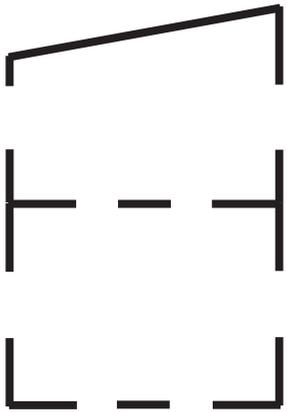


UNIVERSIDAD DE CUENCA / FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
AUTORES: LUIS ANTONIO FERNÁNDEZ PARRA / CRISTINA GABRIELA LUCERO POLETE
/ DIRECTOR: ARQ. MSC. PABLO ARMANDO LEÓN GONZÁLEZ. / ENERO 2017 /

**DESARROLLO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL DE
COSTILLAS CON ELEMENTOS LAMINARES DE MADERA**
VIVIENDA SOCIAL in . Lab CUENCA



TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE ARQUITECTO

**DESARROLLO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL DE
COSTILLAS CON ELEMENTOS LAMINARES DE MADERA
V I V I E N D A S O C I A L i n . L a b C u e n c a**

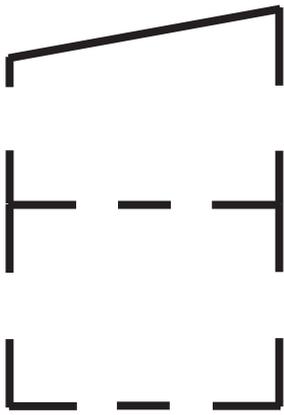
UNIVERSIDAD DE CUENCA / FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

AUTORES: **LUIS ANTONIO FERNÁNDEZ PARRA / CRISTINA GABRIELA LUCERO POBLETE**

.....DIRECTOR DE TESIS: ARQ. MSC. 5FA 5B8C PABLO LEÓN GC BÑ @N

.....CODIRECTOR DE TESIS: ARQ. MSC. JUAN PABLO ASTUDILLO C.

ENERO 2017



RESUMEN

El estudio se centra en un sistema estructural de costillas, su lógica de funcionamiento, y capacidad estructurante. Se entiende al sistema como un elemento integral de la construcción que satisface a la vez la función de cerramiento y estructura. Este sistema estable y resistente puede ser usado para plantear un prototipo de vivienda de bajo costo.

Para una completa comprensión del sistema que se pretende diseñar, se lleva a cabo el análisis de casos de estudio centrados en la estructura (sistema de costillas) y su función. Se analiza circunstancias constructivas de montaje y anclaje, secciones mínimas, materiales empleados, y a la vez las posibilidades técnicas que éstos brindan.

Luego de una exploración de las condiciones técnicas de la madera en nuestro medio, y en base al entendimiento de criterios de la Norma Ecuatoriana de la Construcción – Estructuras de Madera (NEC–SE-MD)y de la normativa que dicta el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino PADT REFORT, se determina la especie de madera más adecuada para emplearla en la estructura de la edificación.

Una vez comprendida la lógica de funcionamiento y establecidas las pautas de diseño, se procede a la construcción de un prototipo a escala reducida. El mismo que se somete a comprobaciones técnicas y de laboratorio, concluyendo con la edificación del diseño aprobado, a escala: 1:2.

De esta manera, se tiene como resultado el desarrollo de un prototipo final

de un sistema estructural de costillas con elementos laminares de madera, el mismo que permite la innovación en cuanto a sistemas constructivos empleados en la construcción de viviendas en la ciudad, y de manera específica de vivienda social en Cuenca.

Para permitir la autoconstrucción controlada, el diseño del sistema constructivo se basa en el uso de materiales locales accesibles, además de proporcionar un manual constructivo y las especificaciones técnicas del prototipo final.

PALABRAS CLAVE

Vivienda social, experimentación, sistema constructivo, elementos laminares de madera, construcción en madera, secciones laminares, sistema estructural de costillas.



ABSTRACT

The study is focused on a ribbed structural system, its operating logic, and structuring ability. The system is understood as an integral construction element that satisfies at the same time the function of enclosure and structure. This stable and rugged system can be used to propose a low-cost housing prototype.

For a complete understanding of the system to be designed, the study cases analysis focused on the structure (ribs system) and its function. The study takes into account assembly and anchoring constructive circumstances, minimum cross sections, possible employed materials, and at the same time the technical possibilities that this system provides.

After wood's technical conditions exploration in our environment, and based on the understanding of the "Norma Ecuatoriana de la Construcción – Estructuras de Madera (NEC–SE-MD)" criteria, and regulations issued by "Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino PADT REFORT". The most suitable species of wood is determined for use it in the building structure.

Once the operating logic is understood and the design guidelines were established, a reduced scale prototype is built. This design is submitted to technical and laboratory tests, concluding with the construction of the approved design, to scale: 1: 2.

In this way, the result is the development of a final prototype of a structural system of ribs with wood laminates, which allows for innovation in the

construction system used in the construction of buildings in the city, and in a specific way Cuenca's building system.

To allow controlled self-construction, the building system's design is based on the use of accessible local materials, as well as providing a constructive manual and the technical specifications of the final prototype.

KEYWORDS

Social housing, experimentation, Construction system, Laminated wood, Wood construction, Laminar sections, Structural system of ribs.

ÍNDICE

ANTECEDENTES in.Lab	21
OBJETIVOS in.Lab	23
GENERAL	23
ESPECÍFICOS	23
ANTECEDENTES	27
GLOSARIO	29
INTRODUCCIÓN	31
OBJETIVOS	33
GENERAL	33
ESPECÍFICOS	33
METODOLOGÍA	35
HIPÓTESIS	37

CAPITULO I Marco Teórico

1.1 Introducción	43
1.2 Análisis, descripción y ejemplos de sistemas estructurales de costillas	44
1.2.1 Lancha tipo 5,2m	46
a. Especificaciones técnicas.....	46
b. Descripción de la estructura del objeto.....	47
c. Estudio de elementos constituyentes.....	48
c.1 Elementos	48
c.2 Uniones	49
c.3 Características físicas de los materiales	52
d. Lógicas de trabajo del sistema estructural	54
d.1 Elementos constituyentes de la estructura	54
d.2 Estructura	55
1.2.2 Monoplano Chilton	58
a. Especificaciones técnicas.....	58
b. Descripción de la estructura del objeto.....	58
c. Estudio de elementos constituyentes.....	59
c.1 Elementos	59
c.2 Uniones	60
c.3 Características físicas de los materiales	64

d. Lógicas de trabajo del sistema estructural.....	66
d.1 Elementos constituyentes de la estructura.....	66
d.2 Estructura.....	67
1.2.3 Validación de Criterios.....	69
1.3 Elementos laminares.....	70
1.4 Diagnóstico y análisis de los recursos madereros y especies comercializadas en la ciudad de Cuenca.....	73
1.4.1 Justificación del material a usar.....	74
1.4.2 La producción de madera en el Ecuador, control forestal y certificación nacional.....	76
a. Realidad actual de los recursos provinciales.....	78
1.4.3 Análisis cualitativo y cuantitativo de elementos de madera en el mercado de Cuenca.....	79
a. Tipos de madera que se ofertan en el mercado de Cuenca.....	80
b. Análisis de propiedades físicas y mecánicas de las maderas más ofertadas en el mercado de Cuenca.....	82
b.1 Propiedades físicas.....	84
b.2 Propiedades mecánicas.....	85
c. Ventajas y desventajas de las maderas ensayadas.....	87
1.4.4 Análisis de secciones efectivas de trabajo.....	91
1.4.5 Determinación de recomendaciones y cuidados de la madera estructural.....	93
1.4.6 Validación de criterios.....	96
1.5 Lógica de funcionamientos del sistema de costillas.....	100
1.6 Conclusiones.....	103
1.7 Bibliografía.....	104

CAPITULO II Caso de estudio

2.1 Introducción.....	113
2.2 WikiHouse.....	114
2.2.1 Especificaciones técnicas.....	114
2.2.2 Descripción de la estructura del objeto.....	114
2.2.3 Estudio de elementos constituyentes.....	116
a. Elementos.....	116
b. Uniones.....	118
c. Características físicas de los materiales.....	123
2.2.4 Lógica de trabajo de cada elemento constituyente del sistema estructural de costillas.....	126
a. Elementos constituyentes de la estructura.....	126

b. Estructura.....	127
2.2.5 Planos - imágenes - volumetrías.....	128
2.3 Análisis y comparación de ejemplos de sistemas estructurales y caso de estudio.....	131
2.4 Conclusiones	135
2.5 Bibliografía	136

CAPITULO III Propuesta, experimentación y comprobación

Antecedentes.....	143
3.1 Introducción.....	153
3.2 Pautas de diseño.....	154
3.2.1 Marco normativo	154
3.2.2 Sistema constructivo.....	156
a. Cimentación.....	156
b. Estructura	157
c. Uniones	158
d. Elementos de cierre	159
3.2.3 Validación de criterios de pautas de diseño.....	164
3.3 Descripción de la propuesta.....	166
3.3.1 Lógica del sistema estructural.....	166
a. Lógica de armado.....	166
b. Lógica de funcionamiento.....	168
3.3.2 Morfología y consideraciones de diseño.....	169
a. Cubierta.....	169
b. Edificación	170
3.3.3 Proceso experimental de diseño en modelos a escala reducida.....	172
a. Primera propuesta	172
b. Segunda Propuesta.....	174
c. Comparación de propuestas	176
3.3.4 Prototipo Final	178
a. Estructura y revestimiento de la edificación.....	179
b. Estructura y revestimiento de cubierta.....	182
c. Modulación del material.....	183
d. Confort térmico	185
3.3.5 Comprobación a través de medios digitales.....	188



a. Datos para el análisis.....	188
a.1 Datos generales de diseño.....	188
a.2 Datos cálculo de elementos de costilla tipo vigas.....	189
a.3 Datos cálculo de viguetas.....	190
a.4 Datos cálculo de elemento de costillas tipo columnas.....	191
b. Cálculos.....	192
b.1 Cálculo de elementos de costilla tipo vigas.....	192
b.2 Cálculo de Viguetas.....	193
b.3 Cálculo de elemento de costillas tipo columnas.....	194
b.4 Cálculo de número Clavos.....	195
c. Dimensionamiento de piezas.....	197
3.3.6 Construcción de una sección del prototipo final a escala 1:2.....	201
3.3.7 Pruebas experimentales de laboratorio.....	218
3.3.8 Diseño estructural.....	223
a. Plantas arquitectónicas.....	223
b. Plantas estructurales.....	237
c. Secciones y detalles constructivos.....	249
d. Plantas de instalaciones.....	267
e. Perspectivas.....	273
3.4 Conclusiones.....	293
3.5 Bibliografía.....	294

CAPITULO IV Presupuesto y Manual constructivo

4.1 Presupuesto final del sistema estructural.....	301
4.1.1 Análisis de costos.....	304
4.2 Desarrollo del manual constructivo del sistema estructural de costillas.....	305
4.2.1 Especificaciones técnicas de construcción.....	305
CONCLUSIONES.....	307
VENTAJAS.....	309
DESVENTAJAS.....	310
RECOMENDACIONES.....	311
LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	312



Universidad de Cuenca
Cláusula de propiedad intelectual

Yo, Luis Antonio Fernández Parra, autor de la tesis "Desarrollo de un sistema estructural de costillas con elementos laminares de madera: Vivienda social In.Lab Cuenca.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 04 de Enero del 2017

Luis Antonio Fernández Parra
CI: 0104563184



Universidad de Cuenca
Cláusula de derechos de autor

Yo, Luis Antonio Fernández Parra, autor de la tesis "Desarrollo de un sistema estructural de costillas con elementos laminares de madera: Vivienda social In.Lab Cuenca.", 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 Arquitecto. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 04 de Enero del 2017

Luis Antonio Fernández Parra
CI: 0104563184



Universidad de Cuenca
Cláusula de propiedad intelectual

Yo, Cristina Gabriela Lucero Poblete, autora de la tesis "Desarrollo de un sistema estructural de costillas con elementos laminares de madera: Vivienda social In.Lab Cuenca.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 04 de Enero del 2017


Cristina Gabriela Lucero Poblete
CI: 0104988431

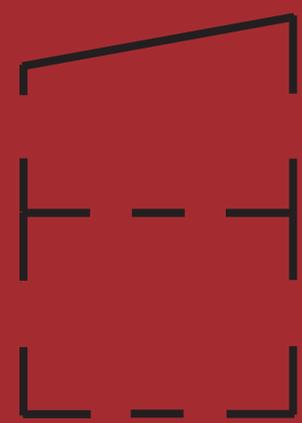


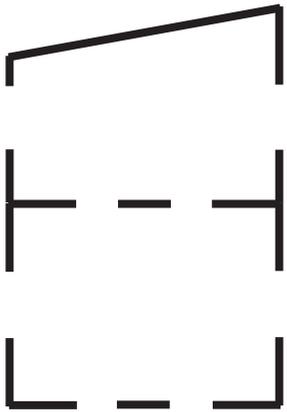
Universidad de Cuenca
Cláusula de derechos de autor

Yo, Cristina Gabriela Lucero Poblete, autora de la tesis "Desarrollo de un sistema estructural de costillas con elementos laminares de madera: Vivienda social In.Lab Cuenca.", 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 Arquitecta. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 04 de Enero del 2017

Cristina Gabriela Lucero Poblete
CI: 0104988431





Dedicatorias:

A Raquel, Patricio y Sebastián gracias por su apoyo incondicional.

Luis Antonio

A Dios por darme la fortaleza y sabiduría para seguir adelante, a Isabel por su paciencia y amor, a Diego Andrés, Paola, Valentina y Sebastián, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible.

Cristina

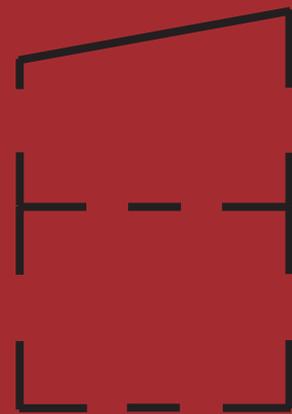
Agradecimientos:

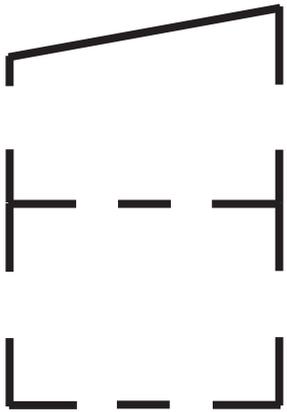
Arq. Juan Pablo Astudillo

Quien ha estado constantemente acompañando el desarrollo de éste trabajo de grado, con paciencia, entrega y la mejor disposición para compartir su conocimiento, experiencias y sobre todo tiempo. Gracias por su gran apoyo.

Arq. Edison Castillo
Ing. Patricio Cevallos
Arq. Pablo León
Arq. Cesar Piedra
Arq. Gabriela Pozo
Ing. Xavier Cárdenas

A todos nuestros amigos que estuvieron junto a nosotros en toda la carrera y en el proceso de desarrollo del trabajo de graduación, gracias por todas las experiencias compartidas.







ANTECEDENTES in. Lab Cuenca

"In.Lab es un centro de producción y fabricación de sistemas y prototipos, basados en la innovación generada por la investigación aplicada y asociados a la producción arquitectónica y la sostenibilidad. Su principal objetivo es el de potenciar las habilidades de invención y creatividad para la producción de soluciones reales vinculadas a las necesidades de la colectividad, busca entregar a la misma las herramientas necesarias para que generen su propio desarrollo, así como el impulso de microempresas comunitarias.

El Laboratorio tiene una clara orientación social pues hace posible una vinculación directa entre la colectividad, sus necesidades, la academia y la investigación aplicada, además de formar grupos de apoyo para la construcción de objetos, o estructuras a escala natural en poblaciones, comunidades o grupos vulnerables. Sirve como plataforma para la creación y seguimiento de proyectos de investigación generados a través de las cátedras impartidas en las diferentes escuelas y facultades de las universidades de la región, grupos de investigación, tesis de pregrado y postgrado y su aplicación en la solución de problemas reales.

Además ofrece programas educativos propios que permitan a estudiantes, profesionales y público en general acceder a la instrucción sobre procesos de innovación, investigación aplicada y emprendimiento.

In.Lab pretende convertirse en un centro de desarrollo local y regional de innovación y tecnología aplicada, en el desarrollo de propuestas que solucionen la problemática del usuario, generando procesos que faciliten la generación de sus propios objetos o productos. Partiendo de una vinculación con la empresa privada, las empresas e instituciones públicas, la academia y la comunidad." (Astudillo, J.P.)



UN AHÍ CONCRETO...¡

in.lab Cuenca / Enea Manta 2015 / Los Colorados

OBJETIVOS in. Lab Cuenca

GENERAL

“El objetivo principal del In.Lab, es servir como plataforma para la creación y seguimiento de proyectos de investigación y su posterior aplicación, formando grupos de apoyo para la construcción de objetos, o estructuras a escala natural en poblaciones, comunidades o grupos vulnerables, en la solución de problemas reales, para ello ha realizado y se encuentra realizando proyectos de investigación y aplicación inmediata en comunidades cercanas a la región.” (Astudillo, J.P.)

ESPECÍFICOS

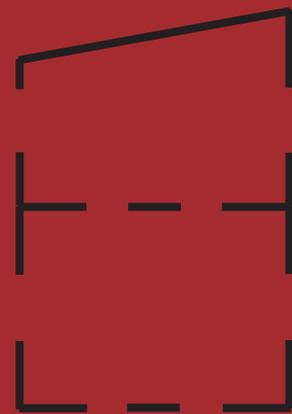
01 “En la localidad el In.Lab ha desarrollado y se encuentra generando vínculos a través de asociaciones estratégicas para el desarrollo de prototipos y patentes con empresas y microempresas de la región, así como programas y cursos sobre innovación y emprendimiento.

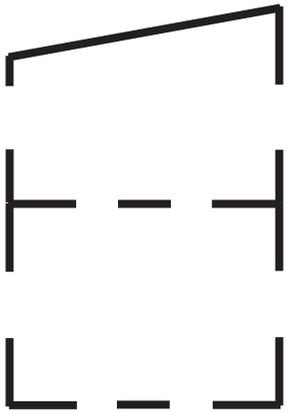
02 En el mundo, In.Lab pretende estrechar relaciones con la comunidad internacional, tanto de académicos, Fab Labs, Inversionistas y centros de investigación de todo el mundo, es muy importante para nosotros la difusión del conocimiento, tanto para la comunidad académica antes mencionada, como para la comunidad en general, ávida de soluciones para la mejora de su calidad de vida, siendo una regla de ética y moral el respeto a la propiedad intelectual de los proyectos que se generen dentro de éste espacio.” (Ibídem)



Puesto de salud en Surtiak

fotografía: Felipe Cobos-Hermida





ANTECEDENTES

La arquitectura misma nace de la necesidad de brindar al ser humano las mejores condiciones de habitabilidad, sin embargo, por factores socioeconómicos, se ha obligado a promotores inmobiliarios a dar soluciones menos coherentes de acuerdo a su principal objetivo.

Para un grupo familiar que tiene ingresos económicos precarios, la posibilidad de tener acceso a un préstamo y poder financiarlo se vuelve nula. Por lo que deben acudir a terrenos informales de costos reducidos, por ello adquieren viviendas incompletas, sin la posibilidad de tener espacios necesarios para realizar actividades productivas y sumergiéndose consecuentemente en el sector informal (G. Samper, 2001).

Al analizar la situación socioeconómica de las familias del Ecuador, se constata que los sueldos percibidos en una familia tipo (4 personas) no dan la posibilidad de ahorro dentro del núcleo familiar. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en el 2016, el costo de la canasta básica familiar se ubicó en \$628,27, mientras que el ingreso familiar promedio de los ecuatorianos alcanzó \$634,70. Entonces, se afirma que esta cantidad satisface únicamente la adquisición de una canasta básica, sin posibilidad de solventar un crédito bancario.

Según datos del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) en el 2013, se registra que 840 personas de bajos recursos en la ciudad de Cuenca, fueron beneficiarios del bono de la vivienda de \$5.000. Éste valor les permitió acceder a 168 edificaciones con costo total de obra de \$20.000. Pero al comparar estos valores con los mencionados anteriormente se muestra una gran incoherencia, pues los costos de vivienda planteados son altos y no van dirigidos al grupo expuesto previamente.

La vivienda de interés social surge como intento para superar la insuficiencia

cuantitativa presente en la mayoría de países latinoamericanos, y resulta alarmante que durante tantos años no se haya dado solución satisfactoria a esta problemática. Actualmente, estas respuestas apuntan a la reducción de espacios interiores, manteniendo los mismos sistemas constructivos con los que se puede construir cualquier edificación, y es ahí donde se evidencia el problema fundamental.

La inexistencia de innovación en materiales y sistemas constructivos, recae en costos de construcción aún altos, por lo que, la solución apunta a investigar y experimentar tecnológicamente, manteniendo espacios adecuados para las diversas actividades que se desarrollan dentro de una vivienda.

La construcción de la vivienda social debe ser realizada mediante la autoconstrucción de acuerdo a lo que señala Samper, las viviendas deberían tener diseños que permitan a sus propietarios la construcción de espacios con tres atributos principales: "autoconstrucción, desarrollo progresivo y vivienda productiva" (G. Samper. 2002, p.16). Partiendo de estos planteamientos, se establece la concepción de la vivienda mediante autoconstrucción y desde el sistema constructivo, en este caso en específico, a partir de la estructura con un sistema de costillas con elementos laminares de madera, adaptada a la vivienda propuesta en la investigación del laboratorio in.Lab Cuenca.

El término "costillas con elementos laminares" ya ha sido empleado en la arquitectura, como se puede evidenciar en el "Veneer House Project", del arquitecto Hiroto Kobayashi, proyecto arquitectónico formulado en base a "costillas". A pesar de ello, este sistema ha sido poco desarrollado y replicado en edificaciones destinadas a la vivienda, por lo que, la propuesta de diseño estructural se fundamenta como solución viable para concebir la vivienda social apuntando al parámetro principal de concepción del mismo, la economía, buscando abaratar los precios de la construcción.

GLOSARIO

Costilla: Piezas o elemento estructural.

Elementos: Parte constitutiva o integrante de algo. (Real Academia Española, 2014, 23ª ed.)

Elementos laminares: Parte constitutiva de una estructura, con sección mínima.

Laminar: Pieza de pequeño espesor en comparación con sus otras dos dimensiones predominantes.

Madera laminada: Piezas constituidas por varias láminas de espesores menores, manteniendo la dirección de la fibra, unidas con adhesivos de alta resistencia.

Sección laminar: Proporción de un elemento que presenta una área menor.

Sistema: Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto. (Real Academia Española, 2014, 23ª ed.)

Sistema estructural: Conjunto de elementos que resisten grandes cargas, no se puede prescindir de ningún elemento que conforma el sistema.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de titulación desarrollado está vinculado con el proyecto de experimentación para “Vivienda social”, enmarcado dentro del grupo de investigación In.Lab Cuenca, el cual es un centro de producción y fabricación de sistemas y prototipos basados en la innovación y experimentación generada por la investigación aplicada y asociados a la producción arquitectónica y la sostenibilidad.

La necesidad determinada en la investigación del grupo antes citado, es por generar independencia entre el usuario y el mercado inmobiliario, y de esta manera permitir la elección del material para construir sus viviendas. Por lo que la investigación se basa en la experimentación e innovación con el material que se tiene a la mano, en este caso la madera, permitiendo disminuir costos en la construcción.

