3.5/2 ; dy/dx= 0$$

Reemplazo en la ecuación

$$1). \quad EI (0) = \frac{440 \cdot (3.5/2)^2}{2} - \frac{251.40 \cdot (3.5/2)^3}{6} + C_1$$

$$C_1 = -673.75 + 224.56 = -449.19$$

Deflexión en el centro; $x = 3.5/2 = 1.75 \text{ m}$

Reemplazo en la ecuación

$$2). \quad EI y = \frac{440 \cdot x^3}{6} - \frac{251.40 \cdot x^4}{24} + C_1 \cdot x + C_2$$

$$y = \frac{1}{EI} \cdot \left[\frac{440 \cdot (1.75)^3}{6} - \frac{251.40 \cdot (1.75)^4}{24} - 449.19 \cdot 1.75 \right]$$

$$y = \frac{1}{EI} \cdot (393.02 - 98.24 - 786.08)$$

$$y = \frac{1}{EI} \cdot (-491.30)$$

$$y = - \frac{491.30}{1300000000 \cdot 0.000038} = -0.0099 \text{ m o } 9.9 \text{ mm}$$

La deformación obtenida en los ensayos fue de 6 mm, y la obtenida a través de la fórmula de 9mm, esta mínima diferencia puede deberse a la humedad y densidad que tengan las tablas de madera, las mismas que condicionan su elasticidad.

CONCLUSIONES

Desde los primeros asentamientos urbanos, sobre todo cuando se empezó a utilizar plantas consecutivas en las edificaciones, fue necesario materializar una división entre las mismas, de esta forma fueron varios los materiales usados a lo largo de la historia, esto es, madera, acero y hormigón. Estos materiales han sufrido varios intentos de modificación y variación con el fin de que su aporte a la edificación mejore su aspecto y rigidez, por lo tanto durabilidad y confort para los usuarios. Así las cosas, los forjados de entrepiso también fueron evolucionados con el tiempo y da cuenta de esto la presente investigación.

Los sistemas de forjado en sus inicios no necesariamente eran secos o prefabricados, incluso hasta el día de hoy, pues la forma de construir en nuestro medio no ha sustituido del todo el uso de materiales húmedos. Sin embargo fuera de nuestro medio, y a mi parecer, la madera y los forjados contruidos con este material son los que más investigación e innovación han concentrado por parte de los profesionales del campo, así mismo alrededor de este tema han sido desarrolladas y perfeccionadas otras técnicas como lo son uniones, elementos de sujeción, maquinarias y tecnología. Por lo tanto, me parece que al disponer de un forjado prefabricado seco, ligero y de rápida construcción, es posible innovar en nuestro medio con respecto al método tradicional de construcción.

Las principales funciones de un forjado son las de sostener las cargas de servicio, transmitir dichas cargas a la estructura principal y rigidizar la estructura, así como también dividir los espacios verticales y contribuir al confort en la edificación. Estos serían los mínimos requisitos que el forjado debe cumplir.

En lo personal haber adquirido el conocimiento con respecto a los sistemas de forjados secos; los materiales de construcción como también aquellos que procuran el confort térmico y acústico, la configuración estructural lineal de las placas mediante geometrías simples, ligeras y resistentes, el uso de la modulación para optimizar los recursos y diseñar espacios funcionales es un rudimento que quisiera destacar de la investigación realizada.

Durante la investigación del estado del arte destacué aspectos relevantes de los diferentes forjados secos de los cuales la mayoría se tomaron en cuenta para el diseño morfológico arquitectónico y estructural y se obtuvo como aporte un forjado prefabricado seco hecho de madera (como elemento soportante) y tablero estructural (como elemento de cierre) que es ligero, pues, la relación de porcentaje material-aire es 17 % y 83 % respectivamente; además, frente a la inversión tradicional es económico y soporta el mismo servicio. Otra novedad es la forma de construir entrepisos de luces moderadas que hasta hoy son hechos in situ a manera de entramados de madera, losas de hormigón o acero-hormigón.

Al sustituir en un cien por cien los materiales húmedos de construcción hay una mejora positiva respecto al tiempo que se debe esperar al construir con hormigón para que la losa entre en servicio, además; la ligereza de un forjado prefabricado seco promueve estructuras principales menos voluminosas y costosas optimizando la inversión de los materiales que las conforman y también la mano de obra, pues, se prescinde la construcción in situ y la puesta en obra de este forjado es relativamente sencilla y rápida.

Por si mismo el forjado propuesto, al ser construido de madera, no transmite las vibraciones de la forma que lo hace el acero que se utiliza en la construcción de losas de entrepiso; pues, el material es fibroso y poroso y absorbe las ondas sonoras producto de impactos sobre el piso como también los ruidos aéreos contribuyendo a un mejor confort acústico al interior de la vivienda. Por la misma razón expuesta anteriormente el confort térmico del forjado obtenido es eficaz.

Las dimensiones del forjado (3,60 x 0,60m) facilitan la modulación de espacios habitables funcionales y confortables, de igual manera son sencillos de transportar y manipular. La configuración de cajón y la altura del forjado facilitan el paso de las instalaciones sanitarias al interior del mismo y de manera oculta, así también las superficies que quedan a la vista no necesitarían de recubrimientos adicionales pues sirven de piso y cielorraso a la vez.

La innovación respecto a la tendencia actual de forjados secos constituye la simplificación del diseño y la sencillez de unión entre los elementos cuyo proceso productivo no involucra el uso de maquinarias costosas o tecnología de punta, de igual forma para su puesta en obra se prescinde del uso de grúas y mano de obra especializada.

La aplicación real del forjado se llevó a cabo en la construcción de un prototipo como resultado del proyecto de investigación: "Sustitución de sistemas y productos industriales no sustentables utilizados en la vivienda social y el urbanismo en el Ecuador por nuevos productos y sistemas innovadores" (Anexo A). Las placas fueron elaboradas a más de 150 km de distancia con respecto al sitio de construcción del proyecto e incorporarlas a la edificación fue relativamente sencillo interviniendo en el proceso dos personas sin el uso de grúas sino solamente andamios, todo el proceso duró alrededor de 30 minutos por planta y una vez instalado de inmediato entró en servicio. Se completó un área total de 26 metros cuadrados en dos plantas. De esta manera se pone en evidencia todos los aspectos positivos antes mencionados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos Web

- [1] Construmatica.com, (2006), "Construcción en Seco", Recuperado 2/9/2013 de http://www.construmatica.com/construpedia/Construcci%C3%B3n_en_Seco
- [2] Navarro, Jonatan V, (Junio,2009), "La evolución de los forjados de edificación hacia unas técnicas más competitivas económicamente", Tecnología y Construcción de Estructuras, Ingeniería de la Construcción, Universidad Politécnica de Catalunya, Tesis, Recuperado 5/09/2013 de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8534/1/00.pdf>
- [3] Novas Cabrera, Joel,(2010), "Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países de desarrollo", Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos, TESIS, Madrid, pág. 13, Recuperado 5/09/2013 de http://oa.upm.es/4514/1/TESIS_MASTER_JOEL_NOVAS_CABRERA.pdf
- [4] Juntadeandalucia.es (2010), "Forjado C, Sistema de forjado construido en seco", Recuperado 5/9/2013 de https://ws147.juntadeandalucia.es/obraspublicasyvivienda/davwebviv/Proyectos%20de%20Investigacion/09%20Sistema%20C/TOMO%20II%20BLOQUE%20C/08_PATENTE/Sistema_C.pdf
- [5] Peraza José E, et al.(1995), "Casas de Madera, Sistemas constructivos a base de madera aplicados a viviendas unifamiliares", Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho. AITIM, Recuperado 5/10/2013 de http://www.infomadera.net/uploads/descargas/archivo_4_Libro%20Casas%20de%20madera%20Sistemas%20constructivos.pdf
- [6] Corporación Chilena de la Madera AG, (2007), "Manual La Construcción de Viviendas en Madera, Capitulo II, Unidad 6, Sistemas Estructurales", Centro de Transferencia Tecnológica Corporación Chilena de la Madera, Chile, Recuperado 22/10/2013 de http://www.cttmadera.cl/wp-content/uploads/2007/03/unidad_6-sist_estruc.pdf
- [7] Guide Tecnique, (2010-2011), "Nailweb Web", Recuperado 13/12/2013 de <http://web.greg.free.fr/pnb-bois/inclus/frame/nailweb-guide.pdf>
- [8] Trus Joist TJI, (2014), "Joist Specifier's Guide", Recuperado 15/12/2013 de www.woodbywy.com/document/tj-4000/
- [9] SpaceJoist, (2007), "Floor Application Details", Recuperado 20/12/2013 de <http://www.statybulyga.lt/mokymai/medziaga/2007SpaceJoistDesignGuide.pdf>
- [10] Lignatur (2014), "Lignatur Workbook", Recuperado 5/1/2014 de <http://www.lignatur.ch/en/downloads/workbook/lignatur-workbook/>
- [11] Kielsteg Bauelemente, (2013), "Technical Specifications", Recuperado 10/1/2014 de <http://www.kielsteg.at/produktetails/?lang=en#licence-information>
- [12] Coronel C. Francisco, (2014), "Placas alveolares prefabricadas de madera para forjado y cubierta. Alternativa de uniones con pasadores de madera sin adhesivo", Barcelona, Recuperado 20/2/2015 de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/24535/1/20141210%20TFM%20Francisco%20%20Coronel%20C%3A1rdenas.pdf>