El diseño del programa arquitectónico de la vivienda social ha sido desarrollado en dos tesis enmarcadas dentro del grupo de investigación del in.Lab Cuenca, donde se da a conocer que no existe un sistema constructivo acorde a las necesidades de éste sector de la población al cual va dirigida la vivienda social, y se concluye en la investigación que “Es posible emplear un sistema constructivo enmarcado en criterios sostenibles para Cuenca y mantener condiciones de confort, a partir de mejorar y desarrollar sistemas constructivos (...)” (Cherrez, Maldonado, Pozo, 2015, p. 306), lo cual ha dado luces para que se piense desde el sistema constructivo, en este caso el sistema estructural, para generar soluciones innovadoras y aplicables a la vivienda en general, y en la investigación, a la de carácter social en específico.

Por esta razón se da una búsqueda de nuevas formas que guíen en el diseño de un sistema estructural de costillas con elementos laminares de madera, para la vivienda social en Cuenca. Es así que para entender el funcionamiento que adoptará la propuesta se analizan casos de estudio fundamentados en el sistema estructural, su lógica de funcionamiento, y el estudio de elementos que dispuestos cada cierto tramo y de ciertas dimensiones mínimas logran soportar cargas tanto longitudinales como transversales.

Para ello el material utilizado apunta a conceptos de sostenibilidad, usando materiales del entorno con énfasis en lo ambiental, económico y social; se analizan las especies de maderas existentes en el medio en base a costos, secciones eficientes y elementos empleados para sus ensambles.

Finalmente se concluye con el diseño y concreción del prototipo final y un manual de construcción del sistema estructural, que pueda edificar la vivienda de manera autoconstruible con mano de obra no calificada, de manera fácil y económica, y mediante una asesoría propuesta por el grupo de investigación.



OBJETIVOS

GENERAL

Desarrollar y analizar un sistema estructural de costillas a través de la experimentación con elementos de madera laminados que permitan una eficiencia estructural y de costos dentro de la vivienda social del laboratorio *In.Lab* Cuenca.

ESPECÍFICOS

- 01** Determinar los diferentes tipos de madera y secciones más eficientes (estructurales y económicas), mediante un análisis cualitativo y cuantitativo en el mercado de Cuenca.
- 02** Conocer y comprender la lógica y la geometría del sistema estructural de costilla.
- 03** Generar, experimentar y proponer el diseño de un sistema estructural de costillas con elementos laminados en madera para lograr luces que brinden flexibilidad en la vivienda social propuesta en el laboratorio *In.Lab* Cuenca.
- 04** Desarrollar un manual constructivo de un sistema estructural de costillas para su futura construcción por parte del usuario de la vivienda social de Cuenca.

METODOLOGÍA

Para éste trabajo de titulación se ha planteado abordar la investigación por medio de cuatro momentos de los cuales en la primera fase se desarrolla un marco teórico para comprender la lógica de funcionamiento del sistema de costillas, así como también llegar al entendimiento de la terminología que se empleará durante la investigación, a la vez se determina que el análisis del material a emplear es fundamental, por ello se hace un estudio en campo y ensayos en laboratorio para determinar la especie apta para le uso del sistema que se pretende diseñar.

Como segunda fase se analiza un caso de estudio donde se ha aplicado el sistema y se culmina esta etapa con fundamentos teóricos claves para el posterior diseño.

Es así que se continúa la investigación determinando ciertas pautas de diseño donde se analiza la normativa vigente y se procede al diseño experimental con maquetas a escala reducida que servirán para la concreción de la propuesta final donde se analizan todos los aciertos encontrados y se aplican en la propuesta final, la misma que es llevada a cabo con la asesoría de técnicos especializados en estructuras de madera. Se realizan los cálculos y dimensionamientos de las piezas conformantes del sistema y se concluye con la construcción del prototipo a escala 1:2 para comprobar su eficacia y realizar ensayos experimentales para verificar su estabilidad.

Se concluye la investigación con el presupuesto final del sistema desarrollado y se proporciona un manual constructivo para la aplicación de dicho sistema en la vivienda social.

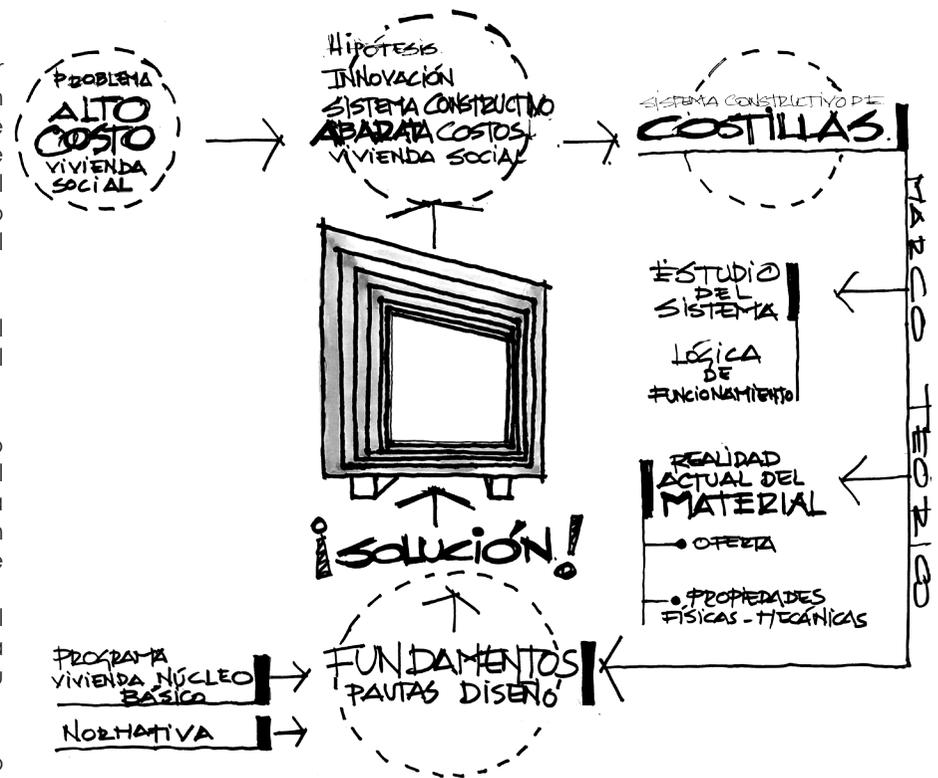


Gráfico esquemático de la metodología adoptada



HIPÓTESIS

¿La vivienda social puede ser construida a través de elementos laminares de madera?

“Cada material impone al diseño leyes que le son inexorables”
Rogelio Salmons





Capítulo I

Marco Teórico



1.1 Introducción

El sistema de costillas tiene su nombre a partir de su empleo en los barcos y aeroplanos, surgiendo éste por la necesidad de emplear estructuras resistentes pero a la vez livianas. En cada uno de los ejemplos que se analiza tanto de una lancha como de un aeroplano, las fuerzas que soportan son diferentes, por lo que es de interés determinar lineamientos dentro de los sistemas empleados en cada una de las soluciones y de esta manera concluir con una diversidad de criterios para comprender la lógica de funcionamiento del sistema de costillas, el mismo que guiará el diseño del sistema constructivo.

Se analizan y describe las partes constituyentes a las que se encuentran sometida la estructura en cada caso, determinando uniones y material de construcción según sus propiedades físicas, los mismos que serán muy útiles al momento de ser aplicados al diseñar la estructura de la vivienda.

Como siguiente paso se fundamenta la terminología que guiará la investigación donde se empleará elementos laminares, los mismos que deben ser comprendidos tanto en terminología como en su constitución física para aplicar correctamente en la experimentación del diseño al cual se quiere llegar, una vez obtenidos los parámetros fundamentales para la comprensión del sistema de costillas se procede a analizar el material a usar.

Se determina que el material con el cual se edificará la vivienda debe presentar las mejores características físicas y mecánicas, por lo que es primordial estudiarlo para comprender su constitución y así optar por la mejor especie de madera que se oferta en la ciudad de Cuenca, teniendo en

cuenta parámetros de sostenibilidad y sobre todo de economía y resistencia.

Es así, que se concluye con fundamentos básicos para comprender la lógica del sistema estructural de costilla, así como el conocimiento de las características físicas y mecánicas del material a utilizar.

1.2 Análisis, descripción y ejemplos de sistemas estructurales de costillas

Para poder proponer un sistema estructural de cualquier tipo de funcionamiento y material, es importante conocer primero dos ámbitos, la lógica estructural del sistema y las características mecánicas del material.

El sistema estructurante de costillas proviene de la industria naval y la aeronáutica, en ambos casos ha sido utilizada por varios siglos hasta la actualidad, sin embargo en la arquitectura e ingeniería ha sido introducida recientemente. Pese a una exhaustiva búsqueda, no se han encontrado numerosos referentes que apliquen este sistema estructural en viviendas. Por lo que se ha decidido, desarrollar dos ejemplos en los que se ha fundamentado la lógica de éste sistema, una lancha y un monoplano.

La elección de dichos casos de estudio se basó principalmente en función a que la comprensión de la lógica estructural del sistema sea la mejor posible, para ello, se optó por el estudio de referentes que hayan sido los más comunes y se encuentren entre los más reproducidos a lo largo del tiempo, siendo consecuentemente los más aceptados por su buen comportamiento

estructural, además se buscó ejemplos en los que se replique la autoconstrucción como un medio para abaratar costos de construcción, recayendo evidentemente en sistemas sencillos.

Se tiene claro que el principio estructural no varía por el tamaño de la embarcación o aeronave, y por consiguiente, el aprendizaje es mayor al analizar muestras de tamaño pequeño y de complejidad menor.

Para entender el funcionamiento de una estructura, se parte de dos análisis concretos: primero el estudio de las partes conformantes del sistema, y segundo el comprender el papel que desempeña cada uno de estos elementos en el todo estructurante. Luego, para entender el sistema constructivo de cada estructura, se lleva a cabo un acercamiento en ámbitos como materialidad, dimensiones de los elementos, uniones y lógica de funcionamiento estructural.

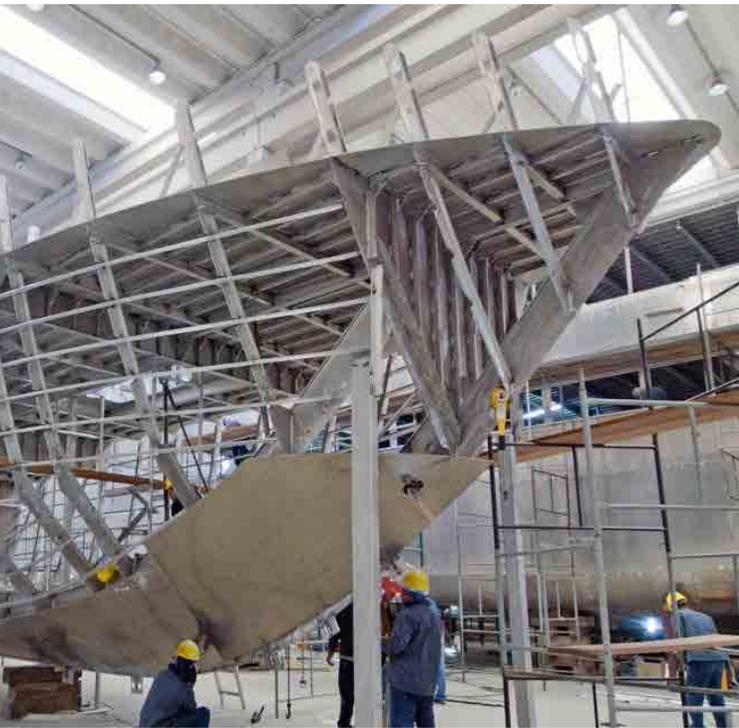
Se cree que el conocimiento íntegro del funcionamiento de estas estructuras, desde la forma de trabajo hasta el cómo se encuentran

constituidas, proveerá las herramientas suficientes para llevar a cabo el diseño de un sistema estructural aplicado a viviendas de carácter social.

Figura 01: Construcción de una embarcación. [mcpyachts.com.br. Chapas de Aluminio. http://www.mcpyachts.com.br/chapas-de-aluminio.html](http://mcpyachts.com.br/Chapas-de-Aluminio.html) [Consultado: 01 de septiembre del 2016]

Figura 02: Construcción de un avión. [aviacionargentina.net. Airbus se va a la guerra. http://www.aviacionargentina.net/foros/sistemas-de-armas.26/388-airbus-se-va-la-guerra.html](http://www.aviacionargentina.net/foros/sistemas-de-armas.26/388-airbus-se-va-la-guerra.html) [Consultado: 01 de septiembre del 2016]

Figura 03: Desarrollo de una vivienda con sistema de costillas. [liquenlav.com. Proyecto para vivienda unifamiliar. Construcción semi-industrializada a base de un sistema de costillas de madera y paneles tipo thermochip. http://liquenlav.com/en/proyecto/m/](http://liquenlav.com/en/proyecto/m/) [Consultado: 01 de septiembre del 2016]



01



02



03

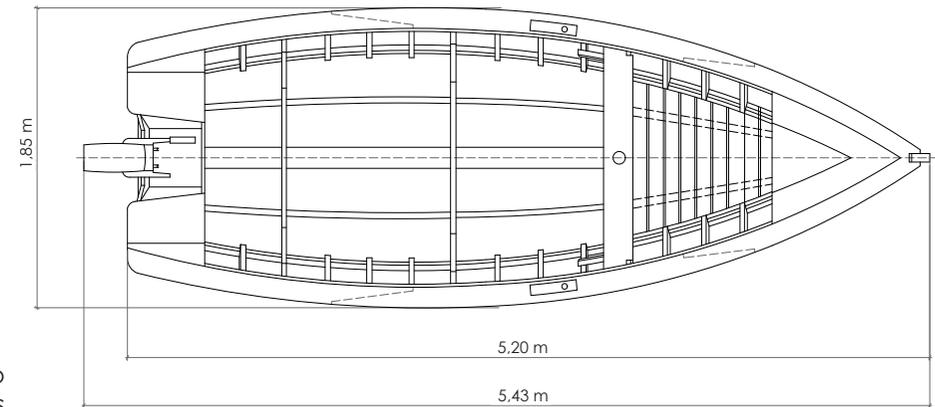
1.2.1 Lancha tipo 5,2m

a. Especificaciones técnicas

ESLORA TOTAL: 5,2m
MANGA TOTAL: 1,85m
PUNTA DE TRAZADO: 0,72m
VOLUMEN: 6,9m³
PESO EN VACÍO: 400 kg con el motor diesel
CARGA: 300 kg
PESO CARGADA: 700 kg
MOTOR RECOMENDADO: 4-6 CV
VELOCIDAD DE SERVICIO: 5,5 nudos
TRIPULACIÓN: máximo 6 pasajeros.

Este tipo de lancha es comúnmente utilizada para el transporte de un máximo de 6 personas, especialmente para la pesca; su estructura y materiales son los más empleados en embarcaciones de estas dimensiones.

Los pescadores prefieren éste tipo de lanchas, ya que al ser más livianas, permiten mayor velocidad con un motor pequeño y requieren de un ancho (manga) menor para lograr una estabilidad satisfactoria.



04

Figura 04: Redibujo, plano de lancha tipo de 5,20m de eslora.
Artículo "Diseño de embarcaciones pesqueras: 2 Lanchas de fondo en V endueladas y de madera contrachapada."
de Oyvind Gulbrandsen.
2004

b. Descripción de la estructura del objeto

La embarcación que se analiza presenta una estructura de costillas con un forro enduelado de madera, que es uno de los sistemas y materiales más utilizados en la construcción naval.

La Dra. Isabel Crespo Cabillo en su tesis doctoral "Control gráfico de formas y superficies de transición" indica que la estructura de los barcos se definen por tres medidas principales que corresponden a las tres dimensiones: la eslora, la manga y el puntal; es así que la forma del barco surge de los principios físicos que inciden en el diseño del casco, resultando ser la envolvente del mismo.

La forma curvada del barco se define por las secciones transversales llamadas cuadernas o **costillas**, donde la cuaderna central determina la manga máxima del casco, mientras que las secciones

horizontales llamadas líneas de agua representan los ángulos incidentes de la hidrodinámica del barco; la altura de las costillas, queda definida según la forma del arrufo a la que se le quiera dotar en la embarcación. (Figura 05).

La sección central del plano de simetría es la más importante pues de ella depende el trazado de la quilla o **larguero**, que es la pieza clave para la construcción pues actúa como espina dorsal a la cuaderna que se van sujetando a manera de costillas.

La columna central se completa en proa con una pieza de refuerzo que rompe el agua y la popa (parte posterior del barco) a la que se articula el timón.

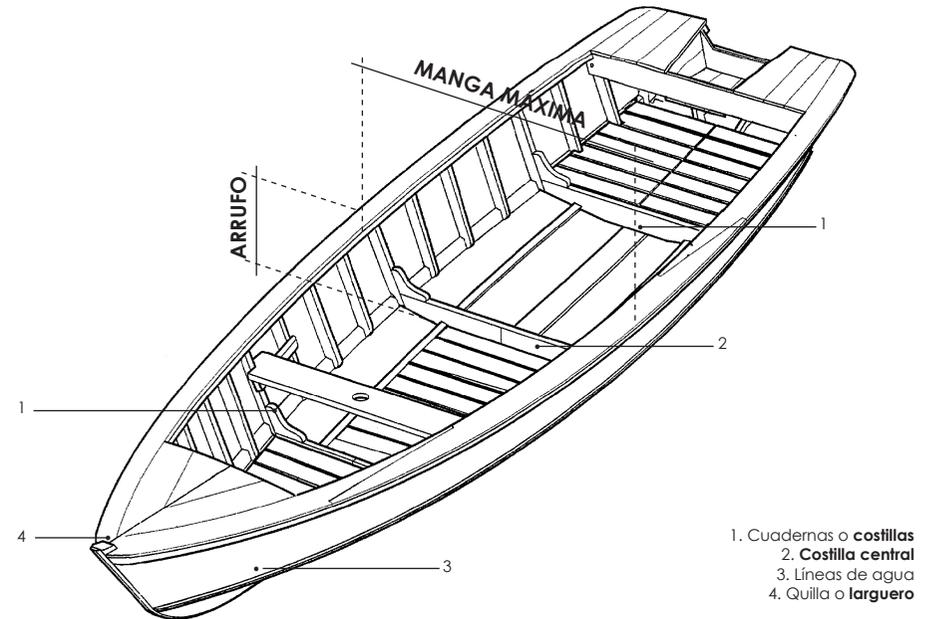


Figura 05: Perspectiva de la embarcación, lancha tipo de 5,2m de eslora.
Artículo, Diseño de embarcaciones pesqueras: 2 Lanchas de fondo en V endueladas y de madera contrachapada. 2004

05

c. Estudio de elementos constituyentes

c.1 Elementos

El larguero central se completa en proa con una pieza de refuerzo que rompe el agua, y la popa a la que se articula el timón.

Existen ciertas dimensiones que se pueden observar a manera de esquema (Figura 06), que describen las características de la embarcación.



06

Cuadernas o Costillas: Piezas transversales en forma de U o V, que unidas a la quilla dan la forma de la estructura del barco. La costilla maestra es la más ancha situada en el centro de la embarcación y proporciona estabilidad lateral.

Quilla o Larguero: Pieza longitudinal que va desde proa hasta popa, es la parte fundamental de la estructura de la lancha pues a ésta se une las costillas proporcionando rigidez y resistencia a la embarcación.

Varenga o Larguero transversal: Pieza curva que se coloca atravesada sobre el larguero principal para formar las costillas.

Roda: Elemento curvo que forma la estructura de la proa.

Codaste: Es la continuación de la estructura del larguero y estructura la popa.

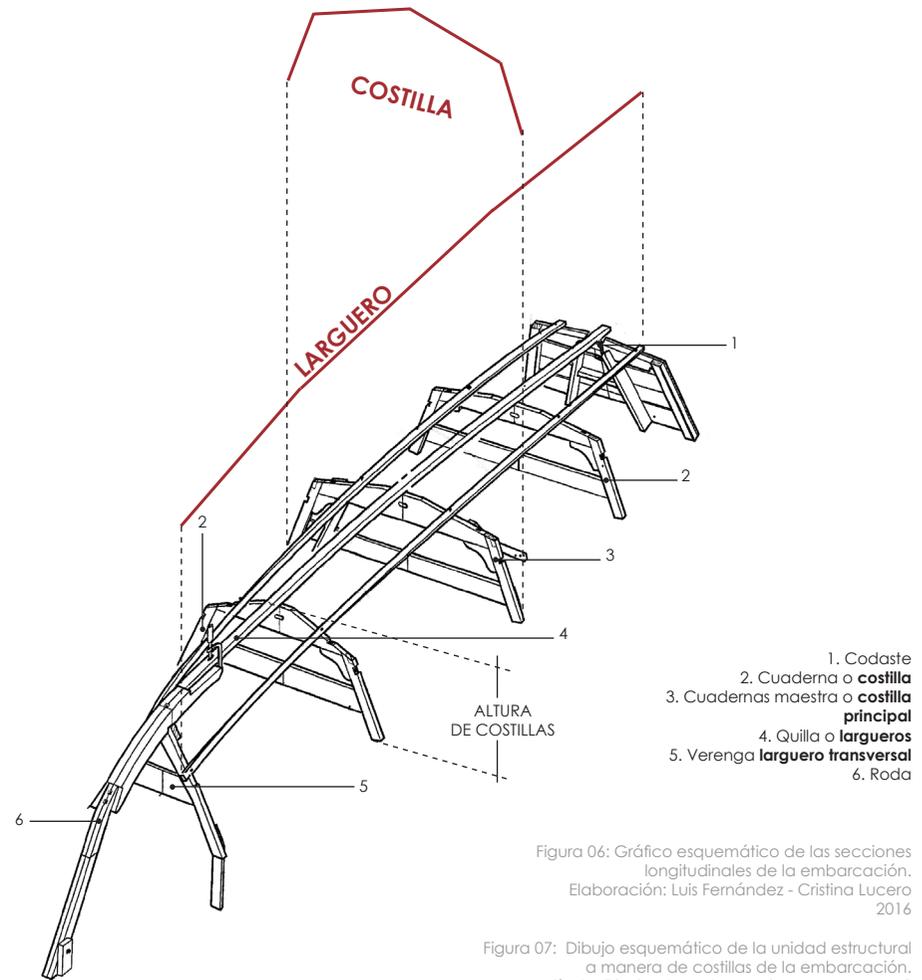


Figura 06: Gráfico esquemático de las secciones longitudinales de la embarcación. Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero 2016

Figura 07: Dibujo esquemático de la unidad estructural a manera de costillas de la embarcación. Artículo, Diseño de embarcaciones pesqueras: 2 Lanchas de fondo en V endueladas y de madera contrachapada. 2004

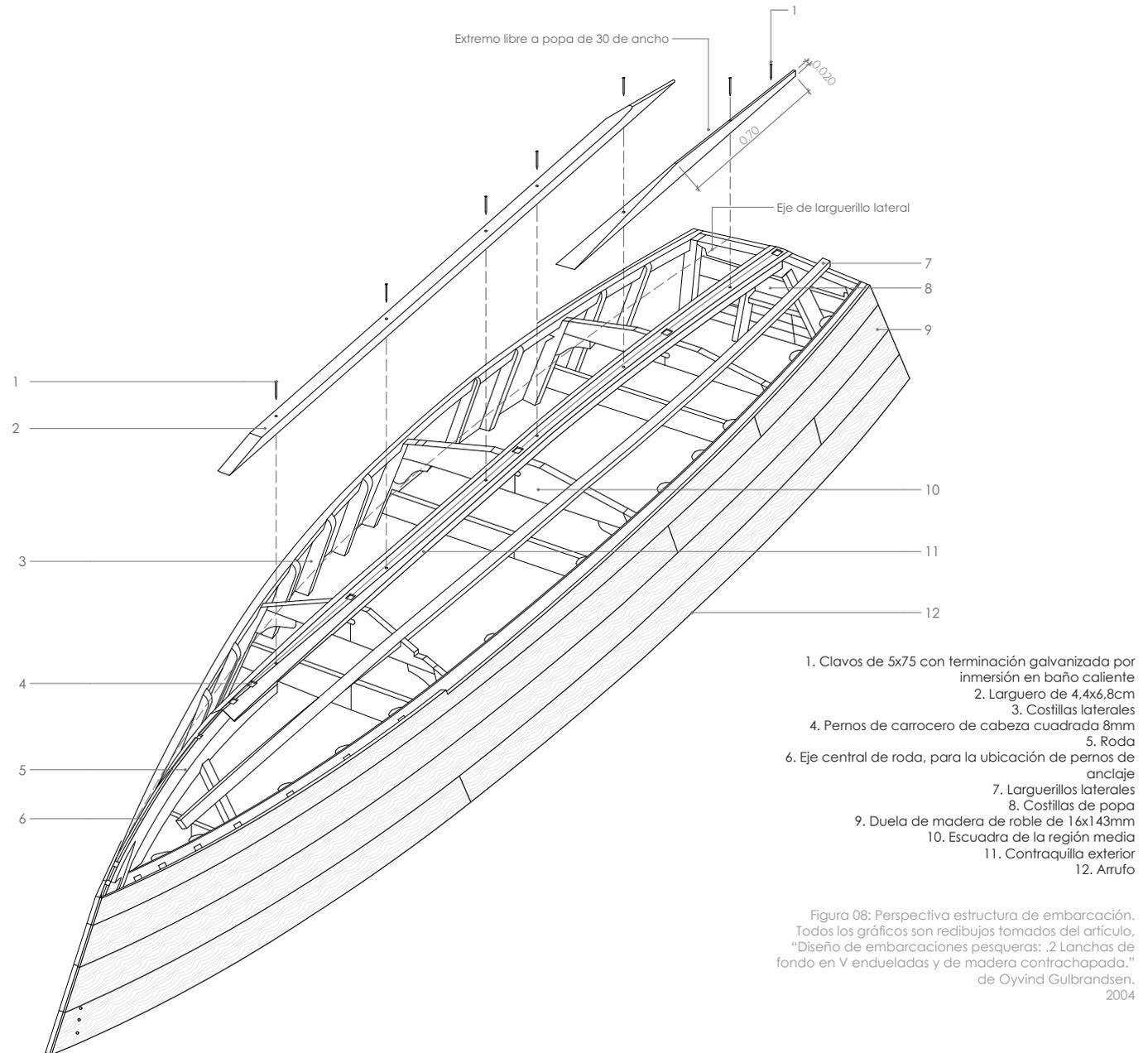
07

c.2 Uniones

En las embarcaciones, la resistencia depende principalmente de los elementos de unión para su correcto funcionamiento, y en éste caso la mayoría de uniones son a tope, a media madera, reforzados con pernos de carroceros de cabeza cuadrada o pernos de acero de cabeza hexagonal con terminado electroplateado, y clavos fabricados especialmente para embarcaciones con terminación galvanizada por inmersión de baño caliente.