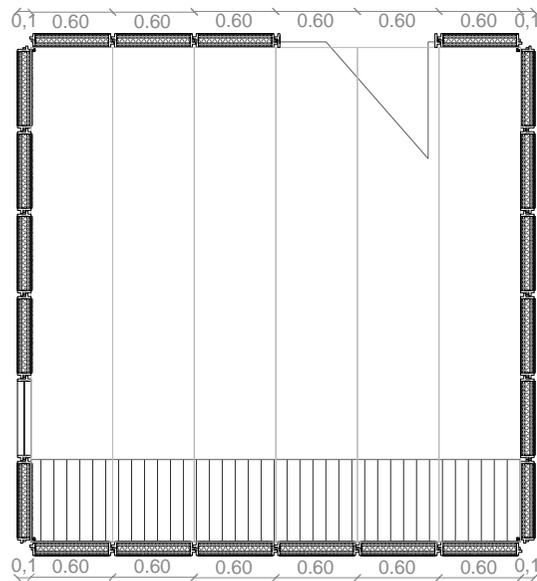
- [13] CBS-CBT, (2009), "Descriptif technique Wenus", Recuperado 25/01/2014 de <http://www.cbs-cbt.com/multimedia/documents/5340%20-%20Wenus%20-%20Descriptif%20technique.pdf>
- [14] CBS-CBT, (2011), "Descriptif technique O'portune", Recuperado 26/01/2014 de <http://www.cbs-cbt.com/multimedia/documents/5320%20-%20Oportune%20-%20Descriptif%20technique%202011.pdf>
- [15] CBS-CBT, (2011), "Descriptif technique D-Dalle", Recuperado 28/01/2014 de <http://www.cbs-cbt.com/multimedia/documents/5350%20-%20D-Dalle%20-%20Descriptif%20technique%202011.pdf>
- [16] CBS-CBT, (2011), "Descriptif technique Solivium", Recuperado 29/01/2014 de <http://www.cbs-cbt.com/multimedia/documents/5360%20-%20Solivium%20-%20Descriptif%20technique.pdf>
- [17] Freitas, A., Moraes de Crasto R.,(2006), "Steel Framing: Arquitectura", Rio de Janeiro, Recuperado 22/02/2014 de <http://www.construccionenacero.com/Articulos%20y%20Publicaciones/Steel%20Framing%20Arquitectura.pdf>
- [18] ArcelorMittal,(2008), "Guide Wish- Manual para viviendas con estructura de acero", Recuperado 1/02/2014 de http://www.construccion.com/repository/Publicaciones/Guide%20WISH/GuideWISH_ES_EN.pdf
- [19] ArcelorMittal, (2010), "Jump 45", Recuperado 10/02/2014 de http://ds.arcelormittal.com/repo/lionel%20pezzetti/armat%20france/Jump/Jump_web.pdf
- [20] Teoría de construcción.net (2012), "Aislamiento acústico", Recuperado el 5/9/2013 de <http://teoriadeconstruccion.net/blog/aislamiento-acustico-5-tecnicas-que-garantizaran-el-exito-de-tu-proyecto/>
- [21] ArcelorMittal,(2008), "Guía de sistemas de forjados Arval", Recuperado 20/02/2014 de <http://ds.arcelormittal.com/repo/lionel%20pezzetti/arval/arval%20template/Guia%20de%20forjados.pdf>
- [22] ArcelorMittal,(2008), "Guía de sistemas de forjados Arval", Recuperado 20/02/2014 de <http://ds.arcelormittal.com/repo/lionel%20pezzetti/arval/arval%20template/Guia%20de%20forjados.pdf>
- [23] Rubiera Predisa, (2005), "Placas Alveolares", Recuperado 27/02/2014 de <http://www.rubiera.com/docs/CRPlacasAlveolares.pdf>
- [24] Artepref,(2009), "Artplack", Recuperado 25/02/2014 de <http://www.artepref.com/descargas/catalogo-artplack.pdf>
- [25] Knauf Industries, (2007), "Construyendo el futuro con EPS", Modultherm, pag 16, Recuperado 1/03/2013 de <http://www.davsa.com/infoWeb%5CUnificador%5CCataleg%5C0401.pdf>
- [26] Corporación Chilena de la Madera AG, (2007), "Manual La Construcción de Viviendas en Madera, Capitulo I, Unidad 1, La Madera", Centro de Transferencia Tecnológica Corporación Chilena de la Madera, Chile, Recuperado 22/05/2015 de http://www.cttmadera.cl/wp-content/uploads/2007/03/unidad_1-madera.pdf
- [27] IES La Arboleada, "Tipos de Madera", Recuperado 25/05/2015 de <https://loskingsdelamadera.wordpress.com/tipos-de-madera/>
- [28] Interempresasnet, Madera, (2013), "Madera aserrada para uso estructural", Recuperado 1-6-2015 de <http://www.interempresas.net/Madera/Articulos/105399-Madera-aserrada-para-uso-estructural.html>

- [29] Construmática, "Hormigón prefabricado", Recuperado 25/05/2015 de http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n_Prefabricado
- [30] Wikipedia, "Hormigón pretensado", Recuperado 26/05/2015 de http://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n_pretensado
- [31] Arqhys Arquitectura, "Vigas Pretensadas", Recuperado 25/05/2015 de <http://www.arqhys.com/construccion/fotos/construccion/vigas-pretensadas.jpg>
- [32] Construmatica, "Acero", Recuperado 25/05/2015 de <http://www.construmatica.com/construpedia/Acero>
- [33] Maderas Besteiro, "Madera Estructural", Recuperado 15/02/2014 de <http://www.mbesteiro.com/es/madera.php#/madera-estructural>
- [34] Scribd, Giovanni Rosas, (2011), "Capítulo 8 Estructuras de concreto prefabricado", pág. 142, Recuperado 20/03/2014 de <http://es.scribd.com/doc/52458429/ESTRUCTURAS-DE-CONCRETO-PREFABRICADO#scribd>
- [35] Educa gratis, Curso de estructuras metálicas, Piezas de directriz recta sometidas a flexión, Recuperado 28/05/2015 de <http://www.educagratis.org/moodle/course/view.php?id=598>
- [36] ESJ, Exbeam, Recuperado 28/05/2015 de <http://www.esj.mx/c/ex-beam.html>
- [37] G&J Empresas de acero, "Joist Vigueta Estructural", Recuperado 28/05/2015 de http://www.gyferreterias.com/index.php?id_producto=17&controller=product
- [38] Confemadera, (2010), "Guía de Construir con Madera, Capitulo 0, Conceptos Básicos de la construcción con madera", Tableros estructurales derivados de la madera pág. 51-53, Recuperado 4/4/2014 de <http://www.confemadera.es/rs/99/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/dc5/filename/conceptos-basicos.pdf>
- [39] LP Buildings Products, (2013), "Catalogo Técnico OSB Home Estructural", Recuperado 22/03/2014 de http://lpchile.cl/files/catalogos%20t%C3%A9cnicos/LP_OSB_TEC_200213.pdf
- [40] Garay M, Silva S., (2011), "Comportamiento de tableros a base de madera, durante ensayos de atenuación ultrasónica", Revista de la Construcción Volumen 10 N° 3, Artículo05, p. 41-51, Santiago, Recuperado 24/03/2014 de <http://www.scielo.cl/pdf/rconst/v10n3/art05.pdf>
- [41] Plycem, (2013), "Manual de entrepiso" Recuperado 25/05/2015 de <http://www.plycem.com/wp-content/uploads/2013/07/Manual-de-inst-Entrepiso-web-25-feb-2015.pdf>
- [42] IVE Instituto Valenciano de la Edificación, (2011), "Cuadernos de rehabilitación, Producto y materiales. Propiedades de aislantes térmicas para rehabilitación energética", Recuperado 5/4/2014 de http://www.five.es/descargas/archivos/P1_portada.pdf
- [43] Tipos de Aislantes, (2014), Recuperado 1/5/2014 de <http://www.comoinsonorizar.com/p/tipos-de-aislantes.html>
- [44] EXB, (2010), "Seguridad y protección contra incendios", Recuperado 22/01/2014 de <http://www.exb.es/pasiva-prefacio-proteccion-fuego.php>
- [45] Madera Aserrada Estructural (2008), Recuperado 3-3-2015 de http://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/actividades/act_paginas/libro/35%20Madera%20aserrada%20estructural.pdf