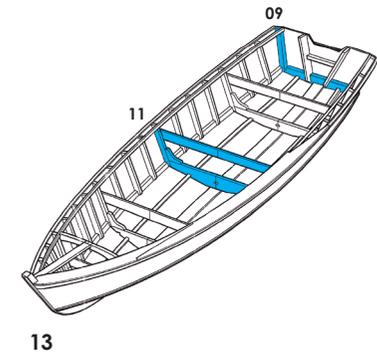
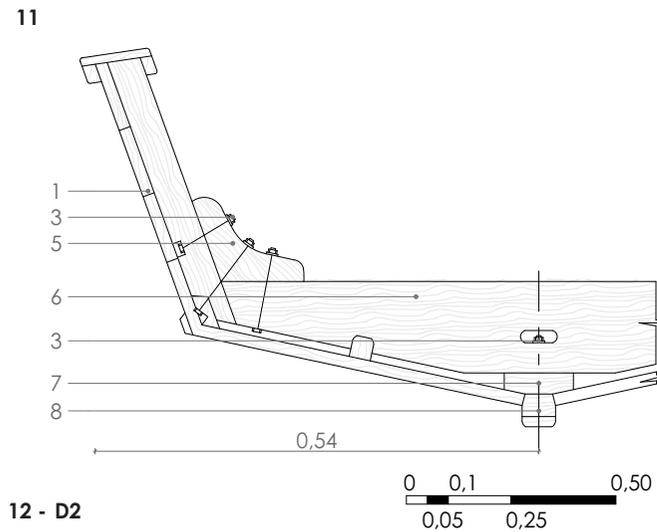
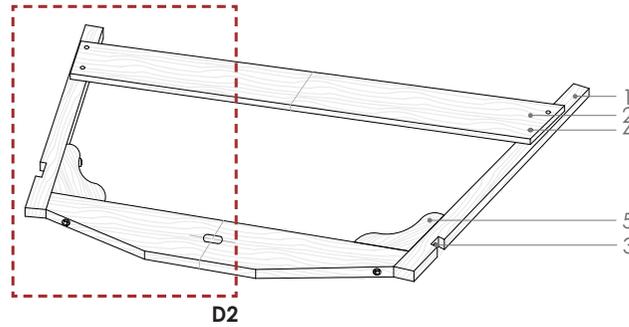
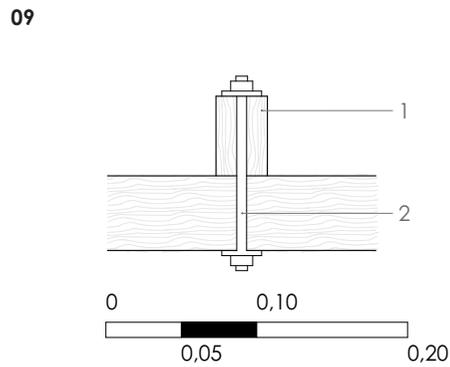
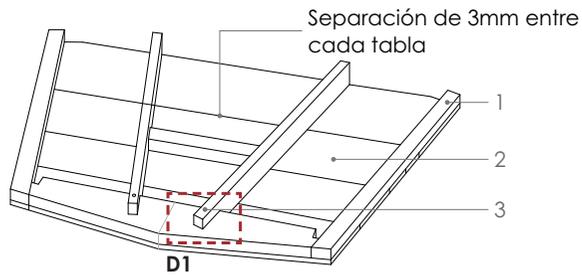
Las secciones de la costilla mayor, de proa y popa, son los ejes principales en dónde se soporta el forro que conforma la estructura de la lancha. Estos elementos constituyen un conjunto que mantiene a flote la embarcación.

Éste mismo principio se usa para embarcaciones de mayores dimensiones tanto barcos como buques, es así como se puede observar la disposición de planos del buque Mayflower (año 1620) de 30,80m de eslora y 25m de manga (Revisar anexos).



08

Detalles de la estructura de la lancha, uniones y ensamblajes



1. Madera roble de 740kg/cm³
2. Tabla de madera de roble 740kg/cm³
3. Pernos de carrocer de cabeza cuadrada 8mm
4. Clavo de lancha, diámetro 5mm galvanizado por inmersión en baño caliente
5. Refuerzos laterales de madera
6. Escuadra de la región media y a proa de 32x193mm
7. Contraquilla exterior
8. Quilla central de 44x68mm

Figura 09: Perspectiva de cuaderna de popa

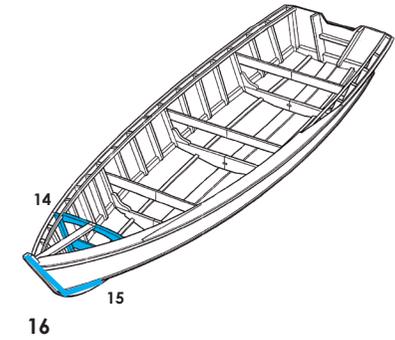
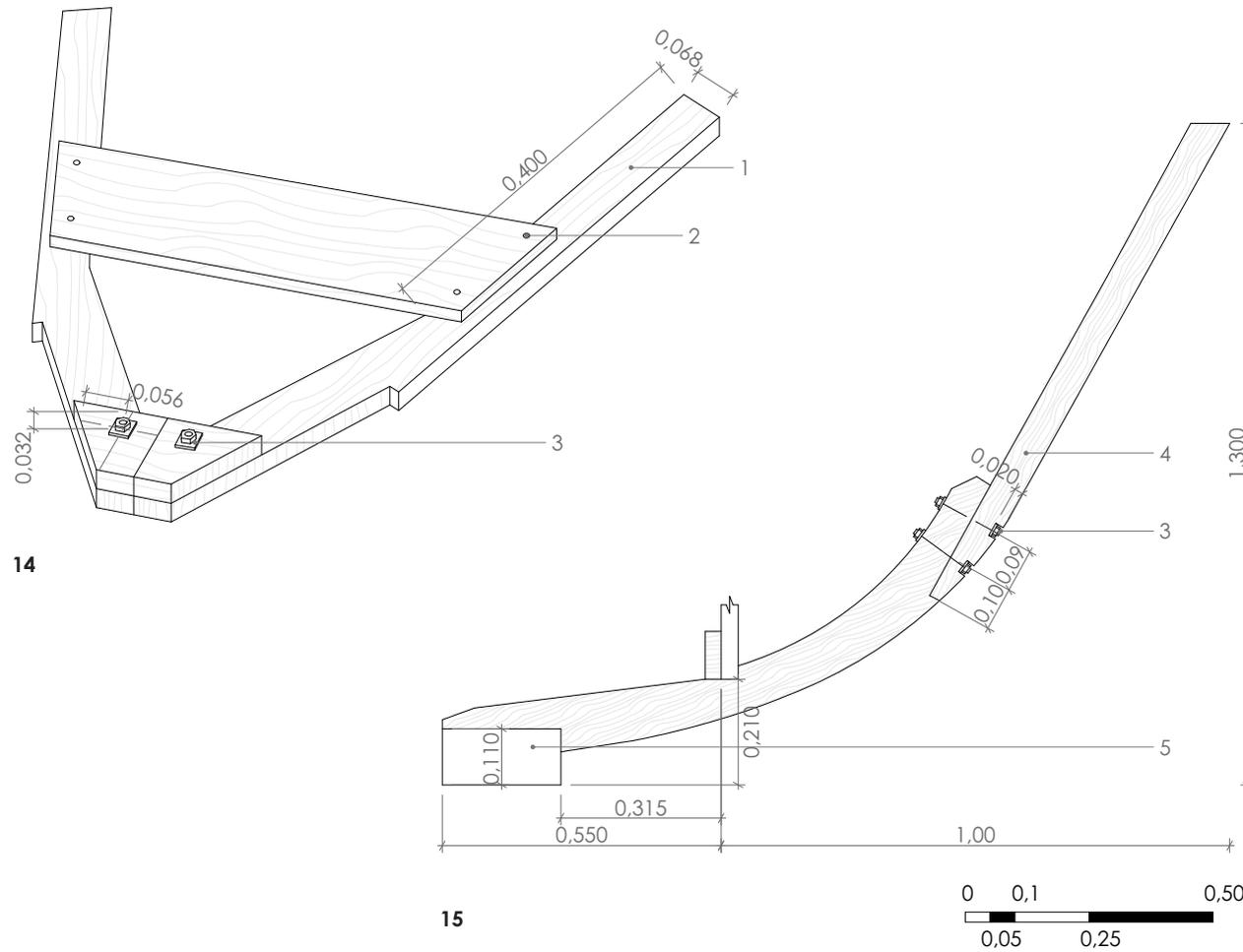
Figura 10: Detalle D1 Unión de madera

Figura 11: Perspectiva de costilla maestra

Figura 12: Detalle D1 Sección de costilla maestra

Figura 13: Perspectiva de lancha de 5,2m de eslora

Todos los gráficos son redibujos tomados del artículo, "Diseño de embarcaciones pesqueras: 2 Lanchas de fondo en V endueladas y de madera contrachapada," de Oyvind Gulbrandsen, 2004



1. Pieza de madera roble 740kg/m³ de 32x68mm
2. Clavos de lancha, diámetro 5mm galvanizado por inmersión en baño caliente
3. Pernos de carroceros de cabeza cuadrada 8mm
4. Pieza de 68x68mm, madera roble 740kg/m³
5. Quilla central

Figura 14: Perspectiva de costilla de proa.
 Figura 15: Elevación lateral de roda.
 Figura 16: Perspectiva de lancha de 5,2m de eslora.
 Todos los gráficos son redibujos tomados del artículo,
 "Diseño de embarcaciones pesqueras: 2 Lanchas de
 fondo en V endueladas y de madera contrachapada."
 de Oyvind Gulbrandsen.
 2004

c.3 Características físicas de los materiales

La madera es uno de los materiales más utilizados en la construcción naval desde hace varios años, especialmente en lanchas pesqueras, ya que es un material manejable y económico. En la actualidad, debido al tamaño de las embarcaciones la construcción ha sido innovada por nuevas tecnologías que han facilitado y mejorado su construcción.

La madera utilizada en ésta embarcación es el Roble, una madera con un peso específico de 800kg/m³ y densidad 710kg/m³. Presenta buenas características de resistencia ante la pudrición y logra una unión adecuada con elementos como clavos y pernos, de los cuales depende la resistencia de la embarcación (Tabla 01).

La madera denominada liviana es la que se usa para la parte del forro,

ya que tiene escaso movimiento de servicio y evita que se hinche o encoja con la variación de humedad, en este caso en específico se utilizó el Pino de Oregón que tiene una densidad de 530kg/m³ (Tabla 01). Puede usarse también la madera de Caoba, pero debido a que es una madera de alto costo, es utilizada frecuentemente en embarcaciones de lujo.

Para la construcción de la lancha analizada, se necesita un total de 1,12m³ de madera, teniendo en cuenta que ésta debe emplearse cuando se encuentre totalmente seca.

El peso que éstos materiales proporcionan a la embarcación es de 400kg (incluido el motor) y son los adecuados para mantenerla a flote al momento de la navegación. Se debe tener en cuenta que para

Especies de madera empleadas en la construcción de Lancha tipo según características mecánicas

CARACTERÍSTICAS	ROBLE	PINO DE OREGÓN
Densidad	710kg/m ³	530kg/m ³
Módulo de Ruptura	1047kg/cm ²	
Módulo de elasticidad	113000kg/cm ²	128000kg/cm ²
Trabajo al límite	10,5m-kj/cm ³	
Dureza	4,8 semi-dura	2,45 Semi-dura
Resistencia a la compresión	450kg/cm ²	525kg/cm ²
Resistencia a la flexión	960kg/cm ²	860kg/cm ²
Resistencia a la tracción	1600kg/cm ²	930kg/cm ²

01

Tabla 01: Especies de madera empleadas en la construcción de Lancha tipo según características mecánicas.
Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero
2016

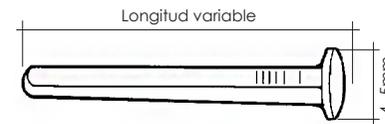
su recubrimiento contra el agua se aplican pinturas y barnices que garantizan la impermeabilización de la madera.

Otro material de suma importancia son los pernos y clavos que se usan para las uniones de las piezas. Todos estos elementos son previamente galvanizados por inmersión en baño caliente, para asegurar que estén protegidos de la corrosión.

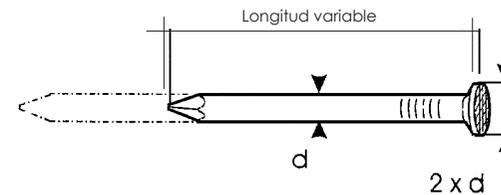
Para la lancha estudiada se utilizaron 3 tipos de clavos: de 4mm de diámetro con longitud de 50mm, de 5mm de diámetro con 75mm de longitud y 5mm de diámetro con 100mm de longitud. Todos necesitan un agujero de taladro previo a su aplicación y la cabeza de los mismo es recubierta con masilla para evitar la corrosión (Figuras 17 - 18 - 19).

En cuanto a los pernos que son

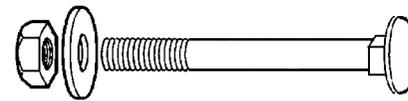
aplicados con arandelas, en su mayoría son de 8mm y 10mm de diámetro con 80 a 170mm de longitud dependiendo el lugar de aplicación, la parte roscada antes de su aplicación se dota de material bitumástico y la arandela con recubrimiento de zinc para su protección.



17



18



19



20

Figura 17: Clavos especiales para embarcaciones.

Figura 18: Clavos redondos de alambre.

Figura 19: Perno de carroceros de cabeza cuadrada.

Todos los gráficos son redibujos tomados del artículo, "Diseño de embarcaciones pesqueras: 2 Lanchas de fondo en V endueladas y de madera contrachapada." de Oyvind Gulbrandsen. 2004

Figura 20: Tablas de madera de Roble. MADERORCA. Tarima roble. <http://maderorca.es/tarima-roble/> [Consultado: 16 de marzo del 2016]

d. Lógicas de trabajo del sistema estructural

d.1 Elementos constituyentes de la estructura

La eslora es el elemento más predominante frente a la manga, es por esto que los mayores esfuerzos a los que se somete una embarcación son longitudinales de flexión, y el máximo esfuerzo se ubica en el casco próximo al centro de eslora. (Ruiz, Publicación de teoría del buque y construcción naval), ver Figura 22.

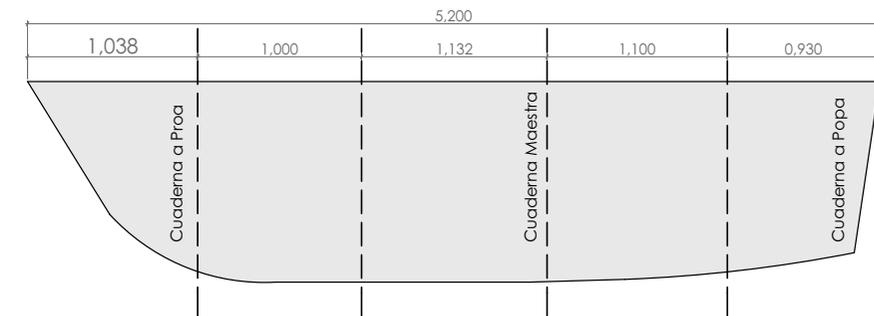
Los barcos se han construido casi siempre por piezas, formando una estructura con una lámina estanca que la recubre. La capacidad de navegación dependerá de que esa lámina sea lo suficientemente grande para asegurar la flotación y lo suficientemente continua para favorecer su desplazamiento en el agua.

Hay dos partes que no pueden ser disociables en el casco de un barco: la estructura o armazón y el recubrimiento o forro, ambas

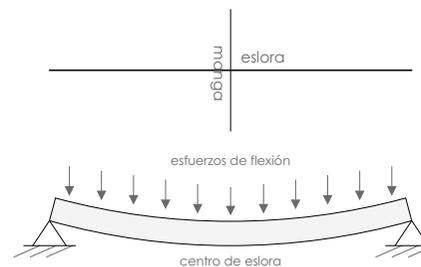
son partes integrantes del casco. Una da forma y la otra es la forma propiamente dicha, por lo tanto interesa no perder de vista que el armazón sostiene la superficie curva y que la necesidad de rigidez de ésta justifica el uso de ese armazón (Crespo Cabillo, 2005).

Los materiales de la embarcación conforman un solo conjunto que se consideran como una viga cargada que es soportada por el mar, para poder calcular así las resistencias de los materiales.

Las costillas que componen la lancha se sitúan a distancias variables (Figura 21), éstas están unidas mediante la contraquilla interior al larguero central, que en éste caso es de sección de $29,92\text{cm}^2$ ($4,4 \times 6,8\text{cm}$).



21



22

Figura 21: Dibujo esquemático de esfuerzos de flexión en el centro de eslora.
 Figura 22: Dibujo esquemático de los ejes de cuadernas.
 Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero 2016

d.2 Estructura

En cuanto a los esfuerzos y momentos resultantes que se producen, el quebranto es el momento que se da en el centro de la parte más alta de la ola y las cabezas de proa y popa en las partes más bajas (Figura 24).

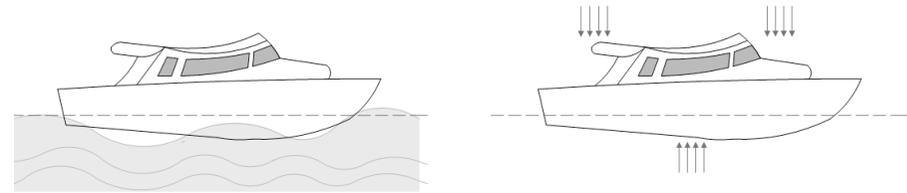
Mientras que el arrufo es el momento ocasionado cuando la embarcación navega con sus dos extremos sobre las partes más altas de las olas y su centro en la parte más baja de la misma (Figura 23). Éstas dos condiciones afectan a la estabilidad de la lancha tanto cuando se encuentra estático así como cuando esta navegando.

Los esfuerzos unitarios dependen de las funciones de cada elemento que constituyen la embarcación y del conocimiento y exactitud de las cargas actuantes y la manera en la que se transmiten a la estructura principal. El esfuerzo más importante en la estructura es el límite de

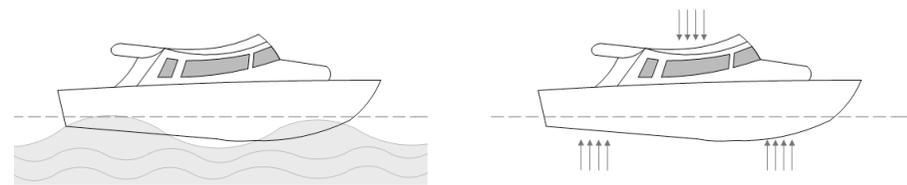
elasticidad, es decir el máximo que puede resistir sin que se de una deformación permanente (Martín Domínguez, 1969).

Se debe tomar muy en cuenta los esfuerzos tanto cuando el bote se encuentre estático como cuando esta navegando, para elegir los materiales y el tipo de construcción adecuado y acorde a la función.

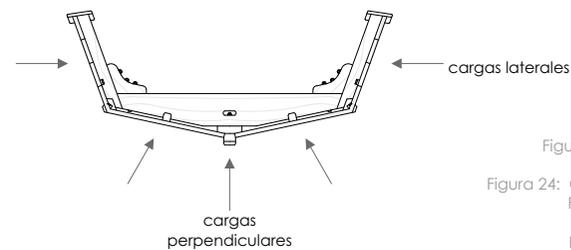
Por ello el sistema de costillas es el más óptimo y asume principalmente la responsabilidad de configurar la embarcación, pues al emplazarse como elementos sucesivos, brindan una estructura rígida pero a la vez liviana para mantener su flote, es así que permite concebir un sistema eficiente y seguro para soportar cargas de todo tipo.



23



24



25

Figura 23: Gráfico esquemático de esfuerzos de Quebranto
Figura 24: Gráfico esquemático de esfuerzos de Arrufo
Figura 25: Gráfico esquemático de esfuerzos

Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero
2016



El Principio de Arquímedes es el que rige principalmente para mantener a flote la embarcación, es por esto que dice que "Todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un fluido recibe un empuje hacia arriba (ascendente) igual al peso del fluido que desaloja", la condición es que el peso de la embarcación (sus materiales) más el de la tripulación, sea menor que el del líquido desplazado.