- [46] García R (2013), "Diseño y comportamiento de uniones estructurales mecánicas y adhesivas. Condiciones superficiales y operacionales", Departamento de Ingeniería y Ciencia de materiales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, Madrid, pág. 36, Recuperado 3-3-2015 de http://oa.upm.es/22235/1/RICARDO_GARCIA_LEDESMA.pdf
- [47] INEN, Guía práctica. El diseño en el sistema de coordinación modular, Quito, Recuperado 20/11/2015 de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.gpe.41.1977.pdf>
- [48] Infomadera, "Comportamiento frente al fuego, Capítulo 3, Documento de aplicación del CTE", Recuperado 3-3-2015, de http://www.infomadera.net/uploads/descargas/archivo_17_Comportamiento%20al%20fuego%20CcM.pdf
- [49] Alvarez N. Humberto, "La Madera como aislamiento térmico", Recuperado 3/18/2015 de http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1177_17059.pdf?PHPSESSID=a151aa4a643b7f12cd632a074193d1da
- [50] Confemadera, (2004), "Guía práctica de especies de madera", Recuperado 10/4/15 de <http://www.confemadera.es/rs/34/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/be0/filename/guia-practica-de-especies-de-madera.pdf>
- [51] LP Building Productos, Recuperado 1/10/14 de <http://lpchile.cl/descargas/tecnicos/propiedades-osb-2009.pdf>
- [52] NEC-2015, Norma Ecuatoriana de la Construcción, (Dic-2014), "Cargas no sísmicas", pág. 29, Recuperado 21-6-2015 de [http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_CG_\(cargas_no_sismicas\).pdf](http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_CG_(cargas_no_sismicas).pdf)
- [53] Marinilli A., (2003) "Servicio Técnicos Especializados recientemente", Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Recuperado 20/11/2015 de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=s0376-723x2003000200005&script=sci_arttext



Grupo de trabajo del proyecto Foto: Felipe Cobos H.



Modulación 0.60 m en planta de la edificación construida

ANEXO A

APLICACIÓN DE LA PLACA

Participación en el proyecto de investigación: “Sustitución de sistemas y productos industriales no sustentables utilizados en la vivienda social y el urbanismo en el Ecuador por nuevos productos y sistemas innovadores”, del Centro de Postgrados de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca.

Consistió en la construcción de un prototipo utilizando dos sistemas prefabricados: Panel prefabricado de bahareque^a, como muros soportantes verticales y Forjado prefabricado seco, como primer piso y entrepiso, ambos tienen una modulación de 0.60 m, y se unieron entre sí mediante la utilización de vigas de madera.



Perspectiva del prototipo

^aVacancela Nina, (2015), “Paneles prefabricados de bahareque y aplicación a una vivienda”, Tesis, Facultad de Arquitectura, Universidad de Cuenca



Unión elementos prefabricados con vigas de madera

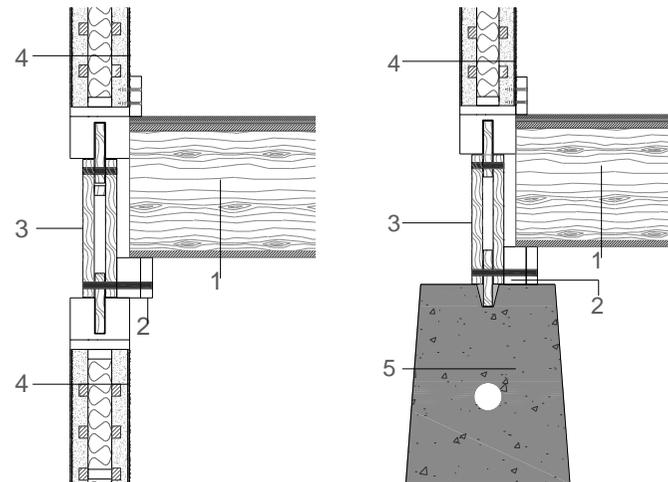


Corte unión entre placa y viga de madera

UNIÓN PLACA CON ESTRUCTURA

En este proyecto el forjado prefabricado sirvió de losa de primer piso y de entrepiso.

En ambos casos las placas se apoyaron sobre una pieza de madera de sección 6x7cm cuya longitud cubre todo el tramo, unidas a las vigas mediante pasadores de madera.



a. Detalle entrepiso

b. Detalle primera planta

- | | | | |
|----|---------------------------|----|--------------------|
| 0. | Forjado prefabricado seco | 3. | Panel de bahareque |
| 1. | Pieza de madera | 4. | Plinto de hormigón |
| 2. | Viga de madera | | |

Gráfico: Nina Vacancela^a

^aVacancela Nina, (2015), "Paneles prefabricados de bahareque y aplicación a una vivienda", Tesis, Facultad de Arquitectura, Universidad de Cuenca



Traslado de placas prefabricadas Foto: Felipe Cobos H

ARMADO Y MONTAJE

Las placas se colocaron secuencialmente sobre el elemento de soporte (pieza de madera de 7x6 cm) anclado a la vigas de madera, que fueron unidas entre sí de la manera expuesta en este trabajo. Para su armado no se requirió de mano de obra especializada, ni el uso de tecnología de punta. Debido al peso de la placa de 23.50 kg/m² el montaje se efectuó con dos personas en un lapso de 30 minutos aproximadamente.



Placas prefabricadas apoyadas en piezas de madera ancladas a vigas de madera.



Armado de placas entrepiso



FUNCIONAMIENTO

Luego del armado del forjado, la superficie entro en funcionamiento de manera inmediata, levantando los muros soportantes de bahareque, empleando para esto el uso de andamios dispuestos sobre el forjado.



Superficie para armado de muros



Uso de andamios para armar viga superior



Forjado como cielorraso

ACABADO

La superficie inferior del forjado sirvió de cielorraso, no requirió ningún tipo de recubrimiento, dejándose vista la secuencia de las placas.

La superficie superior sirvió de soporte para el material de revestimiento.

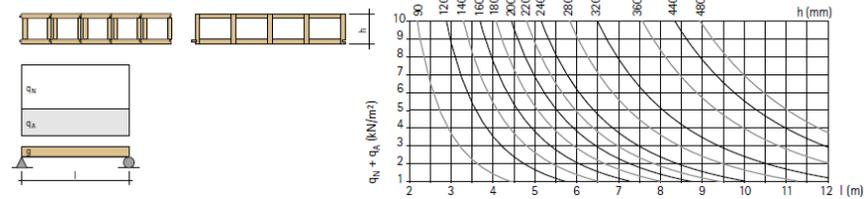


Forjado soporte de revestimiento

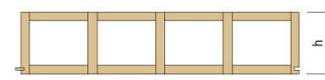
ANEXO B

Se exponen las gráficas correspondientes a los diferentes sistemas analizados.