La carga viva que se toma de referencia para calcular el peso que soporta la embarcación es de 300kg, ya que la tripulación permitida es de 4 pasajeros de aproximadamente 75kg cada uno;

$$4 \times 75\text{kg} = 300\text{kg}$$

ésto sumado al peso propio de la lancha 400kg dan una carga de 700kg,

$$400\text{kg} + 300\text{kg} = 700\text{kg}$$

la misma que, contrarrestada con el empuje producido por el agua del mar, que es igual al peso del fluido que se desaloja, se tiene que las sumatorias de pesos es igual a la sumatoria de empujes de reacción ante dichos pesos; en las especificaciones técnicas de la lancha se indica que el peso cargado de la lancha es de 700kg por lo que:

$$\sum p = \sum e$$

$$\sum \text{peso de la embarcación} + \text{peso de tripulación} = \sum \text{peso total} \rightarrow \text{empuje}$$

$$400\text{kg} + 300\text{kg} = 700\text{kg}$$

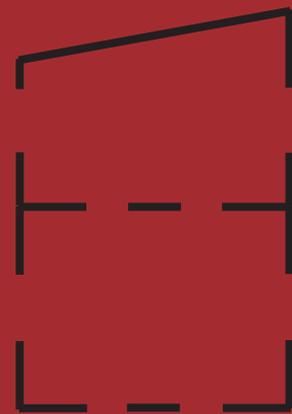
$$700\text{kg} = 700\text{kg}$$

Donde:
 $\sum p$ = sumatoria de pesos
 $\sum e$ = sumatoria de empujes

Al ser iguales las fuerzas actuantes, se logra el equilibrio de la embarcación a bordo, cuando se mantiene estático, ya que al estar en movimiento se toman en cuenta un mayor número de cargas actuantes tales como presiones del aire, condiciones climáticas y oleajes que se producen.

La capacidad de carga viva de ésta embarcación es de 93,33 kg/m² (según especificaciones técnicas) y toda esta estructura se acopla mediante maderas de sección de 68x68mm para el larguero principal.

Cada costilla tiene una sección de aproximadamente 44x68mm, las tablas que se utilizan tanto para el enduelado como para las diferentes separaciones transversales de las cuadernas, son de aproximadamente 20x193mm, de ésta manera apreciamos que las secciones son mínimas a comparación de la longitud de la embarcación y sin embrago soporta eficientemente todo el peso que carga la estructura, teniendo una distribución adecuada de esfuerzos y fuerzas actuantes a través de las costillas.



1.2.2 Caso de estudio: MONOPLANO CHILTON

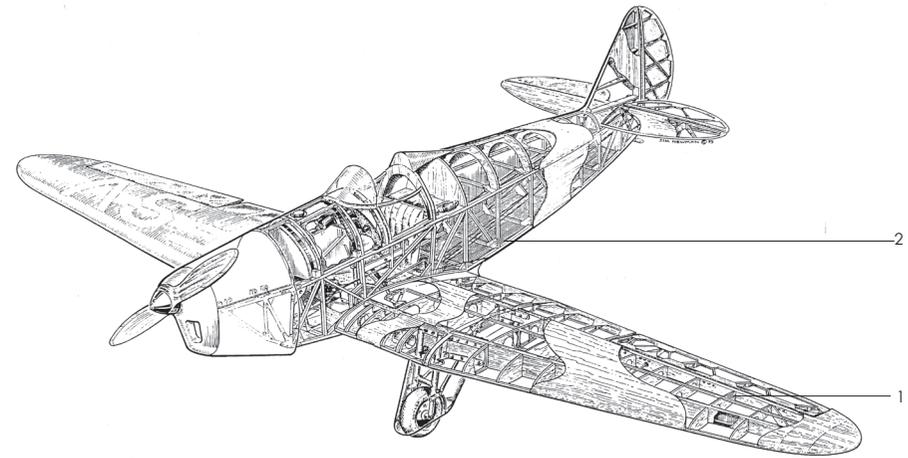
a. Especificaciones técnicas

TRIPULACIÓN: 1 piloto
LONGITUD: 5,5m
ENVERGADURA: 7,3m
ALTURA: 1,2m
SUPERFICIE ALAR: 7,15m
PESO VACIO: 181kg
PESO MÁXIMO AL DESPEGUE: 319kg
PLANTA MOTRIZ: 1 motor de cuatro cilindros opuestos enfriados por agua

b. Descripción de la estructura del objeto

La solución del fuselaje, su geometría, resistencia aerodinámica y volumen va de la mano con las funciones que cumpla la aeronave, la forma del fuselaje y alas están descritos por los elementos estructurales que la conforman. En el caso de las alas la cuerda o costilla, y en el caso del fuselaje las cuadernas.

Tanto costillas, como cuadernas son elementos dispuestos transversalmente que soportan el revestimiento y a su vez a todos los esfuerzos a los que se somete la aeronave.



26

Figura 26: Axonometría de Avión Chilton
1 Costilla del ala
2 Cuaderna o costilla del fuselaje
RationalSkepticism.org/. Your favorite aircraft.
<http://www.chilton-aircraft.co.uk/Images/tsv37.jpg>[Consultado: 16 de marzo del 2016]

c. Estudio de elementos constituyentes

c.1 Elementos

1. Fuselaje:

Cuadernas o **costillas**: Dan la rigidez y la forma transversal al fuselaje, tienen además la función de distribuir de manera uniforme las cargas interiores como la de tripulación, equipaje y los esfuerzos provenientes del exterior de la aeronave.

Larguero: Viga o elemento lineal que se encuentra a lo largo del ala. Este actúa como soporte de la estructura que está sometida a esfuerzos de flexión y torsión.

Larguerillos: Miembros longitudinales de las alas, transmiten las cargas soportadas por las costillas del ala.

2. Ala:

Costilla: Elemento delantero y trasero de la estructura del ala, principalmente da la forma y transmite

la carga del revestimiento a los largueros.

Larguerillos: Miembros longitudinales de las alas, en las que se transmiten las cargas soportadas por las costillas del ala que resisten esfuerzos, vibraciones y deflexiones.

1. Sistema estabilizador
2. Fuselaje
3. Costilla del fuselaje
4. Larguero
5. Tren de aterrizaje
6. Costilla del Ala
7. Larguero
8. Sistema Central
9. Grupo motopropulsor
10. Recubrimiento de contrachapado.

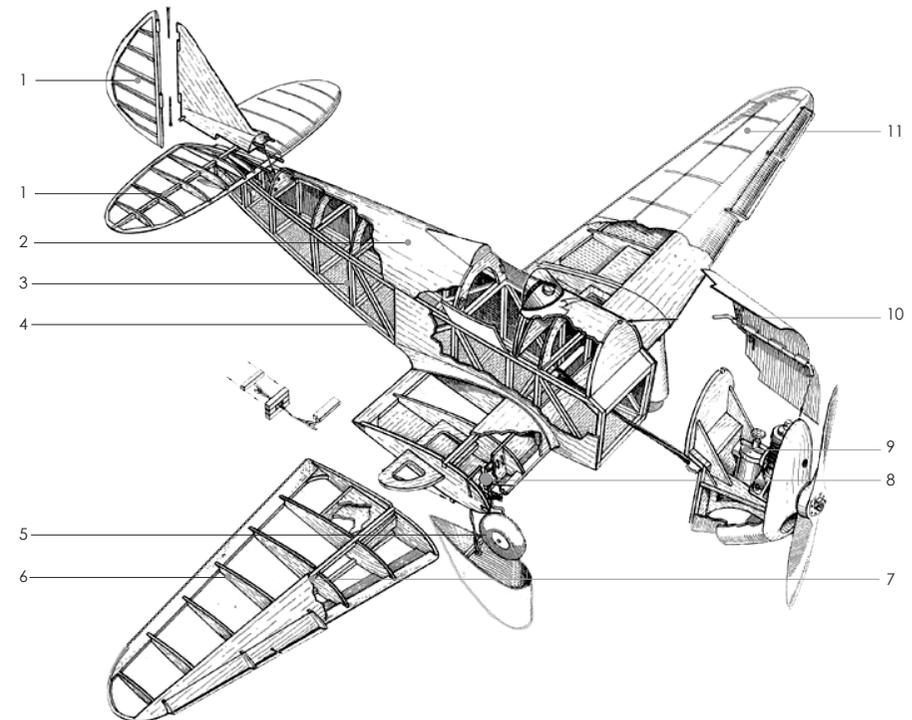


Figura 27: Estructura del Avión Chilton
Outerzone.com. Chilton Dw1. http://www.outerzone.co.uk/more_pics.asp?ID=1624[Consultado: 15 de marzo del 2016]

27

c.2 Uniones

Los elementos de unión que afirman las estructuras que conforman el aeroplano son llevadas a cabo en su mayoría con apliques metálicos reforzados por pernos hexagonales sobre madera dura, los pernos deben ser anticorrosivos.

Los apliques permiten una mejor unión, firme y por consiguiente más resistente.

En la aeronave Chilton las uniones que están bajo esfuerzos críticos son las que juntan sus principales elementos constituyentes, las uniones son las que se dan entre la sección central con el fuselaje y las alas (Figura 28).

Analizando la segunda unión en particular, que une la sección central con el fuselaje, parte de los esfuerzos vienen del tren de aterrizaje al que se encuentra anclado, además esta unión se somete a esfuerzos de flexión

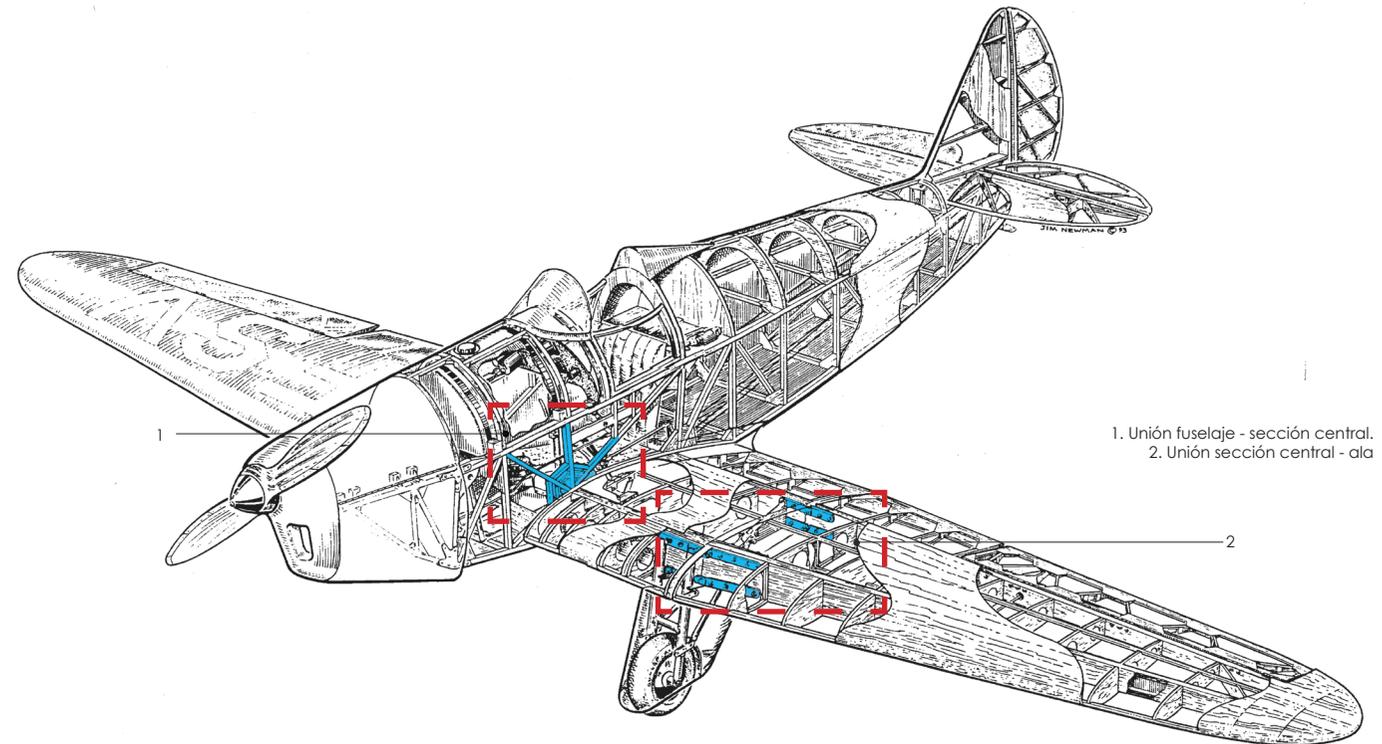


Figura 28: Ubicación de uniones del Monoplano Chilton.
Gráfico tomado del artículo,
"The Chilton high performance lighth monoplane".
1946

28

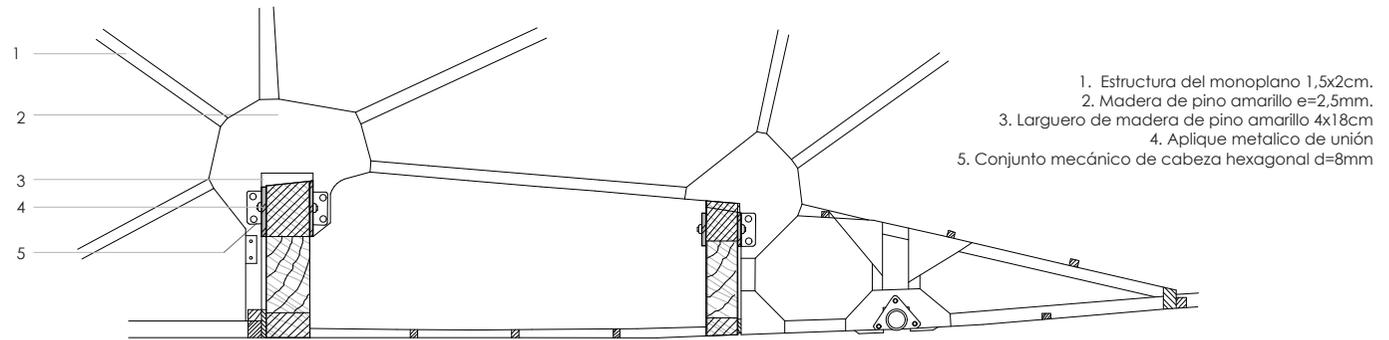
debido a la sustentación provocada por las alas a la aeronave. Estas uniones se dan con pernos y apliques metálicos (Figuras 29 a la 35).

La unión entre el fuselaje y alas es una de las más importantes. Se realiza mediante un elemento metálico anclado en los largueros de ambas partes con 24 pernos sobre madera dura (Figura 32). Esto se lleva a cabo a fin de obtener la rigidez necesaria de soporte a las cargas presentes en la aeronave y los elementos más importantes tanto alas y fuselaje que tienen refuerzos de madera dura.

Figura 29: Detalle de unión sección central - fuselaje
Figura 32: Ubicación de la unión sección central fuselaje

Gráfico tomado del artículo, "The Chilton high performance lighth monoplane".
1946

Figura 30, 31: Monoplano Chilton, Construcción de un Chilton, www.chilton-aircraft.co.uk
[Consultado: 16 de marzo del 2016]



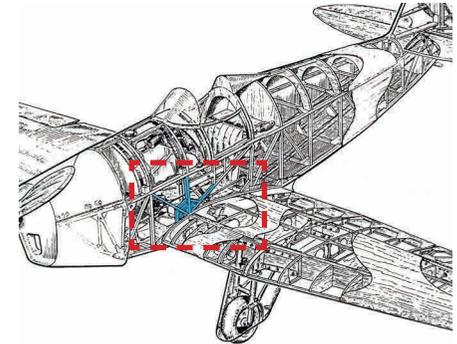
29



30



31

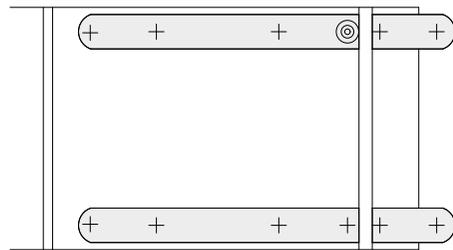
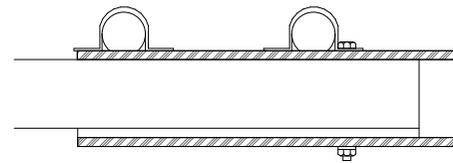


32

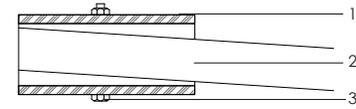
Las partes fundamentales de la estructura del fuselaje dentro de la clasificación del semimonocasco son los largueros y las costillas, los largueros sostienen y transmiten los esfuerzos a las costillas que están dispuestas cada cierto tramo en sentido transversal, los dos elementos están unidos entre si por clavos y pegamento.



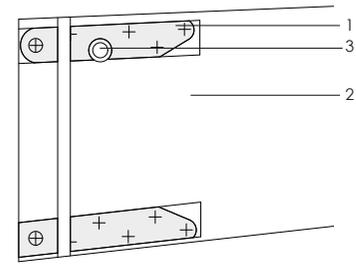
33



34

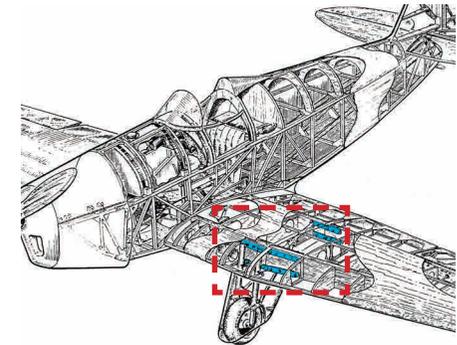


PLANTA



ELEVACIÓN POSTERIOR

1. Aplique metálico de acero de unión
2. Larguero de madera de pino amarillo 4x18cm
3. Conjunto mecánico de cabeza hexagonal d=8mm



35

Figura 33: Monoplano Chilton, Construcción de un Chilton, Chilton Aircraft. www.chilton-aircraft.co.uk [Consultado: 16 de marzo del 2016]

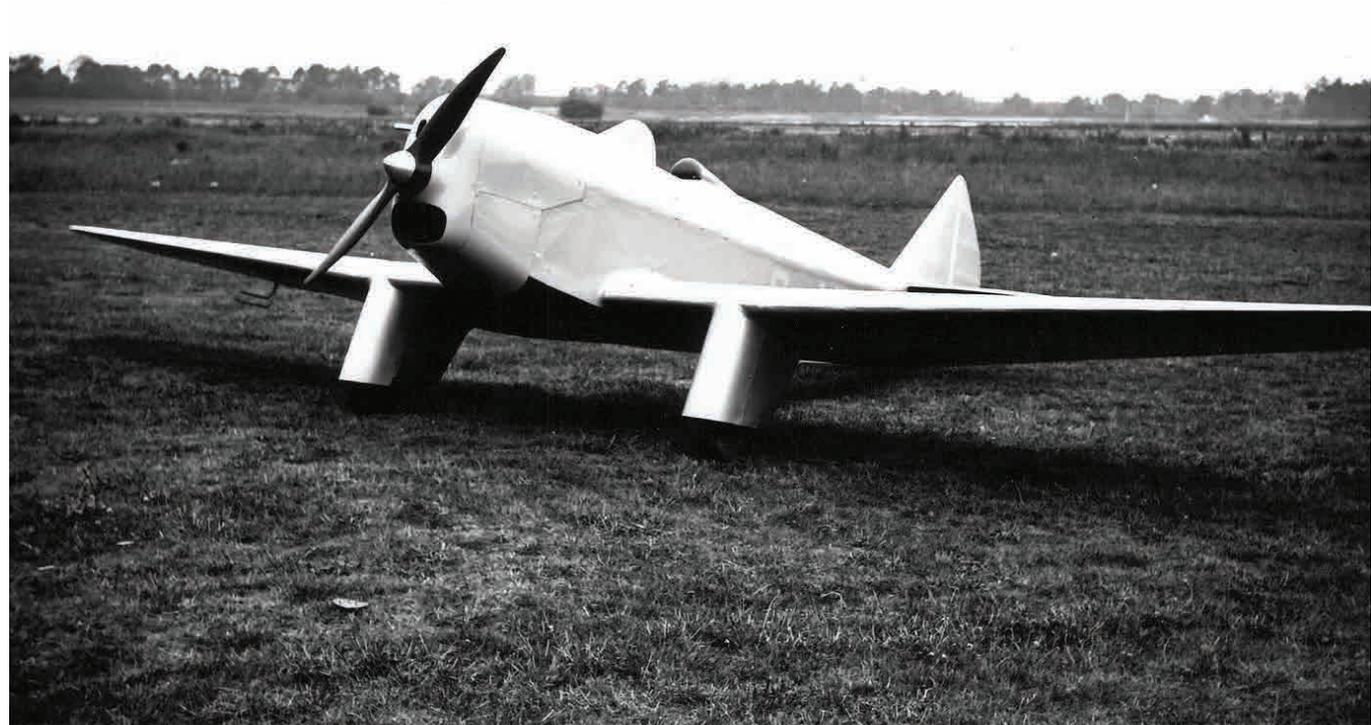
Figura 34: Detalle unión sección central - ala. Gráfico tomado del artículo, "The Chilton high performance lighth monoplane", 1946

Figura 35: Ubicación de la unión de la sección central - fuselaje. Gráfico tomado del artículo, "The Chilton high performance lighth monoplane", 1946

Además en la conformación de estos elementos de costilla existe una en particular que se une a los largueros con apliques metálicos y pernos debido a que se encuentra junto al motor y tiene gran carga.

El aeroplano es recubierto con contrachapado de 4 mm, menos en la parte frontal que puede ser metálico. Esto se da por que la parte que mayor golpe tiene con las corrientes de viento existentes. Éstas planchas de recubrimiento se encuentran pegadas a los largueros.

En conjunto tanto las costillas, largueros y la cubierta de contrachapado forman el perfil longitudinal del fuselaje, y funcionan como una sola estructura transmitiendo las cargas desde el recubrimiento hasta las costillas.



36

Figura 36: Fotografía de monoplano Chilton
RationalSkepticism.org/. Your favorite aircraft.
<http://www.chilton-aircraft.co.uk/Images/fsv37.jpg>
[Consultado: 16 de marzo del 2016]

c.3 Características físicas de los materiales

Originalmente por motivos de aligeramiento, se emplea como principal material de construcción la madera. Dentro de los tipos de madera que se utiliza están el Contrachapado y tiras de Pino Amarillo (Figura 38).

La madera Contrachapada tiene fibras tejidas en direcciones contrarias en cada chapa lo que permite tener una buena resistencia a esfuerzos. En el monoplano se utiliza planchas de 1mm, 1,5mm, 2mm, 2,5 mm, 3mm, 5mm para construcción de costillas, y recubrimientos (Figura 37).

Los largueros tanto los del fuselaje como del ala están compuestos por madera de densidad mínima de 500 kg/m^3 , se han encontrado varios referentes que usan la madera de Pino Amarillo para la construcción de sus piezas (Tabla 02).

Se utiliza tiras con secciones de $0,6 \times 0,6 \text{ cm}$ en las alas hasta $1,6 \times 1,6 \text{ cm}$ para los largueros del fuselaje. Los largueros del ala están conformados con secciones de $3,5 \times 15 \text{ cm}$.

Impregnabilidad: El duramen es poco impregnable mientras que la albura es impregnable.

Durabilidad: Mediana durabilidad frente a los hongos, sensible a las larvas y medianamente a las termitas.

Características de mecanización:

Clavado y atornillado: Sin problemas.

Secado: Tiene pocas deformaciones y grietas.

Cepillado, fresado o torneado: Solo peligro de embotamiento si hay exceso de resina. Se curva, tornea y talla bastante bien.



37



38

Encolado de la madera: sin problemas.

Para parte del tren de aterrizaje y otros soportes se utiliza tubos de acero T45, estos tubos han tenido éxito en el área aeroespacial, ha sido tomado en cuenta el material por otros tipos de empresas como para el automovilismo, lo que ha desembocado en nuevas posibilidades del material en cuanto a mejoras.

Especie de madera empleada en la construcción del Monoplano Chilton según características mecánicas

CARACTERÍSTICAS	PINO DE AMARILLO
Densidad	580kg/m ³
Módulo de elasticidad	125000kg/cm ²
Dureza	2,4 Semi-dura
Resistencia a la compresión	490kg/cm ²
Resistencia a la flexión	970kg/cm ²
Resistencia a la tracción	700kg/cm ²

02

Tabla 02: Especie de madera empleada en la construcción del Monoplano Chilton según características mecánicas
Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero 2016

Figura 37: Planchas de Contrachapado. [theconversation.com. How plywood started the destruction of indonesia's forests. http://theconversation.com/how-plywood-started-the-destruction-of-indonesias-forests-33087](http://theconversation.com/how-plywood-started-the-destruction-of-indonesias-forests-33087) [Consultado: 21 de marzo del 2016]

Figura 38: Madera de Pino Amarillo [spanish.alibaba.com. Acq patio con tratamiento térmico sur pino amarillo de cartón ondulado de madera. http://spanish.alibaba.com/product-gs-img/acq-patio-con-tratamiento-termico-sur-pino-amarillo-de-cart-n-ondulado-de-madera-60037839362.html](http://spanish.alibaba.com/product-gs-img/acq-patio-con-tratamiento-termico-sur-pino-amarillo-de-cart-n-ondulado-de-madera-60037839362.html) [Consultado: 21 de marzo del 2016]

d. Lógicas de trabajo del sistema estructural

d.1 Elementos constituyentes de la estructura

El fuselaje está sometido a varios esfuerzos, pero el principal se encuentra en la parte frontal debido a que se enfrenta directamente a corrientes de viento. Además sobre éste actúa una presión que lleva al cuerpo hacia arriba tratando de comprimirlo. La sección central transmite esfuerzos de empuje provenientes de las alas, y flexión sobre los largueros principales.

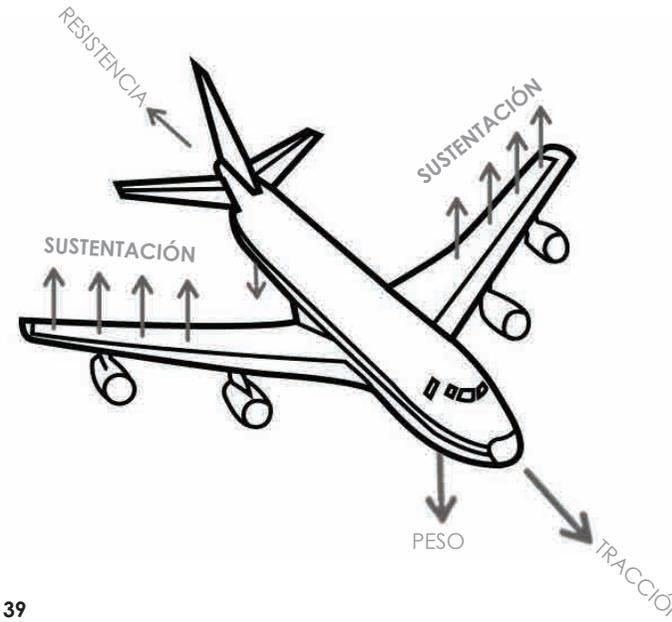
Anterior al sistema estructural de costillas (monocasco y semimonocasco) los aviones eran contruidos con estructuras no cubiertas y reticuladas en forma de cercha, mientras que en el semimonocasco todos los elementos tanto recubrimiento, como estructura trabajan conjuntamente.

El revestimiento lleva las fuerzas hacia los largueros y costillas a la vez.

La parte delantera es construida con contrachapado de mayor espesor debido al impacto que se genera por el flujo del aire.

En el caso del ala, se encuentra sometida a fuerzas mínimas de empuje en contra del avance del avión por su forma aerodinámica, sin embargo la más importante es la perpendicular al suelo por la sustentación a la nave, gracias a esta última descrita es que el avión se eleva, el motor le otorga la velocidad de avance a la aeronave.

La fuerza de empuje debajo de la ala debe ser igual o mayor a la del peso total del monoplano para que una aeronave vuele.



39

Figura 39: Principales fuerzas actuantes en una aeronave.
Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero
2016

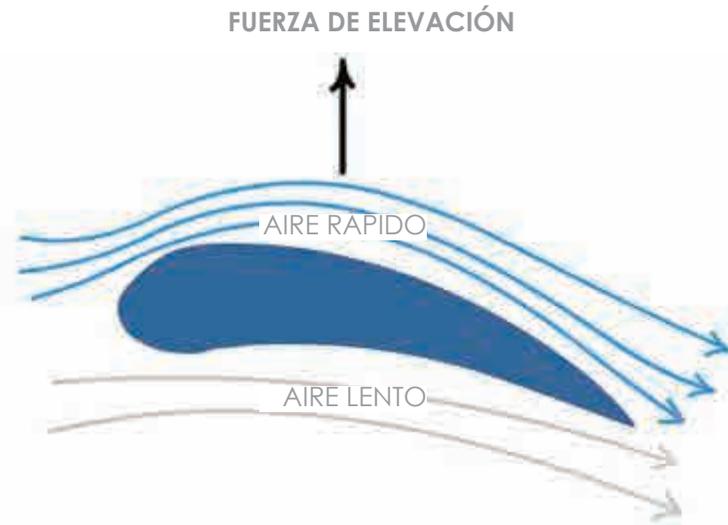
d.2 Estructura

Los principales esfuerzos a los que se encuentra sometida el monoplano Chilton actúan sobre las alas, como ya se mencionó anteriormente estos elementos son los responsables de que la aeronave se eleve, y se mantenga en el aire, esto se da debido a la diferencia de presiones existentes por el flujo de viento. A mayor velocidad de un fluido menor presión, con lo que por la forma de este elemento el aire que recorre la parte superior del ala (extradós) debe hacerlo en el mismo tiempo que el que lo hace por la parte inferior (intradós), por lo que la fuerza de empuje de abajo hacia arriba es mayor que la del peso como se ve en el siguiente gráfico (Figura 40).

En el caso del monoplano Chilton dentro de las especificaciones técnicas se dispone que el mayor peso de vuelo (aeronave y tripulante) sea de 319kg, considerando que

el factor de seguridad es de 1,5 contemplado en el "Code of Federal Regulations" de la Secretaría de Transporte de EEUU, se tiene que en realidad la superficie del ala está diseñada para resistir una carga de 478,5kg, esta carga actúa sobre los 7,15m² de superficie alar, en el caso que la aeronave se encuentre en vuelo. Los largueros que reciben directamente esta carga tienen una sección de 15x4cm.

En el caso de un aterrizaje las fuerzas actúan puntualmente en donde el tren de aterrizaje está anclado.



40

Figura 40: Sustentación actuante en el ala de un avión
Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero
2016



1.2.3 Validación de Criterios

- La **lógica de trabajo es igual** tanto en barco y avión, a pesar de existir diferentes prestaciones y cargas en cada caso, se replica el uso de **costillas con elementos laminares**.
- El **espaciamiento** de las costillas y largueros debe ser considerado adecuadamente en el diseño, de acuerdo a los requerimientos de la estructura.
- Una estructura para resolver cualquier requerimiento se encuentra condicionada por su **lógica de trabajo, y características de los materiales** con los que se construye, siendo esta segunda de gran importancia por **la resistencia que pueda proveer al sistema**.
- Es importante el particular cuidado en la **resolución de las uniones y ensambles**, pues en todos los casos, de éstas dependen que el conjunto estructural funcione eficientemente, tomando en cuenta cual sea el **método más adecuado** para llevarlas a cabo.
- Se debe tener muy en cuenta el **uso adecuado del material a emplear**, conocer perfectamente **sus características y propiedades tanto físicas como mecánicas**, pues el correcto funcionamiento de la estructura tiene gran influencia por dichas propiedades.

1.3 Elementos laminares

Se debe comprender la diferencia que se determinó en ésta investigación entre la terminología y constitución física de los elementos laminares y elementos laminados pues el diseño pretende experimentar con elementos laminares de madera para concebir un sistema estructural de costillas.

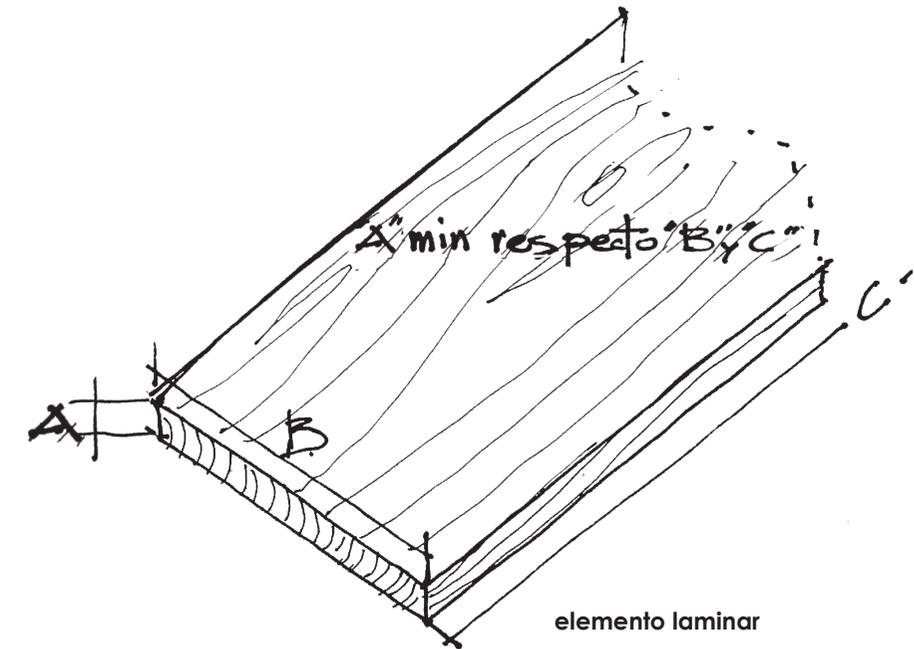
Es por ello que se determina que:

Elementos laminares hacen referencia a piezas donde dos de sus dimensiones predominan en comparación de la tercera, es decir son elementos lo suficientemente delgados para soportar grandes cargas sin presentar deformaciones considerables en su constitución física. Mientras que los **elementos laminados** son piezas de varias capas de espesores mínimos y que se adhieren unas con otras mediante pegamentos o resinas de alta resistencia.

Como podemos observar en la figura 41 y 42 es evidente la diferencia en cuanto a su composición física, pues son dos piezas con diferentes características físicas y mecánicas. En el caso de los elementos laminados, gran parte de la resistencia obtenida es gracias a los pegamentos empleados para unir sus capas.

Independientemente de cómo sean constituidos, cualquiera de los dos tipos de elementos pueden ser aplicados en estructuras, siempre y cuando su empleo sea adecuado para garantizar la estabilidad en una edificación.

Sin embargo, para la investigación se experimentará en el diseño con elementos laminares de madera que en conjunto edifiquen un sistema eficiente con el principio determinado para el sistema de costillas, replicado en éste caso a la vivienda social.



41

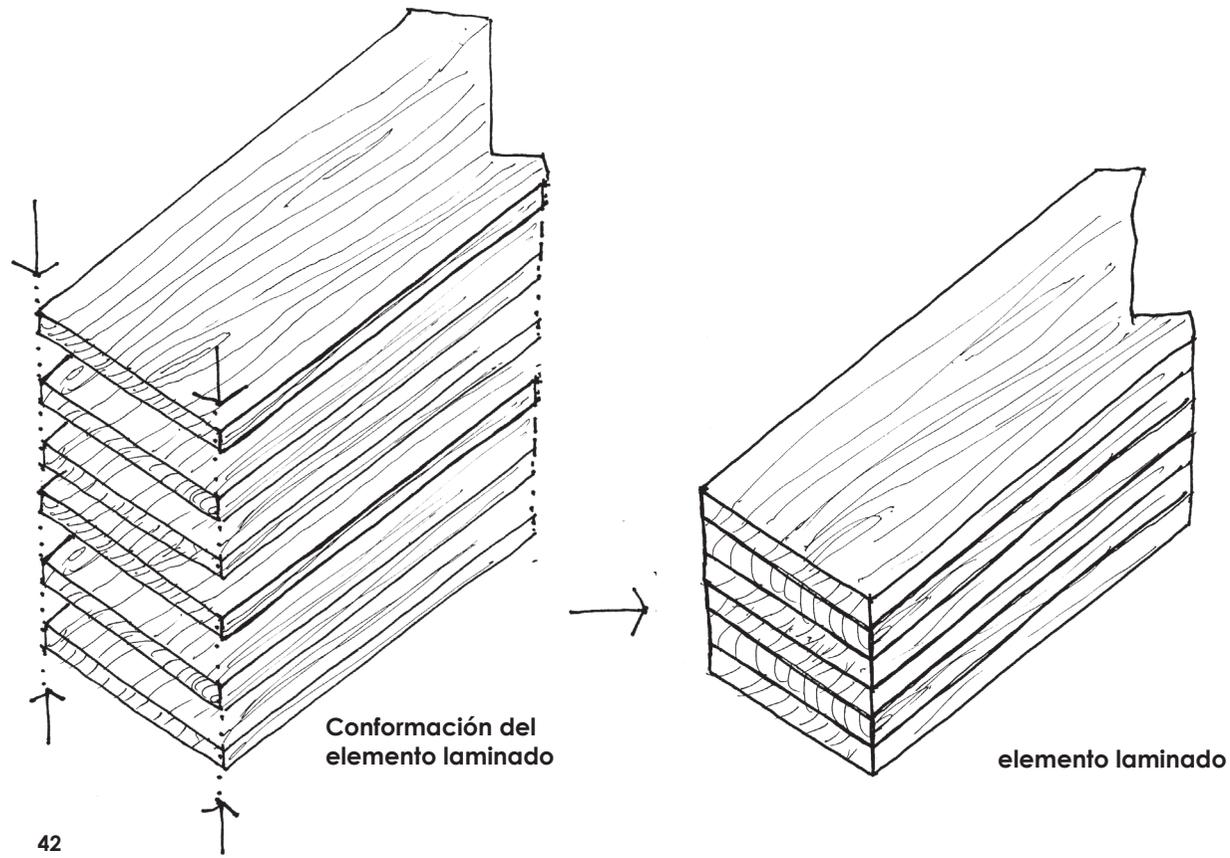


Figura 41: Gráfico esquemático de elementos laminados.
Figura 42: Gráfico esquemático de elementos laminados.
Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero 2016



1.4 Diagnóstico y análisis de los recursos madereros y especies comercializadas en la ciudad de Cuenca

En base al análisis realizado en los ejemplos donde se aplica el sistema de costillas para la estructura, se comprueba que con elementos de secciones laminares se puede conformar una estructura resistente y que es importante considerar tanto el adecuado espaciamiento de las costillas, como los materiales empleados, ya que deben contar con características apropiadas para soportar grandes esfuerzos y cargas.

Es así, que los materiales son los que condicionan la estructura y su diseño, por ello se debe tener muy en cuenta el uso adecuado de los mismos.

Se debe conocer las características y propiedades tanto físicas como mecánicas, así también no se puede dejar de lado las uniones y ensambles, pues en todos los casos de éstos depende que el conjunto estructural funcione eficientemente.

Bajo estos lineamientos se elige la madera como material apto para el empleo del sistema estructural, pues es un material que cumple con la mayoría de parámetros que menciona la Norma Ecuatoriana de la Construcción para Maderas Estructurales (NEC 11 - Revisar Anexos).

Para tener un mayor conocimiento de las maderas que se ofertan en el mercado, se realiza un muestreo de los depósitos que expenden madera en la ciudad, determinando así las especies más económicas y las más ofertadas, permitiendo mayor accesibilidad a los usuarios.

En base a estos resultados, se realizan pruebas en laboratorio de tres de las especies seleccionadas, comparando los resultados obtenidos con los que dictan la norma.

Al analizar las propiedades físicas y

mecánicas de las especies ensayadas, se determina bajo los parámetros de economía, secciones eficientes, accesibilidad y trabajabilidad, la especie de madera más adecuada para el empleo del sistema estructural a diseñar, concluyendo con ciertas recomendaciones para la preservación y uso óptimo de la madera seleccionada.

1.4.1 Justificación del material a usar

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 11) dice que el 20% de los materiales aplicados en la construcción deben cumplir con al menos uno de los parámetros que se nombran a continuación para que sean sustentables:

- Resistencias mecánicas acordes con el uso que recibirán
- Estabilidad química (resistencia a agentes agresivos)
- Estabilidad física (dimensional)
- Seguridad para su manejo y utilización
- Protección de la higiene y salud de obreros y usuarios
- No conspirar contra el ambiente
- Aislamiento térmico y acústico (colaborar en el ahorro de energía)
- Estabilidad y protección en caso de incendio (resistencia al fuego)

- Comodidad de uso, estética y economía

En base a esto se han realizado varias investigaciones dentro del laboratorio in.Lab Cuenca, en el que se encuentra enmarcado el presente trabajo de titulación. Dentro del mismo se ha determinado que la madera es uno de los materiales que cumple con la mayoría de los parámetros nombrados en la NEC 11 (Tabla 03), pues es el único material renovable con propiedades de resistencia, durabilidad, versatilidad, material aislante por naturaleza, por lo que presenta eficiencia energética, y el reciclaje del mismo es uno de los más limpios y económicos, pues no requiere ningún pre tratamiento ni acondicionamiento químico.

La madera es un material muy usado en la construcción, pues puede ser aplicado en toda la construcción de

Comparación de Materiales de Construcción desde el punto de vista sostenible en la Ciudad de Cuenca

Materiales	áridos	pedra	cemento	hormigón	acero	aluminio	ladrillo	bloque de pomez	yeso cartón	teja	plancha fibrocemento	plancha zinc	policarbonato	PVC	madera	tierra	vidrio	
Locales	✓	✓	✓	✓			✓	✓		✓					✓	✓	✓	✓
Renovables															✓	✓	✓	
Reciclables																		
Reutilizable		✓									✓	✓	✓					
Durable		✓									✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fácil Mantenimiento		✓									✓	✓	✓					
Inercia Térmica																		
Huella de Carbono kg CO2/kg	0,03	0,018	0,66	0,19	2,80	30,14	0,24	-	0,47	0,24	0,89	6,36	11,66	10,33	0,063	0	0,94	
Costo	\$18 (m3)	\$18 (m3)	\$452,40 (m3)	\$137,90 (m3)	\$35 (m2)	\$33 (m2)	\$21,71 (m2)	\$18 (m2)	\$11,36 (m2)	\$25 (m2)	\$4,43 (m2)	\$2,57 (m2)	\$13,32 (m2)	\$140 (m2)	\$25 (m2)	\$34 (m2)	\$9 (m2)	

03

Comparación de Materiales de Construcción en la Ciudad de Cuenca / Parámetros de Uso				
Materiales	Autoconstrucción		Temporalidad	Uso Recurrente
	Facilidad de Armado	Accesibilidad		
pedra	medio	alta		5,63 %
hormigón	difícil	media		16,25 %
acero	difícil	baja		0,50 %
aluminio	fácil	media	✓	4,33 %
ladrillo	medio	media		3,46 %
bloque de pómez	medio	alta		3,50 %
yeso cartón	medio	media		0 %
teja	difícil	media	✓	1,83 %
plancha de fibrocemento	fácil	alta	✓	3,50 %
plancha de zinc	fácil	alta	✓	12,67 %
poli carbonato	fácil	media	✓	0,50 %
madera	fácil	alta	✓	42,33 %
tierra	medio	alta		5,50 %
vidrio	fácil	media		0 %

04

una edificación, principalmente en la estructura, cierres, puertas, pisos o ventanas, gracias a la versatilidad que presenta.

Muchas personas al momento de edificar su vivienda prefieren el uso de la madera debido a su fácil acceso en el mercado ya que según datos del Instituto Nacional de Encuestas y Censos (INEC), en el 2010 existían en el Ecuador alrededor de 250 000 viviendas de madera, de éstas un 80% se encuentran en un estado malo o regular. Por lo que es evidente la aceptación de la madera como material dentro de la construcción de viviendas en especial en el sector informal, por lo que el material podría ser aplicado de mejor manera si se tuviera una asesoría técnica y si se la empleara de manera adecuada para estructurar una vivienda permanente.

Como podemos observar en las tablas 03 y 04 tomadas de la Tesis "Prototipo de vivienda social sostenible diseño de una vivienda de interés social de clima frío para la ciudad de Cuenca" realizada dentro de la investigación del laboratorio in.Lab Cuenca, se indica, que la madera es el material con mejores características respecto a otros empleados en el medio, tomando en cuenta que la resistencia a agentes externos es baja, pero esto puede ser remediado por técnicas de mejoramiento y protección de la madera ante agentes bióticos y abióticos.

En la norma NEC 11 en el capítulo sobre Estructuras de madera, se dice que, la madera "es un material heterogéneo poroso, de origen vegetal, constituido por células muertas, biodegradable, combustible, e higroscópico y anisotrópico", y se denomina

madera estructural a aquella que deberá tener una densidad básica mínima de $0,4\text{gr/cm}^3$ y un contenido de humedad comprendido entre el 12% al 19%.

Además es un material accesible para la población a la que va dirigida y junto a sus características estructurales, que se analizarán posteriormente, se ha elegido éste material como el más adecuado para emplearse en la concepción del diseño propuesto para la estructura, al ser el material que nos permite obtener dimensiones laminares con las que se podrá experimentar y lograr un diseño apto para el sistema constructivo que se pretende conformar.

Tabla 03: Comparación de Materiales de construcción desde el punto de vista sostenible en la ciudad de Cuenca.

Tabla 04: Comparación de materiales de construcción en la ciudad de Cuenca/ Parámetros de uso. Culcay Cantos, M & Maldonado Cardoso, M. (2016). Prototipo de vivienda social sostenible diseño de una vivienda de interés social de clima frío para la ciudad de Cuenca. Universidad de Cuenca.

1.4.2 La producción de madera en el Ecuador, control forestal y certificación nacional

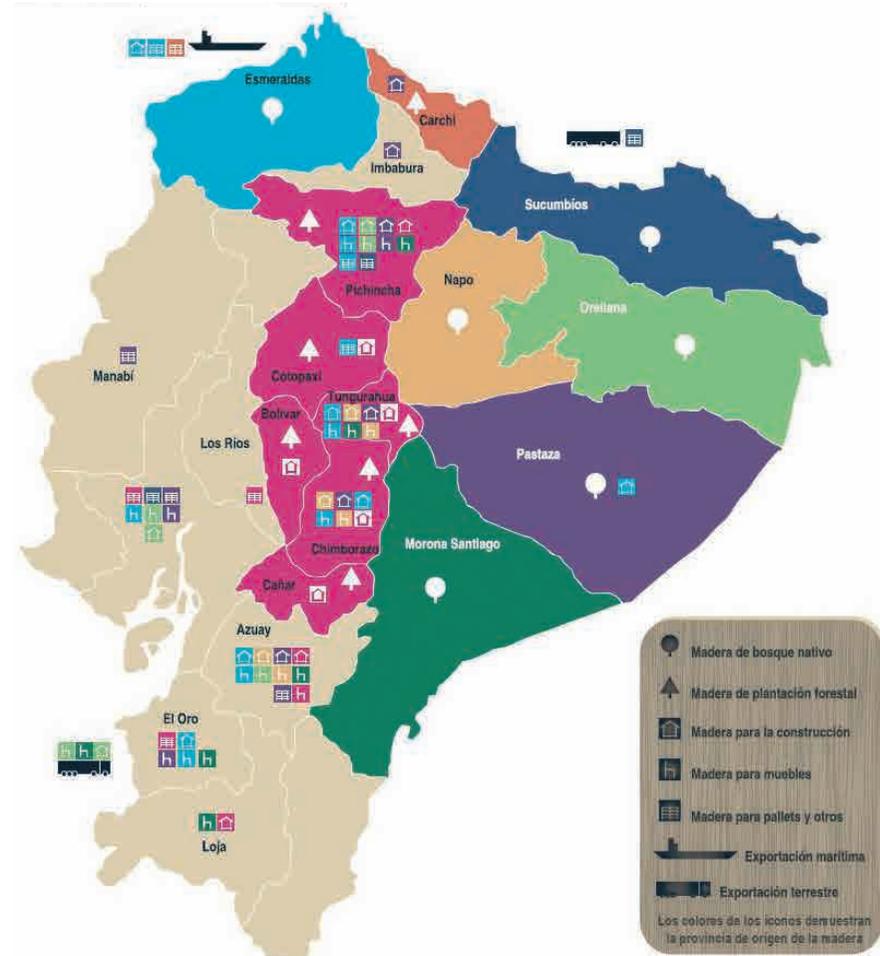
Según el Depósito de Documentos de la FAO en la publicación "Situación actual de la forestación y reforestación en el Ecuador", por Tony Zúñiga Suárez, dice que, el área estimada de bosque nativo es cerca del 42% del territorio, de las cuales el 80% se encuentra en la Amazonía, un 13% en la Costa y el restante 7% en la Sierra; al momento las principales especies plantadas son Eucalipto, Pino, Balsa, Pachaco, Teca, Cutanga y Laurel.