Sistema Lignatur Surface



Estática preliminar



h (mm)	kg/m ²
120	33
140	35
160	36
180	38
200	39
220	41
240	42
280	45
320	48

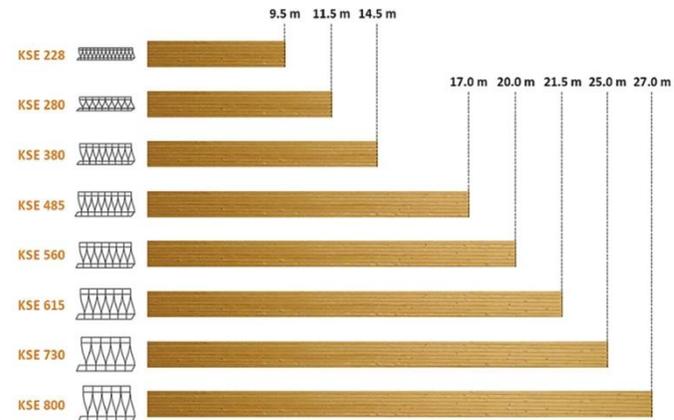
Altura y peso del elemento



		l (m)											
		4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	10	
 $q_k = 200\text{kg/m}^2$ $q_s = 0\text{kg/m}^2$ $g = 47\text{kg/m}^2$	h (mm)	120	140	160	180	200	220	280	280	320	-	-	
	w (mm)	8	8	9	9	10	11	7	9	9	-	-	
	 $q_k = 200\text{kg/m}^2$ $q_s = 36\text{kg/m}^2$ $g = 89\text{kg/m}^2$												
		h (mm)	140	180	200	220	280	280	320	360	360	440	-
		w (mm)	9	8	9	10	7	10	10	8	10	9	-

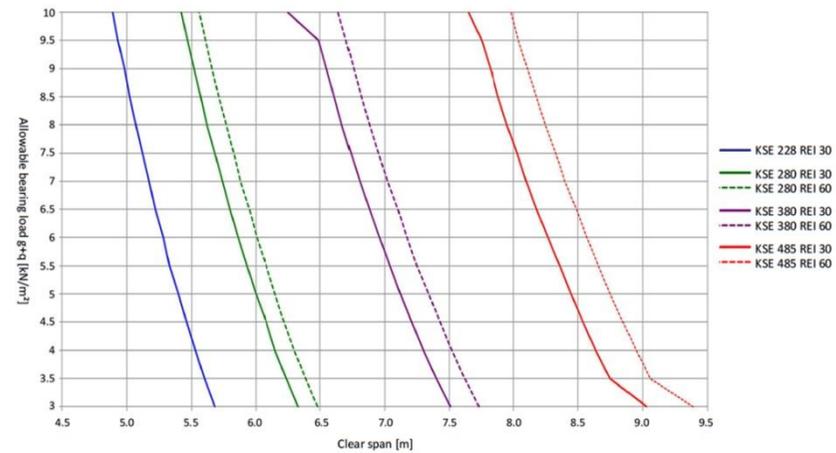
Estática de piso y carga muerta del elemento

Sistema Kielsteg



Altura del elemento y luces que cubre

Single-span beam under uniform gravity load, vibrational criteria as per DIN 1052 (Deformation due to quasi-permanent loads $w = 6 \text{ mm}$)



Resistencia de los elementos

Sistema Wenus

CHARACTERISTIC	VALUE	UNIT
Clear span	3-6	m
Cross section	35/180 - 60/240	mm
Dead load	30 - 50	kg/m ²
Live load	>= 250	kg/m ²
Timber strength class	C22 - C30	--
Fire resistance	30 - 90	mn
Storage of CO ₂	60 - 100	kg/m ²
Consumption of wood	< 0.10	m ³ /m ²

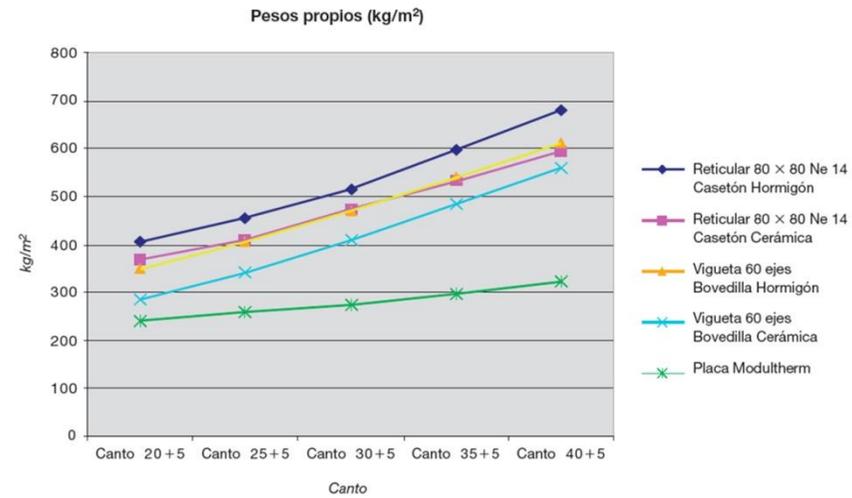
Características del elemento

Sistema O'portune

CHARACTERISTIC	VALUE	UNIT
Clear span	8 - 11	m
Cross section	40/175 - 60/240	mm
Dead load	80 - 100	kg/m ²
Live load	300 - 1000	kg/m ²
Timber strength class	C22 - C30	--
Fire resistance	30 - 90	mn
Storage of CO ₂	100 - 200	kg/m ²
Consumption of wood	0.15 - 0.24	m ³ /m ²

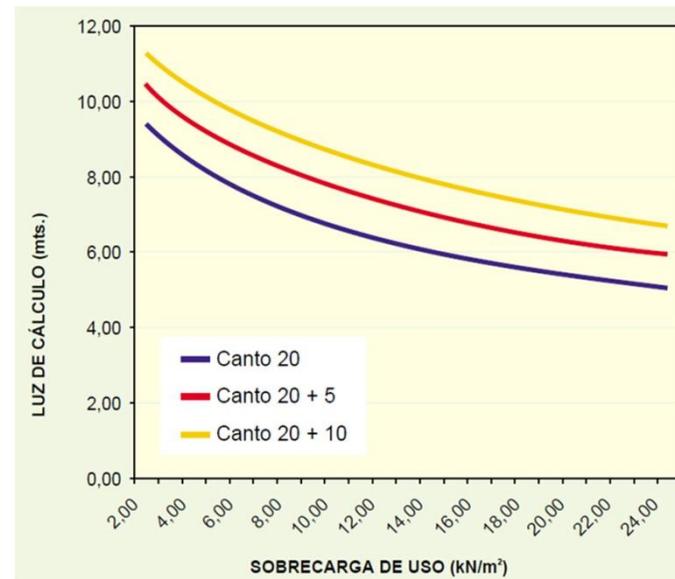
Característica del elemento

Sistema Modultherm



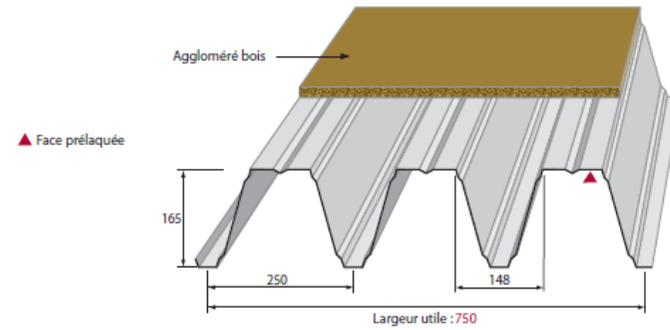
Pesos propios y cantos

Placa Alveolar



Sobrecarga de uso

Sistema Supportsol



CARACTERISTIQUE DU MATÉRIAU DE BASE		NORMES
Nuance d'acier	S 320 GD	NF EN 10326
Type de protection	Galvanisé	NF EN 10326 P 34-310
	Galvanisé-Prélaqué	NF EN 10169-1 XP P 34-301

EPAISSEUR	0,75	0,88	1,00	1,25
M kg/m ²	11,80	13,80	15,70	19,60

TABLEAU DES CHARGES MAXIMALES ADMISSIBLES en daN/m²
Compte tenu d'une charge permanente de 30 daN/m² (poids du platelage bois par ex.)

Portée (en m)	EPAISSEUR (mm)			
	0,75	0,88	1,00	1,25
	1,50	888	1047	1193
1,60	824	972	1110	-
1,70	768	906	1037	1302
1,80	718	847	971	1221
1,90	673	794	913	1148
2,00	632	747	860	1082
2,10	596	704	813	1022
2,20	563	665	769	968
2,30	532	629	730	919
2,40	505	597	694	874
2,50	479	567	660	832
2,60	444	526	629	794
2,70	425	504	601	758
2,80	408	483	575	725
2,90	392	464	550	694
3,00	377	447	527	665
3,10				

Portée (en m)	EPAISSEUR (mm)			
	0,75	0,88	1,00	1,25
	1,50	703	830	946
1,60	652	770	880	1107
1,70	607	717	821	1033
1,80	567	670	769	968
1,90	531	627	722	909
2,00	498	590	680	857
2,10	469	555	642	809
2,20	443	524	607	766
2,30	418	496	576	726
2,40	396	470	547	690
2,50	376	446	520	657
2,60	357	423	495	626
2,70	339	403	473	597
2,80	323	384	451	571
2,90	308	366	432	546
3,00	294	349	413	523
3,10	283	336	396	502

Resistencia del elemento