Como se puede observar en la figura 43 la madera, especialmente para la construcción, es la más solicitada y distribuida por todo el territorio para su aplicación, proveniente de diferentes lugares como Esmeraldas, Napo, Orellana, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Bolívar, Tungurahua y Cañar.

En el país se ha mantenido

una producción de madera considerable, pues ha existido una base forestal que cubría 80% del territorio nacional, a pesar de ello, esto se ha reestructurado. A pesar de ello, han existido problemas de sobre explotación y tala irracional de bosques. Para lo cual se han establecido varias normativas para el uso y control de los bosques nativos. De esta manera en el año 2000, a través de un acuerdo ministerial se planteó la Normativa para el Manejo Forestal Sustentable para Aprovechamiento de Madera.

Cerca de 13 millones de hectáreas de bosque natural se pierden anualmente en el mundo por la tala ilegal según estudios del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP); en el Ecuador, el Plan Nacional para el Buen Vivir (2009 - 2013) asocia la tala ilegal con conflictos socioeconómicos, en este



43



44

sentido, el plan prioriza la protección de los bosques y el desarrollo de una economía rural que considera también al sector forestal. (Villacís & Vásconez, 2013). La economía del país se ve afectada ya que, según datos, la tasa de deforestación es de aproximadamente 70.000 hectáreas al año (MAE, 2011) y esto causa una pérdida significativa para el suelo forestal.

El Ministerio del Ambiente a través de la Dirección Nacional Forestal, es la Institución encargada de proveer las directrices para la aplicación de la ley y la normativa para el manejo forestal sustentable y el aprovechamiento de los recursos forestales maderables y no maderables.

En cuanto a las certificaciones, las empresas madereras ecuatorianas tienen el respaldo de las principales certificaciones, como Forest

Stewardship Council (FSC) y las normas ISO, entre ellas la ISO 9000:2008.

Figura 43: Principales orígenes y destinos de la madera en el Ecuador.

Figura 44: Gráfico del flujo de la madera desde el bosque hasta el consumidor. Villacís, M., & Vásconez, S. (2013). Consumo responsable de la madera: una herramienta para disminuir la ilegalidad. Quito: GRUPO FARO.



a. Realidad actual de los recursos provinciales

La principal región productora de madera es la Amazonía, pues respecto al total de producción del Ecuador, la Sierra representa el 7%. En el territorio del cantón Cuenca, un gran porcentaje de suelo es considerado como áreas de Bosque y Vegetación Protectora, declaradas así entre los años de 1982 a 1994.

Estos suelos no pueden ser susceptibles de ningún tipo de explotación, su uso de suelo esta completamente definido y no puede ser intervenido ni alterado. Este suelo protegido representa el 55,3% del territorio total y las principales actividades productivas son solo de cultivo menor.

Los bosques correspondientes al Cantón se han reducido en un 0,25%, por lo tanto el suelo no es susceptible de explotación forestal. En el Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT)

se especifica y se consolida la necesidad de protección del suelo, con lo que en el futuro, la situación actual de baja producción forestal no será incrementada.

En la provincia del Azuay la principal actividad que se lleva a cabo en cuanto a la madera, es la de transformación artesanal y comercio, esta actividad es de carácter manufacturera, además la misma se limita a la transformación en los aserraderos para la obtención de vigas, tablones, tablas y tiras para el uso en la construcción.

No obstante, como la producción maderera es limitada, el Azuay se convierte en un consumidor de madera proveniente de la Costa y del Oriente Ecuatoriano, dependiendo evidentemente de las especies requeridas.

Para la investigación es un imperante todo lo valorado en cuanto a recursos forestales del medio, pues la madera es el material más adecuado para el fin que se quiere dar, pues como ya se ha mencionado se requiere de elementos de espesores reducidos para diseñar el sistema estructural de costillas con elementos laminares. Evidentemente, para ser utilizada la madera debe provenir de bosques forestales debe estar completamente seca dentro de los porcentajes de humedad establecidos bajo normativa, es decir apta para el uso estructural, es por ello que deben haber patrones determinantes, desde la tala y reforestación de los bosques así como de su almacenamiento, secado y producción, es decir que la madera pueda ser empleada en condiciones óptimas.

1.4.3 Análisis cualitativo y cuantitativo de elementos de madera en el mercado de Cuenca

Para el análisis cualitativo y cuantitativo de madera ofertada en el mercado de Cuenca, se toma como referencia la base de datos proporcionada por el Ministerio del Ambiente que regula la producción y comercialización de la madera en el Ecuador. Ésta base de datos corresponde al número de depósitos de compra y venta de madera no procesada que existen, donde se registran 143 lugares en la ciudad.

A fin de determinar la oferta, procedencia y precio de la madera en el mercado, se hace una encuesta de campo a los depósitos registrados. En base a un muestreo, ya que no es posible realizar un estudio a la totalidad existente en la ciudad, debido a la extensión de este grupo.

La cantidad se determina mediante el método propuesto para cálculo

de la muestra de la población finita, conocida por Murray y Larry en el año 2005, y se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{(k^2 \times p \times q \times N)}{((e^2) \times (N - 1)) + (k^2 \times p \times q)}$$

Donde:

k= es una constante para expresar el nivel de confianza requerido (la probabilidad de que los resultados de la investigación sean ciertos)

N= es la población total

p= es la probabilidad de éxito

q= es 1-p (si no se conoce p ni q, se utilizará 0,5 para cada una)

e= es el error máximo que es permitido usualmente de 0,1 a 0,05

Según el nivel de confianza ("k") que se requiera en el estudio, puede variar entre los valores de 1,15 a 2,58. En la

tabla 03 se muestra los porcentajes de niveles correspondientes a cada constante. Se ha determinado que el nivel de confianza adoptado para el cálculo de la investigación es del 90%, es por ello que para el análisis se consideraron los siguientes valores:

N = 143 depósitos existentes

k = 1,65 (90% de confianza)

p = 0,5

q = 0,5

e = 0,1

$$n = \frac{(1,65^2 \times 0,5 \times 0,5 \times 143)}{(((0,1^2) \times (143 - 1)) + (1,65^2 \times 0,5 \times 0,5))}$$

$$n = \frac{(97,33)}{(1,42) + (0,68)}$$

$$n = 46,34$$

Con lo que se determinó que la muestra a analizar sea de 46 depósitos de madera de la ciudad de Cuenca.

En base a esto se ha realizado una

Coefficientes de k según niveles de confianza para obtener un muestreo

Nivel de Confianza	Valor de k
75%	1,15
80%	1,28
85%	1,44
90%	1,65
95%	1,96
99%	2,58

03

Tabla 03: Coeficientes de k según niveles de confianza para el muestreo
Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero
2016

encuesta de carácter cualitativo y cuantitativo (Anexo 01), para determinar las maderas ofertadas en el medio, según formatos y precios respectivos, para de esta manera guiar el estudio en la elección de la madera más eficiente, accesible y económica, para la población hacia la cual va dirigida.



a. Tipos de madera que se ofertan en el mercado de Cuenca

Se realizó una selección aleatoria de 46 lugares para encuestarlos de lo que se obtuvo que son 16 las especies de madera más ofertadas en la ciudad (Figura 03, Anexos), y que son:

- 1. EUCALIPTO
- 2. PINO
- 3. MADERA DE BAJA DENSIDAD
- 4. COPAL
- 5. SEIQUE
- 6. CIPRÉS
- 7. CEDRO
- 8. LAUREL
- 9. CANELO
- 10. ROMERILLO
- 11. FERNAN SANCHEZ
- 12. MASCAREY
- 13. TECA
- 14. CHANUL
- 15. YUMBINGUE
- 16. GUAYACAN BLANCO

De las 16 especies, se han elegido 4, principalmente por su bajo costo, además de ser las de más fácil acceso en el medio (Figura 45). De esta manera se garantiza que el material a usarse sea sustentable y accesible para los consumidores. Estas maderas son la madera de baja densidad, el Laurel, el Pino, y el Eucalipto teniendo en cuenta que para cada una de ellas se realizarán diversos análisis para la elección final.

Existen un total de 39 puntos que expenden la madera de Eucalipto, siendo la madera más ofertada en la ciudad, mientras que la Madera de baja densidad y el Pino se encuentra en 32 y 20 lugares respectivamente, por último el Laurel es el menos ofertado (Anexos). Según los comerciantes la madera más vendida es la madera de baja densidad comúnmente llamada madera de Encofrado, ya que, es

una de las maderas que más se usa para las diferentes etapas de la construcción de edificaciones, pero se debe tener en cuenta que no se tiene un control de las características de la especie, ya que la madera de baja densidad es una mezcla de maderas de todo tipo.

El Eucalipto y el Pino, provienen de la zona del Azuay, la madera de baja densidad del Oriente y el Laurel en la mayoría de los casos de la Costa del Ecuador. El lugar de origen de las especies recae en la diferencia de precios, que es uno de los parámetros predominantes para la elección de la madera a usarse, pues al ser importados+ desde el Oriente o de la Costa, aumenta el precio por el transporte del mismo, es por esto que la Madera de baja densidad se oferta a un precio mayor que la de Eucalipto, al igual que el Laurel (Anexos).

Gráfico de las especies de madera ofertadas en el mercado de la ciudad de Cuenca, según porcentajes de adquisición, año 2016.

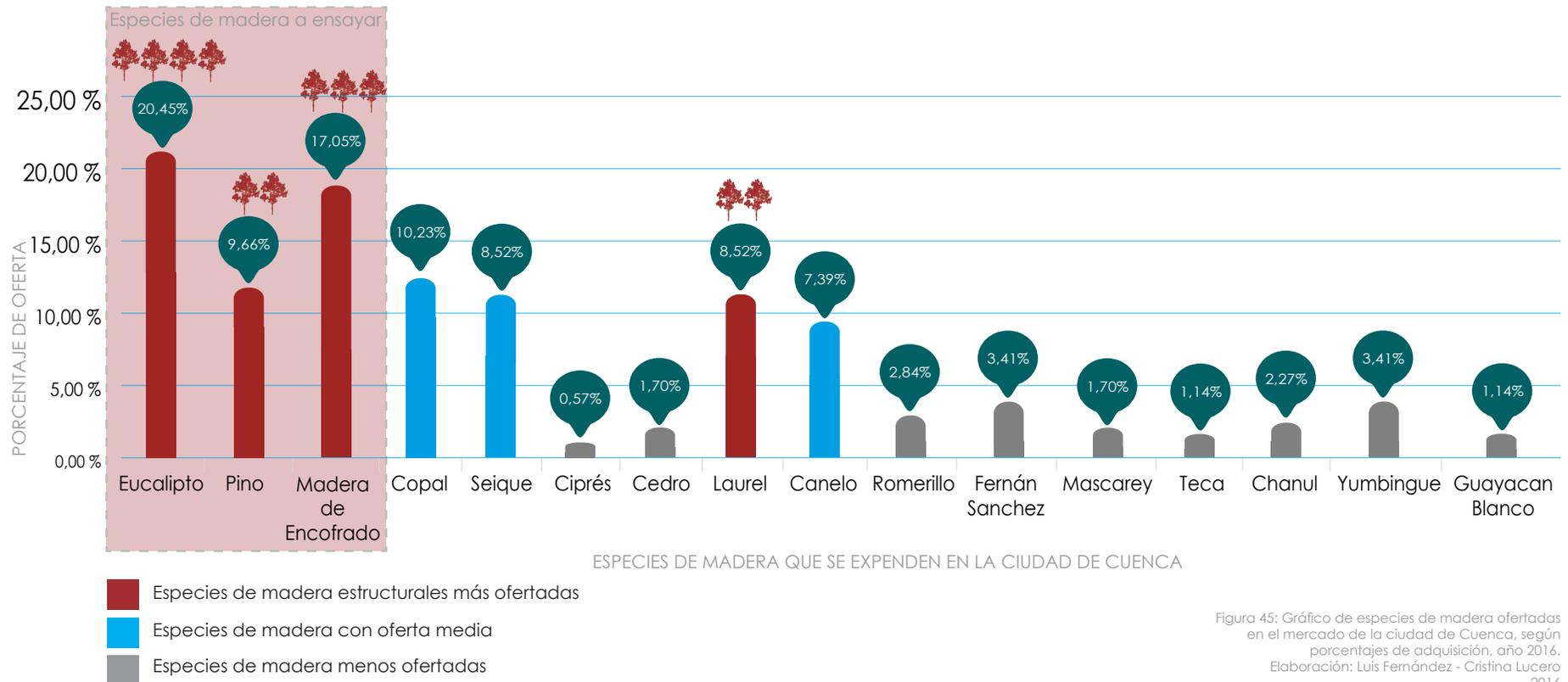


Figura 45: Gráfico de especies de madera ofertadas en el mercado de la ciudad de Cuenca, según porcentajes de adquisición, año 2016. Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero 2016

b. Análisis de propiedades físicas y mecánicas de las maderas más ofertadas en el mercado de Cuenca

Se han tomado en cuenta varios parámetros en cuanto a propiedades físicas y mecánicas de cada tipo de madera, teniendo presente que éstas deben estar dentro del rango de valores que presenta la normativa. Es esencial contar con las mejores características de trabajabilidad, resistencia a la compresión, flexión, tensión y dureza, así como también cortante y el contenido de humedad. Todas estas características garantizarán que el diseño de la propuesta sea el adecuado, previniendo también los posibles variaciones que se puedan dar, ya que al ser un material no procesado, tiende a deformarse.

Se ha descartado la posibilidad de usar la madera de baja densidad, pues no se tiene un conocimiento específico de sus propiedades. Éste tipo de madera se expende con una diversidad de especies de madera

no clasificada, por lo que no se puede tener un control o prever las deformaciones que puedan darse en un futuro y sobretodo al presentar un costo elevado a comparación de la madera de Eucalipto que es una de las especies más baratas (Anexos). pues el sistema apunta a lo ambiental, económico y social, por lo que se descarta la posibilidad de uso en la propuesta.

Para definir la especie a usar se ejecutaron pruebas en laboratorio de la madera de Eucalipto, Pino y Laurel para realizar una comparación entre sus propiedades físicas y mecánicas, y optar así, por la que mejores características presente.

Éstas pruebas se hicieron en base a la norma ASTM, American Section of the International Association for Testing Materials, D143 - 94 Standard Test Methods for small Clear Specimens

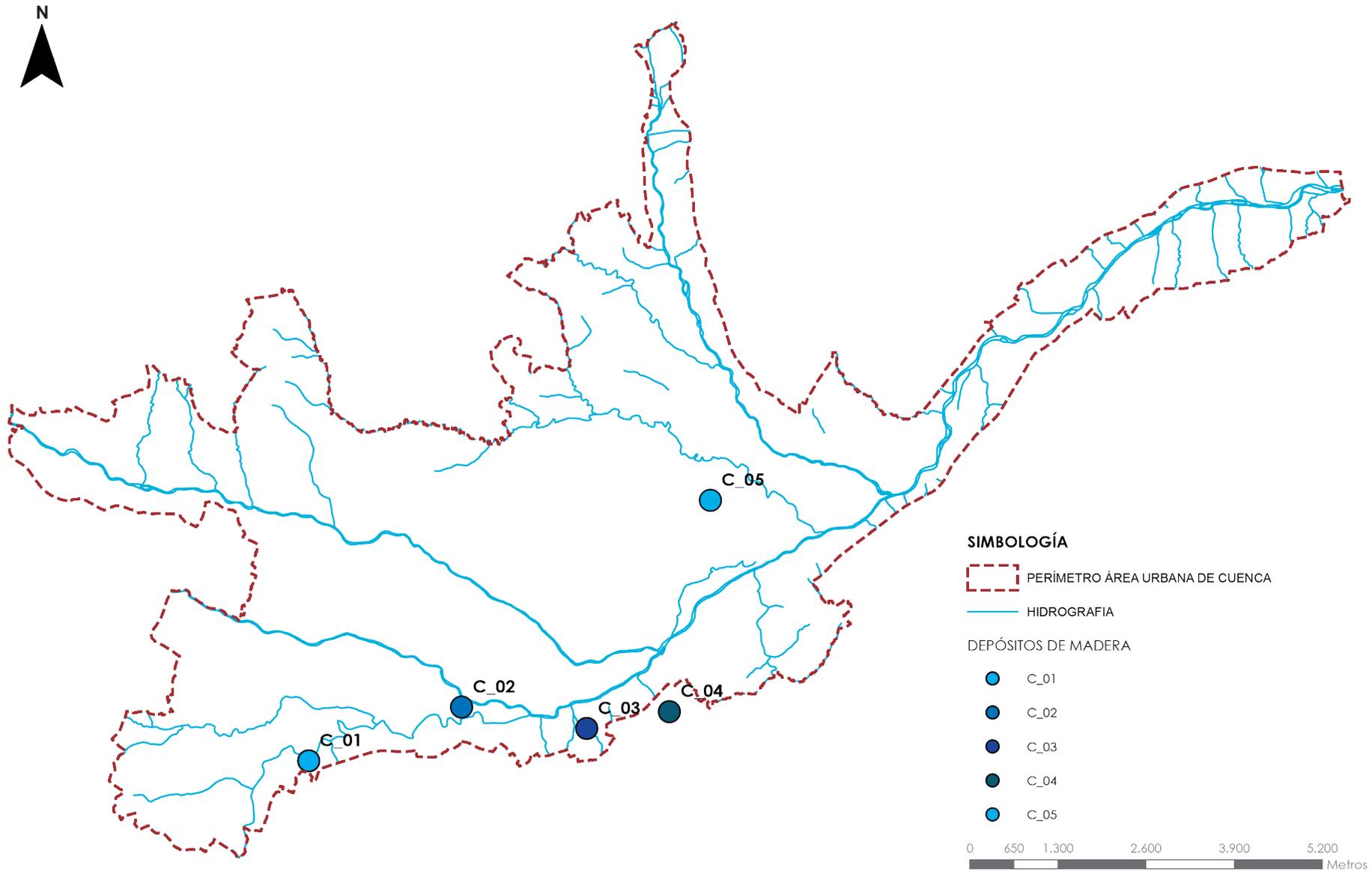
of Timber (Sección Americana de la Asociación Internacional de Ensayos de Materiales, D143 - 94 Método estandarizado para el muestreo de pequeños especímenes de madera libre de defectos). Se ha utilizado esta norma ya que el ASTM International es una de las organizaciones que desarrolla normas internacionales más grande del mundo. Estas normas son aceptadas mundialmente y abarcan áreas tales como metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, el medio ambiente, productos para consumidores, dispositivos y servicios médicos y productos electrónicos.

La adopción general de éstos métodos tiende a la unificación mundial de resultados que permiten un intercambio y correlación de datos, estableciendo las bases para un cuerpo acumulativo de información fundamental sobre las

especies de madera en el mundo.¹

Se tomaron 4 muestras de cada especie de madera a ensayar, que fueron adquiridas en 5 diferentes puntos de venta de la ciudad de manera aleatoria, como se puede observar en la figura 46, donde se indican los depósitos en los cuales fueron adquiridos los especímenes.

1: (ASTM D143 - 94 Standard Test Methods for small Clear Specimens of Timber)



46

Figura 46: Gráfico de locales comercial donde fueron adquiridos las especies de madera ensayadas.
Elaboración: Grupo de investigación in.Lab Cuenca, 2016.

Se adoptó esta metodología, ya que, para tomar una muestra real se necesita un diseño de ensayos, donde se requiere mayores conocimientos estadísticos para determinar un muestreo óptimo y real del campo a analizar. Sin embargo, este no es el objetivo de la investigación, por lo que se ha simplificado y a través de la aprobación de los profesionales asesores de la investigación, se determinó ensayar 4 muestras de las 3 especies tanto de Eucalipto como de Laurel y Pino.

Para realizar los ensayos se usaron probetas de diversos formatos siguiendo el método primario de la norma D143 - 94 (Anexo), los mismos se refieren:

- Contenido de humedad
- Flexión estática
- Compresión paralela a la fibra

- Compresión perpendicular a la fibra
- Impacto de doblez
- Dureza
- Tensión paralela a la fibra
- Tensión perpendicular a la fibra
- La retirada del clavo
- La contracción radial y tangencial
- Corte o cizallamiento paralelo al grano

Los ensayos realizados se efectuaron en el laboratorio de la Facultad de Arquitectura y la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, de los ensayos mencionados se realizaron los fundamentales para nuestro análisis, estos fueron los necesarios para determinar **la resistencia a la compresión paralela y perpendicular, flexión, contenido de humedad y corte o cizallamiento paralelo al grano.** (Anexos)

De esta manera se pretende tener un acercamiento a la realidad de la oferta de madera en la ciudad de Cuenca.

Bajo estos antecedentes, a continuación se explica cada uno de las propiedades físicas y mecánicas obtenidas mediante los ensayos, para un mayor entendimiento del proceso realizado para la elección del material.

b.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Contenido de humedad (CH): es el porcentaje en peso, de la relación existente entre el peso de agua que contiene y el peso en estado seco (o anhidro) (NEC Estructuras de madera, p.29). Esta es una de las propiedades más importantes pues influye en las demás propiedades físicas y mecánicas.

$$CH\% = \frac{PV - PS}{PS} \times 100$$

Donde: PV= Peso inicial (g).

PS= Peso de la madera seco al horno (g).

Densidad (d): Relación entre la masa y el volumen de los distintos elementos que conforman la madera, esta propiedad ayuda a determinar la mayor o menor resistencia del material.

$$d = \frac{m}{V}$$

Tomando la masa como el peso del cuerpo. Se distinguen cuatro densidades para una misma muestra

de madera:

- Densidad verde
- Densidad seca al aire
- Densidad anhidra
- Densidad básica

Todas estas se encuentran en relación al volumen y el contenido de humedad, de las cuales se calcula la densidad anhidra que es la relación del peso seco al horno y el volumen seco al horno.

$$\text{Densidad Anhidra (DA)} = \frac{\text{Peso seco al horno (PSH)}}{\text{Volumen seco al horno (VSH)}}$$

Peso específico (Pe): Es la relación entre el peso de la madera, a un determinado contenido de humedad y el peso del volumen de agua desplazado por el volumen de la madera. (JUNAC, 1984,p.1-19)

$$Pe = \frac{\text{peso madera}}{\text{volumen húmedo}} / \text{densidad del agua}$$

b.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

Estas propiedades hacen referencia a la resistencia que ofrece el material, a los diferentes esfuerzos a los que esta sometido cuando está en uso.

Flexión estática: Es la resistencia que ofrece la madera a una carga que actúa sobre una viga, en una posición perpendicular a su eje longitudinal.

La flexión estática se expresa en base a los siguientes esfuerzos:

Módulo de ruptura (MOR): Es el mayor esfuerzo aplicado a las fibras de la madera cuando el espécimen se rompe bajo la influencia de una carga.

Su fórmula es:

$$MOR(kg/cm^2) = \frac{1,5 \times \text{carga máxima} \times \text{luz entre apoyos}}{\text{ancho de probeta} \times (\text{altura de probeta})^2}$$

Módulo de elasticidad (MOE): Es la relación lineal entre un esfuerzo y la tensión producidos en el rango de elasticidad de un material (esfuerzos sin producir deformación), como indicador de su rigidez. Cuanto mayor es el MOE, menor es su deformación. Su fórmula es:

$$MOE(kg/cm^2) = \frac{0,25 \times (\text{luz entre apoyos})^2 \times CLP}{\text{ancho de probeta} \times (\text{altura de probeta})^3 \times DLP}$$

Compresión: Es el esfuerzo resultante de las tensiones o presiones aplicadas a la madera. Para éstos ensayos, se los divide en compresión paralela a la fibra y perpendicular a la fibra. Según la norma ASTM éstos se expresan mediante los esfuerzos del límite proporcional, el módulo de ruptura o resistencia máxima, donde para el módulo de ruptura, su fórmula es:

$$MOR(kg/cm^2) = \frac{\text{carga máxima}}{\text{ancho de probeta} \times \text{espesor de probeta}}$$

para el esfuerzo del límite proporcional (ELP) su fórmula es:

$$ELP(kg/cm^2) = \frac{\text{Carga en el límite proporcional}}{\text{Ancho de pieza metálica} \times \text{espesor de pieza metálica}}$$

para el esfuerzo máximo su fórmula es:

$$\text{Esfuerzo máximo}(kg/cm^2) = \frac{\text{carga máxima}}{5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}}$$

Corte o cizallamiento: Es la deformación que se produce por una fuerza externa, también llamado corte, o cortadura y se presenta cuando la madera esta sometida a esfuerzos de flexión.

En base a estos conceptos, se realizaron los ensayos respectivos a las 3 especies elegidas de las cuales se verifican y comparan los valores obtenidos con los valores que especifica la Norma Ecuatoriana de la Construcción para Maderas estructurales (NEC 11) y el Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino, ya que estas son las normativas vigentes en el Ecuador sobre madera estructural, y de esta manera se comprueba que las maderas que se ofertan en el mercado cumplan dichos requisitos. "Únicamente el análisis de las cargas hará posible solventar los sistemas de refuerzo estructural, pues las piezas actúan en función de las cargas de servicio o mejor conocidas como esfuerzos admisibles." (D. Enriquez, 2014, p.110).

Para definir los esfuerzos admisibles de cada especie de madera, el

Manual de Diseño del Grupo Andino ha dividido la madera en tres grupos estructurales (A, B y C) como se observa en la tabla 04, los mismos que están basados en las propiedades mecánicas, especialmente en la densidad básica.

En el caso de las especies estudiadas, el Eucalipto pertenece al grupo B, y el Pino y Laurel al grupo C, según datos del Manual de Diseño de madera del Grupo Andino. En los ensayos realizados, se determinó que la densidad de estas tres especies superan los valores de densidad que propone este manual (Tabla 05), por lo que se puede decir que las propiedades mecánicas de las maderas que se ofertan en el mercado son óptimas, ya que "La densidad es una medida de la cantidad de material sólido que posee la madera(...) puede esperarse que la resistencia sea directamente

proporcional a la densidad, es decir, a mayor densidad mayor resistencia". (JUNAC, 1982, p. 1-30)

Grupos estructurales de madera, según su resistencia y densidad básica

GRUPOS ESTRUCTURALES	RESISTENCIA	DENSIDAD BÁSICA
A	++++	0,71 - 0,90
B	+++	0,56 - 0,70
C	+	0,40 - 0,55

← EUCALIPTO
← PINO - LAUREL

05

Tabla 05: Grupos estructurales de madera, según su resistencia y densidad básica. JUNAC (PADT-REFORT). "Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino". Lima-Perú, 1982.

c. Ventajas desventajas de las maderas ensayadas

Se procesa los datos de las propiedades mecánicas (Anexos), los mismos que se comparan con los que indica la normativa vigente y a la vez con los datos que proporciona el Ministerio del Ambiente en sus fichas técnicas, (Tablas 06, 07, 08), encontrando grandes deferencias en cuanto a densidades, resistencias y esfuerzos tanto de compresión, flexión, así como de corte.

Los resultados obtenidos de las maderas ensayadas muestran que, el Eucalipto presenta los mejores comportamientos estructurales en cuanto a propiedades mecánicas, pues los esfuerzos de compresión, flexión y corte, muestran una resistencia mayor frente a la madera de Pino y especialmente de Laurel. Así también se puede observar, en los datos que proporciona el Ministerio del Ambiente (Tabla 08), que la madera de Eucalipto es la

mas óptima en cuanto a resistencia se trata.

El contenido de humedad (CH) es una de las propiedades más importantes, como se mencionó anteriormente, pues la madera pierde resistencia cuando aumenta el contenido de humedad, es por ello que el CH de las maderas estructurales debe estar entre el 12 al 19%. De las maderas ensayadas, se muestra que presentan un CH entre 13 y 15% por lo que se encuentran dentro del rango permitido según normativa.

En el proceso de elaboración del ensayo del contenido de humedad se pudo observar que el Eucalipto al secarlo completamente presenta deformaciones considerables en su constitución física, mientras que el Laurel y el Pino no presentan mayores cambios físicos, sin embargo, en el Laurel su peso



47



48



49





se reduce considerablemente al estar la muestra en estado anhidro (completamente seco), mientras que el Pino y el Eucalipto no presentan grandes variaciones (Anexos). El Pino es una madera mucho más uniforme en cuanto a su constitución física, esto se pudo observar al momento de tomar las medidas de las probetas después de ensayadas, donde resultaron evidentes dichas deformaciones como se puede observar en las figuras 47, 48, 49.

En cuanto a los esfuerzos de compresión y flexión, la normativa nos da como valores mínimos 145kg/cm^2 de compresión paralela, 40kg/cm^2 de compresión perpendicular y para el esfuerzo de flexión 210kg/cm^2 , sin embargo los valores obtenidos de las maderas ensayadas superan estos valores (Tablas 06, 07 y Anexos), por lo que se afirma que la madera que se oferta en el mercado cumple con

los requisitos para ser utilizadas en estructuras dentro de la construcción

Al comparar los valores que indican las fichas técnicas que publica el Ministerio del Ambiente, se muestran resultados superiores de las especies ensayadas. Por lo que al realizar la comparación de resultados de éstas dos fuentes, sumando a los resultados obtenidos en laboratorio, se opta por tomar los datos que proporciona el Manual de Diseño de Madera del Grupo Andino para los cálculos posteriores de esfuerzos admisibles en el diseño, ya que la Norma Ecuatoriana de la Construcción de Madera (NEC) hace referencia en todos sus capítulos a los esfuerzos que aquí se muestran (Tabla 06).

Esfuerzos admisibles según el Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino

GRUPO	FLEXIÓN	COMPRESIÓN PARALELA	COMPRESIÓN PERPENDICULAR	CORTE PARALELO	DENSIDAD BÁSICA	CONTENIDO DE HUMEDAD
	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	g/cm ³	%
GRUPO A	210	145	40	16	0,71 - 0,90	
GRUPO B	150	110	28	12	0,56 - 0,70	12 - 19%
GRUPO C	100	80	15	8	0,40 - 0,55	

06

Esfuerzos admisibles promedios según resultados obtenidos en laboratorio por el Grupo de investigación

TIPO DE MADERA	FLEXIÓN (MOR)	COMPRESIÓN PARALELA (MOR)	COMPRESIÓN PERPENDICULAR (MOR)	CORTE PARALELO (esfuerzo máximo)	DENSIDAD BÁSICA	CONTENIDO DE HUMEDAD
	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	g/cm ³	%
LAUREL	554,660	238,787	152,505	33,362	0,926	15,134
PINO	395,717	244,983	265,457	61,441	0,921	15,292
EUCALIPTO	814,397	375,56	370,534	73,337	0,939	13,356

07

Tabla 06: Grupos estructurales de madera, según esfuerzos admisibles, año 2016. Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino, 1984

Tabla 07: Resumen de resultados obtenidos de las maderas ensayadas, según esfuerzos admisibles, año 2016.
 Figura 47: Muestra de espécimen ensayado de Laurel, bajo fuerza de compresión paralela a la fibra.
 Figura 48: Muestra de espécimen ensayado de Pino, bajo fuerza de compresión paralela a la fibra.
 Figura 49: Muestra de espécimen ensayado de Eucalipto, bajo fuerza de compresión paralela a la fibra.

Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero 2016

Análisis de propiedades físicas y mecánicas de las especies seleccionadas según datos del Ministerio del Ambiente

MADERAS	EUCALIPTO 	LAUREL 	PINO 	
NOMBRE CIENTÍFICO ESPECIES	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill INTRODUCIDA	<i>Cordia alliodora</i> NATIVA	<i>Pinus radiata</i> D. Don INTRODUCIDA	
TURNÓ ÓPTIMO	15 a 13 años	15 a 20 años	22 años	PROPIEDADES FÍSICAS
RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS	10-12m ³ /ha/año.	10 – 20 m ³ /ha año	23 m ³ /ha/año.	
MADERA ESTRUCTURAL	✓✓✓	✓✓	✓✓✓	
ATAQUE DE HONGOS Y TERMITAS	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	
DURABILIDAD	✓✓	✓✓	✓✓	
TRABAJABILIDAD	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	
SECADO	✓	✓✓	✓✓	
DENSIDAD BÁSICA	0,55 g/cm ³	0,39 g/cm ³	0,39 g/cm ⁴	
CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	-	2,40%	1,73%	PROPIEDADES MECÁNICAS
FLEXIÓN ESTÁTICA (MOR)	1068 kg/cm ²	478 kg/cm ²	793 kg/cm ²	
FLEXIÓN ESTÁTICA (MOEx10³)	138 kg/cm ²	70 kg/cm ²	110,2 kg/cm ²	
COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO (MOR)	470 kg/cm ²	348 kg/cm ²	434 kg/cm ²	
COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO (ELP)	80 kg/cm ²	46 kg/cm ²	74 kg/cm ²	

Tabla 08: Tabla comparativa de propiedades físicas y mecánicas, según datos del Ministerio del Ambiente del Ecuador, año 2014.
Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero 2016

1.4.4 Análisis de secciones efectivas de trabajo

Las dimensiones y formas geométricas de la madera disponible en el mercado, son limitadas, en particular por el tamaño de los troncos (NEC Estructuras de maderas, 2014, p.44).

Para lograr un diseño eficiente se opta por secciones modulares, "La uniformidad de dimensiones de los elementos de madera disponibles para la construcción lleva por economía al uso de elementos modulares, y esto debe reflejarse en un diseño basado en sistemas constructivos coherentes. Se tendrán en cuenta las tolerancias del material para su uso adecuado. El diseño modular permite reducir el desperdicio del material." (NEC Estructuras de maderas, 2014, p. 25)

Los formatos reales que se ofertan en el medio según las encuestas realizadas (Anexos), son lo que se muestran en la Tabla 08, donde el

espesor mínimo es el de la tabla de 18 mm por 18 a 22cm de ancho y generalmente 3m de largo, aunque el largo de estas piezas puede aumentarse bajo pedido.

Estas medidas se han estandarizado debido a las dimensiones que generalmente presentan los troncos de donde se sacan tablones de espesores máximos de 7cm, y de donde se van seccionando las diferentes piezas, obteniendo tablas, tablones, vigas, viguetas, tiras, tirillas y duelas (Figura 50).

Al analizar los casos de estudio del capítulo I, se observa que es óptimo el uso de secciones comprendidas entre 1,8 a 5cm para estructuras, dependiendo de los elementos que se empleen, es por ello que la sección más conveniente para el diseño es de espesores desde 1,8cm, tomando a la "tabla" como medida estándar (2x20x300cm) y

Formatos comerciales de madera en cm que se ofertan en el mercado de Cuenca

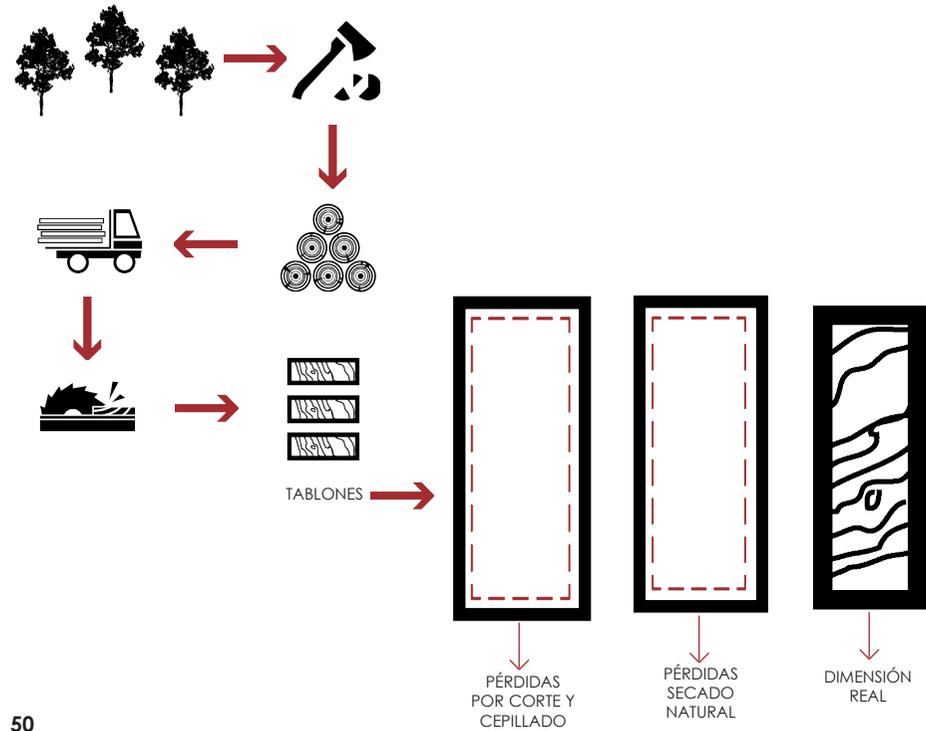
FORMATO	ESPESOR	ANCHO	LARGO
	cm	cm	cm
TABLÓN	3	18	270
TABLA	1,8	18	270
VIGAS	14	16	270
PINGOS	5	5	270
TIRAS	4	5	270
TIRILLAS	1,8	2	270
DUELAS	1,8	10	270

09

Tabla 09: Formatos comerciales de madera en cm que se ofertan en el mercado de Cuenca, año 2016.
Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero
2016

al "tablón" (5x20x300cm) para el dimensionamiento estructural óptimo y eficiente de las costillas.

De estas medidas que existen en el mercado, se ha visto pertinente tomar para el dimensionamiento del diseño estructural el largo útil de 2,70m. Como ya se ha mencionado anteriormente, la mano de obra a usarse no es necesariamente calificada, por lo que existirán imperfecciones en el momento del corte y aserrado del material, es así que las secciones reales y efectivas de las piezas finales para su posterior aplicación en el sistema, serán de 1,8x18x270cm para las tablas y 3x18x270cm para los tablones.



50

Figura 50: Gráfico de obtención de formatos de la madera.
Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero 2016

1.4.5 Determinación de recomendaciones y cuidados de la madera estructural

Para efectuar un uso adecuado de los materiales, es indispensable conocer la naturaleza de los mismos, éste es el caso del estudio sobre la madera, para poder tener en cuenta las propiedades básicas que determinan diversos comportamientos estructurales.

La madera para que sea considerada como estructural debe presentar una gran capacidad portante relacionada íntimamente con su resistencia. Entre las ventajas que posee el uso de este material, se destaca la capacidad de obtener mayores fuerzas de compresión, flexión y tensión por unidad de peso, con el menor gasto energético, como se observa en los resultados obtenidos durante las pruebas en laboratorio.

Bajo éstos parámetros analizados se debe tener en consideración ciertos

requisitos y recomendaciones para un mejor comportamiento del material en la estructura, pues la madera al ser un material natural requiere de ciertos cuidados y refuerzos para asegurar un comportamiento adecuado a largo plazo, sin afectar el funcionamiento estructural al cual va a estar destinado.

Para asegurar la durabilidad de la madera se debe tener conocimiento de los agentes que afectan a la misma, los cuales son agentes bióticos (vivos) y agentes abióticos (no vivos) (Figura 51).

Uno de los agentes que más afectan a la madera es sin duda el agua, ya que la variación de volumen en las piezas, ocasiona serios problemas en aplicaciones estructurales. También se debe recalcar, en cuestiones de durabilidad, que si el nivel de agua es alto y variable, el material se vuelve

susceptible al ataque de Xilófagos y a factores de podredumbre.

La madera tiene varias reacciones ante estos agentes tanto positivas como negativas, dependiendo de las cualidades de sus especies, presenta resistencia a ciertos hongos e insectos, así como a los agentes abióticos.

Según datos proporcionados por las fichas técnicas de Ecuador Forestal, el Pino, es una especie que no resiste al ataque de hongos e insectos, y tiene una durabilidad en uso exterior de un año, sin embargo es una madera de fácil preservación, por lo tanto se debe tener mayor cuidado la aplicación de los mismos, mientras que el Eucalipto es moderadamente durable, siendo resistente al ataque de hongos.

Se deben emplear métodos de

AGENTES BIÓTICOS



CICLO LARVARIO



INSECTO ISÓPTERO



OTROS INSECTOS



HONGOS DE PUDRICIÓN



HONGOS CROMÓGENOS



HONGOS XILÓFAGOS

AGENTES ABIÓTICOS



SOL



FUEGO



AGUA



CAMBIO DE TEMPERATURA

51

Figura 51: Ilustración de agentes que alteran y degradan la madera.
Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero 2016

protección, que garanticen una óptima penetración a la madera y se prevenga de esta manera la afección de dichos agentes.

En la industria de la madera se utilizan varias sustancias tóxicas, que aplicadas racionalmente, protegen la madera de sus agentes atacantes. Éstos compuestos químicos varían según su naturaleza y aplicación según el uso que va a tener la madera a proteger.

Estos preservantes deben cumplir ciertas características, según la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Bolivia, en su publicación "TÉCNICAS PARA LA PRESERVACIÓN DE MADERAS", nos dice que "Un preservante debe reunir ciertas características:

- **Toxicidad**
- **Penetrabilidad** ¹
- **Permanencia**

- **Inocuidad** ²
- **No corrosivos**
- **No combustibles**
- **No fitotóxicos** ³
- **Económicos y accesibles**"

Al aplicar estos compuestos en la madera se debe tener en cuenta ciertas precauciones para evitar tener riesgos en la salud, por lo que la madera recién tratada debe ser manipulada con gran cuidado, utilizando guantes, y evitar el contacto directo, caso contrario se debe lavar el área afectada con abundante agua y jabón.

Se debe tener presente que si se manipula estos preservantes con cuidado, no existe peligro, pero se tendrán ciertas precauciones pues los individuos tienen diferente sensibilidad frente a los componentes químicos y cualquier persona que sufra alergias al preservante debe

recurrir al médico. (Técnicas para la preservación de madera, 1998, p. XV-5)

Bajo estos lineamientos se debe optar por preservantes que menos impactos tanto ambientales como para la salud presenten, como se puede observar en la Tabla 10 tomada de la tesis "PANELES DE BAHAREQUE PREFABRICADO Y APLICACIÓN A UNA VIVIENDA", los preservantes menos tóxicos son el bórax, el ácido bórico y el aceite de linaza.

Así también por medio de la asesoría de técnicos especializados en la aplicación de éstos preservantes, se ha determinado que el aceite quemado de auto, la cera de abeja, la cera de piso diluida, son buenos protectores empleados. Así como también la gasolina de bunker de aviones junto con naftalina, o el diesel, tienen una buena penetración

1. Penetrabilidad para alcanzar efectividad en este sentido es necesario contar con factores como el de contenido de humedad, porosidad de la madera y el grado de viscosidad del producto químico., En algunos casos las sustancias químicas reaccionan con la madera produciendo precipitados insolubles que disminuyen o impiden la penetración del preservante.

2. Inocuidad, todo preservante debe ser seguro de manipular, no deben exigir del hombre y animales domésticos otros cuidados que los requeridos por los productos químicos convenientes y cuando este presenta riesgo especial se lo debe clasificar como peligroso.

3. No fitotóxicos, cuando la madera tratada será utilizada en ciertos cultivos agrícolas, debe tomarse el cuidado de que el producto químico no contamine los productos alimenticios.

y son buenos químicos de protección de la madera, al mismo tiempo que son los más asequibles en el mercado y han sido empleado ancestralmente en la construcción,

Se determinó, que el diesel será el preservante que se aplicará en la estructura diseñada, con opción de prueba del bórax o aceite de linaza.

Preservantes de la madera según efectos tóxicos y ambientales

NOMBRE DE PRESERVANTES	COMPOSICIÓN	TOXICIDAD	EFEECTO AMBIENTAL	CARCINÓGENO
SALES CCA	Dicromato de potasio	✓	✓	✓
	Sulfato de cobre	✓	✓	✓
	Pentóxido de arsénico	✓	✓	✓
SALES CCB	Dicromato de potasio	✓	✓	✓
	Sulfato de cobre	✓	✓	✓
	Boro	✓		
CREOSOTA	Diferentes compuestos químicos	✓	✓	✓
PRESERVANTE 1	Bórax	✓		
	Ácido Bórico	✓		
	Dicromato de sodio	✓	✓	✓
PRESERVANTE 2	Ácido Bórico	✓		
	Sulfato de cobre	✓	✓	
	Dicromato de sodio	✓	✓	✓
PRESERVANTE 3	Aceite de linaza	✓		

Tabla 10: Preservantes de la madera según efectos tóxicos y ambientales
 Fuente: Vacacela, N. 2015, p. 48. Innovación en el bahareque como material alternativo y económico de construcción modular. Universidad de Cuenca.
 Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero 2016

1.4.6 Validación de criterios

• Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción para Estructuras de Madera (NEC 11), dice que "la **madera empleada en estructuras** deberá reunir las siguientes condiciones:

- Debe ser material clasificado como de **calidad estructural**, conforme a la sección 6.8
- Debe provenir de especies maderables correspondientes a cualquiera de los **tres Grupos Estructurales** (A, B o C) definidos en la sección 8.3
- Deben ser piezas de madera dimensionadas de acuerdo a las secciones más usuales.
- Usar madera seca con un **contenido de humedad** máxima del **19% o del 12%(...)**.
- La madera estructural debe ser de buena durabilidad natural, o, en su defecto, debe ser preservada adecuadamente.
- Los elementos metálicos de las uniones deberán llevar pintura anticorrosiva o en su defecto protección de zincado, si así se especifica en el diseño." (NEC, 2014, p. 60)

Además la norma vigente para la construcción en Ecuador, detalla que "la madera estructural es aquella que en uso, a más de soportar su propio peso, estará sujeta a esfuerzos diversos. Por tal razón, deberá tener una **densidad básica mínima de 0,4 gr/cm³**" (Ibidem).

- En base a los criterios descritos por la norma, se descarta el uso

del Laurel en el diseño estructural, por ser la especie que menores valores presenta en sus esfuerzos y al ser una madera de alto valor económico.

• Según datos de Ecuador Forestal, el Eucalipto es una especie de rápido crecimiento, su buena poda natural disminuye los costos tanto del manejo forestal como de transporte. Es una especie muy ofertada en el mercado local por ser una de las más plantadas en el Ecuador y en la Sierra en especial, pues se adapta fácilmente al clima

• El peso que presenta las tablas y tablonos de madera es manejable, éste aspecto se debe tener muy en cuenta, ya que el poco peso dentro de una estructura es fundamental, pues de esta manera actúa de mejor manera frente a sismos "Las fuerzas que se presentan en las estructuras debido a la aceleración del sismo están directamente relacionadas con el peso de la edificación. A mayor peso, mayores fuerzas de inercia y viceversa." (Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, 1984, p. 6 - 33).

• Los precios en los que se expenden la madera son variables de una especie a otra, esta diferenciación se da por la accesibilidad de los mismos, es decir, de los bosque de los cuales se ha extraído, y por la transportación de la madera del lugar de origen al lugar de uso.

• Según resultados de las encuestas levantadas en campo, el precio de las diversas especies de madera en el formato de **tabla**, varía desde los



\$2,00 hasta los \$20,00, el **tablón** varía desde valores de **\$3,00 hasta los \$23,75**, siendo el **Eucalipto la especie de madera más económica** y el Guayacán Blanco y el Cedro, las especies más costosa.

- Es importante tener en cuenta que el Eucalipto tiene variaciones considerables en su constitución física por lo que se debe tener mayor cuidado al momento de su almacenamiento, así como también se debe tener en cuenta éste factor para ser controlado mediante el diseño estructural.

- La madera para garantizar su preservación futura se debe prever mayores cuidados, mas aún cuando se encuentra expuesta a la interperie. Por ello se debe tener en cuenta las recomendaciones que aquí se presentan, en cuanto a la aplicación de **químicos protectores** para garantizar un **uso adecuado**.

MADERA	NOMBRE	ORIGEN	ACCESIBILIDAD EN EL MEDIO			CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
			OFERTA EN EL MERCADO	PRECIO PROMEDIO EN EL MERCADO DE CUENCA		DIMENSIÓN REAL	TRABAJABILIDAD	RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS
ESPECIE	CIENTÍFICO		%	TABLA	TABLÓN	mm		
LAUREL	CORDIA ALLIODORA	NATIVA	17	\$ 7,43	\$ 11,69		BUENO	10 – 20 m ³ /ha año
PINO	PINO RADIATA	INTRODUCIDA	30	\$ 5,82	\$ 10,77	1,8x18x270	BUENO	23 m ³ /ha/año.
EUCALIPTO	EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL	INTRODUCIDA	41	\$ 2,56	\$ 5,13		BAJO	10-12m3/ha/año.

11



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS ENSAYADAS					
TURNO ÓPTIMO	MADERA ESTRUCTURAL	ATAQUE DE HONGOS E INSECTOS	COMPRESIÓN PARALELA	COMPRESIÓN PERPENDICULAR	FLEXIÓN	CORTE	DENSIDAD BÁSICA	CONTENIDO DE HUMEDAD
			Kg/cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	g/cm3	%
15 - 20 AÑOS	SI	BUENO	238,787	152,505	554,660	33,362	0,926	15,134
22 AÑOS	SI	MEDIO	244,983	265,457	395,717	61,441	0,921	15,292
13 - 15 AÑOS	SI	BUENO	375,56	370,534	814,397	73,337	0,939	13,356

Tabla 11. Cuadro resumen de propiedades físicas y mecánicas de las maderas ensayadas y analizadas de la ciudad de Cuenca año 2016.
Elaboración: Luis Fernández, Cristina Lucero 2016

1.5 Lógica de funcionamiento del sistema de costillas

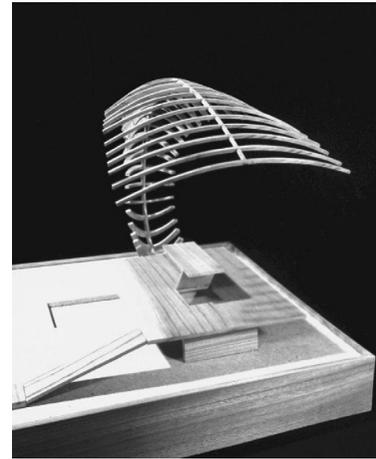
Para la concreción de un proyecto arquitectónico se deben integrar múltiples disciplinas como son la arquitectura y la ingeniería estructural principalmente, pues estas dos áreas deben ir en armonía y de la mano, pues la estructura y el espacio deben ser resultado de objetivos comunes.

Para el presente estudio es indispensable conocer y comprender la lógica y geometría del sistema de costillas, pues el funcionamiento del mismo dará ciertos parámetros para el posterior diseño.

Se parte del término "costillas" que se usa en varias áreas como la anatomía, la construcción naval y aeronáutica, donde las costillas en todos los casos son elementos que estructuran, es decir que dan soporte, presentando siempre una sección transversal mínima a comparación del área que abarca o resiste. Este

concepto aplicado en la arquitectura, es el mismo.

El termino "costillas de secciones laminares" ya ha sido empleado años atrás en la arquitectura, pero ha tenido poco desarrollo, sin embargo podemos observar la efectividad que el sistema proporciona en "La capilla exterior construida en el patio de los Alarifes del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, fue concebida en forma de costilla laminar en 1969 como símbolo de las posibilidades que la tecnología del hormigón armado ofrecía en aquella época. El resultado fue una lámina de hormigón armado de 10 m de longitud y 6,5 m de altura con espesores que varían entre 6 y 40 cm y estructurada por costillas definidas a partir de una directriz en forma de Lemniscata de Bernoulli." (Echevarría, 2014). A pesar de que existen ejemplos que toman a la



52



53

Figura 52: Maqueta de estructura de costilla laminar

Figura 53: Construcción de Capilla

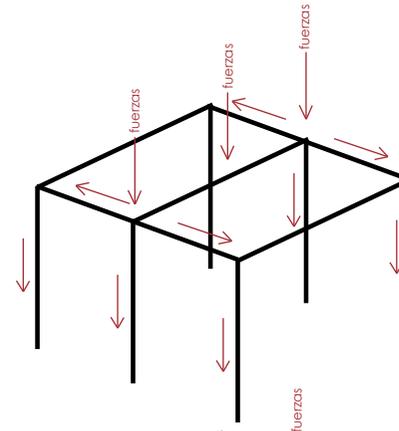
Echevarría, L., Garnica, C., Gutiérrez, J. P. (2014). La costilla laminar del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC). Levantamiento mediante láser-escáner y evaluación estructural. *Informes de la Construcción*, 66(536): e038, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.116>.

“costilla” como elemento estructural en arquitectura (ver figura 55 - 56), no existe un concepto definido del mismo, pues muchas veces se confunde este sistema con el sistema de pórticos. Es por esto que es indispensable establecer la diferencia entre los mismos.

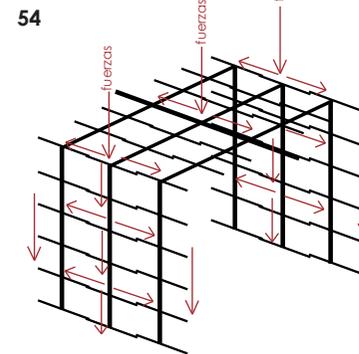
Según el Ing. Xavier Cárdenas en sus apuntes proporcionados en clases, explica, que “el sistema de pórticos conjuga elementos tipo viga y columna, y su estabilidad está determinada por la capacidad de soportar momentos en sus uniones”, es decir es un sistema que funciona en base a dos elementos principales y no utiliza elementos transversales que lo estructuran sin importar sus dimensiones, además las cargas que soporta son puntuales; mientras que, en base a lo estudiado por el grupo de tesis y el grupo de investigación in.Lab Cuenca,

se ha podido determinar que el sistema de costillas se estructura en base a elementos laminares, es decir de secciones pequeñas, presentando elementos transversales y longitudinales, esto hace referencia a que el sistema se estructura por un elemento transversal llamado “costilla” y elementos longitudinales arriostrantes, y las cargas que soporta se reparten uniformemente en la sucesión de elementos que confinan la estructura (Figura 55).

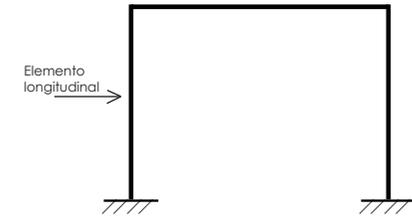
Es así que el sistema estructural de costillas funciona en conjunto con elementos sucesivos arriostrados con otros de menor sección llamados largueros, la suma de éstos garantiza la estabilidad ante diversos esfuerzos, formando una unidad estructural.



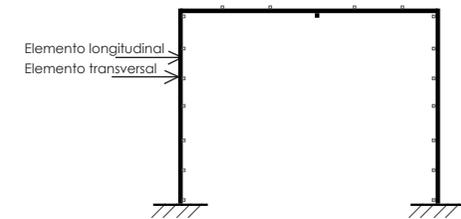
54



56



55



57

NOTA: Las cargas del sistema superior se distribuyen mejor por la cantidad de elementos verticales dispuestos y le hace más económico que un muro, ya que el espaciamiento permite optimizar materiales.
X. Cárdenas (comunicación personal, mayo de 2016)

Figura 54: Dibujo esquemático de la lógica del sistema de pórticos

Figura 55: Dibujo esquemático de un pórtico, vista frontal.

Figura 56: Dibujo esquemático de la lógica del sistema de costillas.

Figura 57: Dibujo esquemático de una costilla, vista frontal.

Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero

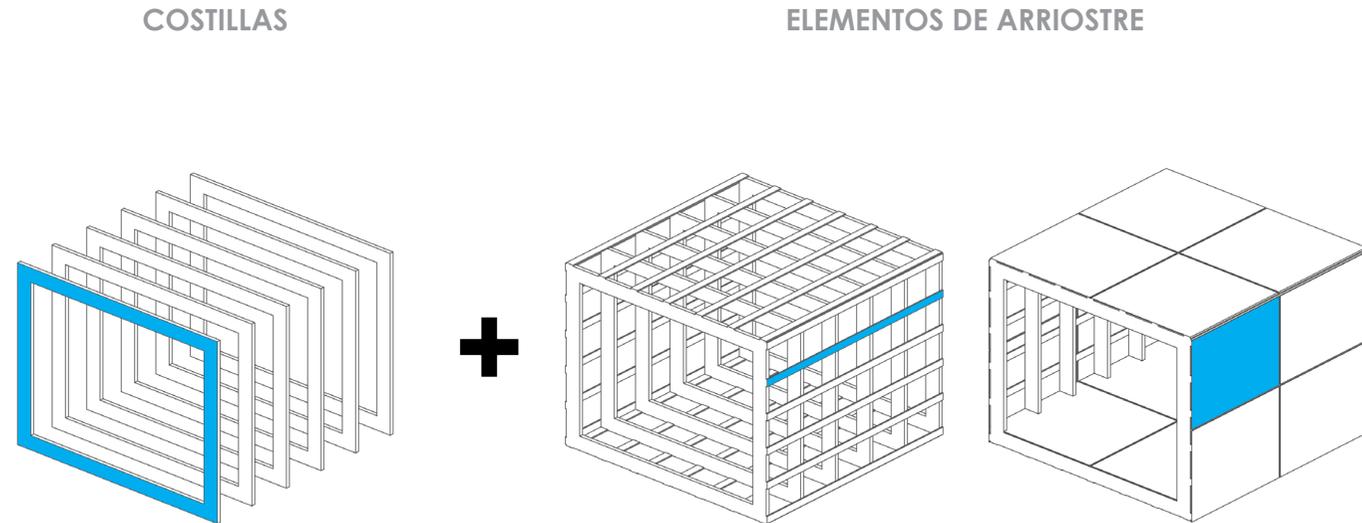
2016

Lógica de funcionamiento

En base a lo analizado en éste capítulo, se determina que en el sistema estructural de costillas existen dos principales componentes para su correcto funcionamiento. Elementos estructurantes transversales llamados costillas, y elementos arriostrantes denominados largueros (Figura 58). Éstos trabajan en conjunto y permiten que la estructura se comporte como una sola unidad al responder ante diversos esfuerzos.

Las costillas principalmente actúan ante cargas verticales y de compresión, mientras que los largueros y cierre actúan ante esfuerzos laterales.

A pesar de que en los casos estudiados donde se aplica éste sistema, tanto costillas, como largueros y cierre se encuentran conformadas por varias piezas, las uniones permiten que éstos funcionen como una unidad que transmite correctamente los esfuerzos a los que se encuentran sometidos.



58

Figura 58: Gráfico esquemático elementos conformantes del sistema de costillas.
Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero
2016

1.6 Conclusiones

- Los referentes analizados donde nace la terminología del sistema de costillas, tanto de una embarcación como de una aeronave, aclaran la lógica de concepción y de trabajo del sistema a diseñar.
- Se define como **sistema de costillas** a la estructura que tiene **elementos sucesivos transversales** (costillas) arriostrados con **largueros longitudinales**. La resistencia ante esfuerzos provenientes de cargas de uso y peso propio, así como de agentes externos, se afronta por el **trabajo en conjunto** de este sistema conformado.
- Para que el sistema de costillas funcione adecuadamente en los ejemplos analizados, no se puede prescindir de ninguno de sus elementos, es por ello que se debe tener en cuenta cada una de sus partes conformantes y su función.
- Las especies de madera más vendidas en la ciudad de Cuenca son el Laurel, el Pino y **el Eucalipto**. Mediante los resultados de los ensayos en laboratorio se determinó que cumplen con los parámetros de contenido de humedad que dicta la normativa (NEC para Maderas Estructurales), por lo que **se encuentran dentro del rango del 12 al 19%**.
- Los esfuerzos de compresión, flexión y corte de las especies más ofertadas, muestran que los **esfuerzos admisibles obtenidos son superiores** a los que especifica la normativa del país, por lo que se puede decir que la madera que existe en el mercado de Cuenca es apta para el empleo en la construcción.
- Se determinó que **la especie de Eucalipto** es la adecuada para emplearla en el diseño del sistema estructural, por criterios de economía, accesibilidad en el mercado, presencia de mejores características físicas y mecánicas, presentando esfuerzos admisibles óptimos tanto por norma como por resultados obtenidos en laboratorio.
- En base a los datos levantados en campo, se determina que el Eucalipto es una de las especies de madera estructurales más económicas. Ésto se debe a que expende a un **costo promedio de \$2,56 la tabla y \$5,13 el tablón**, por lo tanto es económicamente asequible para el consumidor, cumpliendo con uno de los factores principales para encaminar el objetivo planteado.



1.7 Bibliografía

LIBROS

- Báez Delgado, E. (2014). Estabilidad de buques. Universidad de la Laguna, Escuela Superior de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval.
- Rodas Andrade, H. (2014). Prediseño de elementos estructurales de madera, Estructuras 1 apuntes de clases (pp. 63-75). Cuenca-Ecuador.

TESIS

- Crespo Cabillo, I. (2005). Control gráfico de formas y superficies de transición (Doctorado). Universidad Politécnica de Catalunya.
- Culcay, M. Maldonado, M. (2015). Prototipo de vivienda social sostenible diseño de una vivienda de interés social de clima frío para la ciudad de cuenca (Tesis de Pregrado). Universidad de Cuenca.
- Enríquez, M. (2014) Reforzamiento estructural para forjados de madera en edificaciones patrimoniales y contemporáneas (Tesis de Pregrado). Universidad de Cuenca.
- Vacacela Albuja, N. P. (2015). PANELES DE BAHAREQUE PREFABRICADO Y APLICACIÓN A UNA VIVIENDA (Tesis de Pregrado). Universidad de Cuenca.

PUBLICACIONES

- Crespo, R. Jiménez, E. Law, G. Sánchez, C. Suatunce, P. Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis* L.F.) de Quevedo y Balzar. (2008). p.55-p.63.
- Ecuador forestal. (2007). Planificación estratégica transformación y comercialización de madera en el Ecuador. Quito.
- Vaca de Fuentes, R. B. TÉCNICAS PARA LA PRESERVACIÓN DE MADERAS. (1998), Documento Técnico 65/1998.
- Villacís, M., & Vásconez, S. (2013). Consumo responsable de la madera: una herramienta para disminuir la ilegalidad. Quito: GRUPO FARO
- Wikihouse Fab Barcelona, 3d Lab Quito, in.Lab Cuenca Ciudad Universitaria, Marzo 2016.

NORMATIVAS

- Real Decreto 875/2014 que regula las titulaciones náuticas de recreo. Boletín oficial del estado, España, 11 de octubre del 2014.

NORMAS DE CONSTRUCCIÓN

- ASTM D 143 – 94. "Standard Test Methods for Small Clear Specimens of

Timber". West Conshohocken-Pensilvania: 2000.

Junta del acuerdo de Cartagena (PADTREFORT). "Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino". Lima-Perú: 1984.

Norma Ecuatoriana de la Construcción(NEC-11). "Estructuras de Madera". Quito-Ecuador: 2011.

Norma Ecuatoriana de la Construcción(NEC-11). "Cargas y materiales". Quito-Ecuador: 2011.

PÁGINAS WEB

Astudillo, J.P. in.Lab Cuenca. [Página de Facebook]. Recuperado el 15 de junio de 2016 de https://www.facebook.com/InLabCuenca/info/?entry_point=page_nav_about_item&tab=page_info

(2006, July). A brief history of the chilton aircraft company. Retrieved from Chilton Aircraft website: <http://www.chilton-aircraft.co.uk/nuacinfo.html>

(2012, February). Cálculo de estructuras de buque 1. Retrieved from Cálculo de estructural del buque website: <http://calculoestructural-delbuque.blogspot.com/2013/04/enlace-libro-calculo-de-estructuras-de.html>

(n.d.). Cargas generadas en vuelo. Retrieved from Facultad de Ingeniería Universidad Pública en La Plata website: <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Cargas12.pdf>

(2016). Chilton dw-1 build in nz. Retrieved from Homebuilt Airplanes.com website: <http://www.homebuiltairplanes.com/forums/showthread.php?t=8450&page=4>

(2014, July). Dimensiones del barco. Retrieved from SAIL&TRIP website: <http://sailandtrip.com/partes-del-barco-dimensiones/>

(2014, August). De la tradición a la tecnología digital. 5 proyectos de autoconstrucción. Retrieved from Código Arte - Arquitectura - Diseño website: <http://www.revistacodigo.com/de-la-tradicion-a-la-tecnologia-digital-5-proyectos-de-autoconstruccion/>

(2004). Diseños de embarcaciones pesqueras: 2. lanchas de fondo en «v» endueladas y de madera contrachapada. Retrieved from Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura website: <http://www.fao.org/docrep/007/y5649s/y5649s00.htm>

(2013, July). Ficha técnica no. 15 eucalyptus globulus labill. Retrieved from Ecuador Forestal website: <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-15-eucalyptus-globulus-labill/>

(2005). La madera de pino amarillo. Retrieved from Castor.es Tallas en madera website: http://www.castor.es/pino_amarillo.html

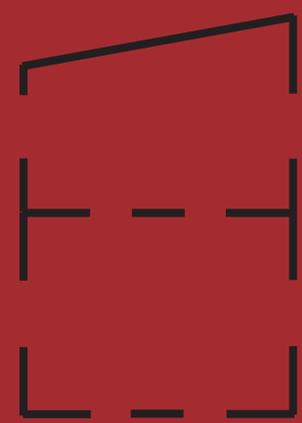
(n.d.). Madera. Retrieved from PRO Ecuador, Instituto de promoción de exportaciones e inversiones website: <http://www.pro-ecuador.gob.ec/compradores/oferta-exportable/madera/>

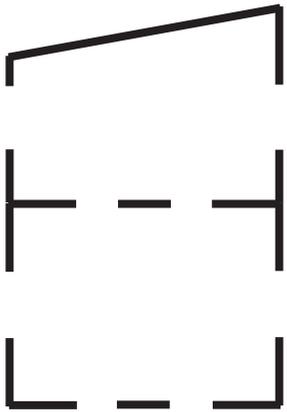


- (2001). Plano del mayflower. Retrieved from Modelismo Naval Austral website: <http://mnaustral.com/planos.php?pl=28>
- (n.d.). Principios básicos. Retrieved from Manual de Vuelo website: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV14.html>
- (n.d.). Principio de arquímedes. Retrieved from Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo website: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/m4.html>
- (n.d.). Propiedades mecánicas. Retrieved from MADERAS DE LA REGIÓN DE MADRE DE DIOS - PERÚ website: <http://maderasdemadrededios.blogspot.com/p/propiedades-mecanicas.html>
- (2016). Sistema nacional de control forestal. Retrieved from Ministerio del Ambiente website: <http://www.ambiente.gob.ec/sistema-nacional-de-control-forestal/>
- (n.d.). Situacion actual de la forestacion y reforestacion en el ecuador. Retrieved from Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura website: <http://www.fao.org/docrep/007/ad102s/AD102S08.htm>
- (n.d.). The chilton high performance monoplane. Retrieved from Chilton Aircraft website: http://www.plans-for-everything.com/downloads/aircraft/aircraft_chilton.pdf

PONENCIA RECUPERADA ON-LINE:

- Aravena, A. (diciembre, 2013). FIVS 2013 Conferencia Arquitecto Alejandro Aravena (Chile). Foro Internacional de vivienda sustentable, Vivienda Social Intraurbana, Mérida Yucatán. Extraído el 06 de julio del 2016: <https://www.youtube.com/watch?v=tGO40uxu6XU>
- Romero, M. (Junio, 2013). Como Vuelan los Aviones. YouTube.com. Extraído el 20 de marzo del 2016: <https://www.youtube.com/watch?v=Jf9qXaMJrR8>.





“Construir menos, compartir más : Arquitectura por la gente y para la gente”
Alastair Parvin





Capítulo II

Descripción y análisis
de caso de estudio



2.1 Introducción

Al definir y comprender la lógica de funcionamiento del sistema de costillas a través del análisis de ejemplos referentes donde se ha aplicado este sistema constructivo desde hace varios años atrás para concebir estructuras estables, y al analizar el material con el cual se concebirá la propuesta dentro de la investigación, se procede a analizar un caso de estudio basado en la funcionalidad que el sistema constructivo proporciona, en éste caso ligado directamente a arquitectura, donde se ha seleccionado el sistema empleado en la Wikihouse.

Éste referente ha sido seleccionado en base a que es uno de los pocos proyectos de vivienda en el que se utiliza el sistema de costillas, a más de eso es un sistema que tiene el carácter de open-source, es decir que cualquier usuario de internet puede descargarse el diseño de los elementos que conforman la estructura de la edificación, imprimirla en planchas de contrachapado y llevarlas a ensamblar en obra, siendo un sistema accesible a todo público que quiera concebir su vivienda bajo éste sistema, actualmente se esta empleando ésta metodología en países Europeos.

Es pertinente el análisis y descripción del proceso para concebir dicha vivienda, ya que el comprender su lógica y conceptos empleados guiará la investigación para la propuesta posterior, especialmente por que el material que se usa en éste caso de estudio emplea elementos de sección laminar, lo cual es fundamental para guiar la construcción de la edificación mediante la autoconstrucción por parte de los usuarios al emplear materiales accesibles y trabajables, haciendo incapié que éste tipo de sistemas funcionan en

conjunto con todos los elementos que aportan estabilidad a la edificación.

En base a esto quedarán asentados los fundamentos y lineamientos para el diseño del sistema estructural de costillas con elementos laminares de madera, ya que se cuenta con los conceptos necesarios para la experimentación en el diseño de un nuevo sistema constructivo.

2.2 Caso de estudio: WikiHouse

2.2.1 Especificaciones técnicas

ARQUITECTOS: Alastair Parvin y Nick Ierodiaconou, estudio Zero Zero de Londres

UBICACIÓN: Londres

AÑO: 2011

MATERIALES: Madera

ÁREA DE CONSTRUCCIÓN: 82m²

LUZ MÍNIMA: 1,20m

LUZ MÁXIMA: 4,08m

ALTURA ENTREPISO: 2,65m

ALTURA TOTAL: 6,70m

2.2.2 Descripción de la estructura del objeto

WikiHouse ha desarrollado un sistema constructivo que sea capaz de ser reproducido y compartido mundialmente, para ello, la complejidad con la que se ensamblan las piezas ha sido reducida a la mínima.

Es un sistema de construcción que recae en un Open Source (código abierto) para que cualquier persona pueda acceder a información de sus planos y así construir su propia vivienda. Las instrucciones que se dan de la WikiHouse, son para que el usuario pueda obtener de manera fácil y asequible el diseño de todas las piezas de la edificación, tanto la estructura como cierre.



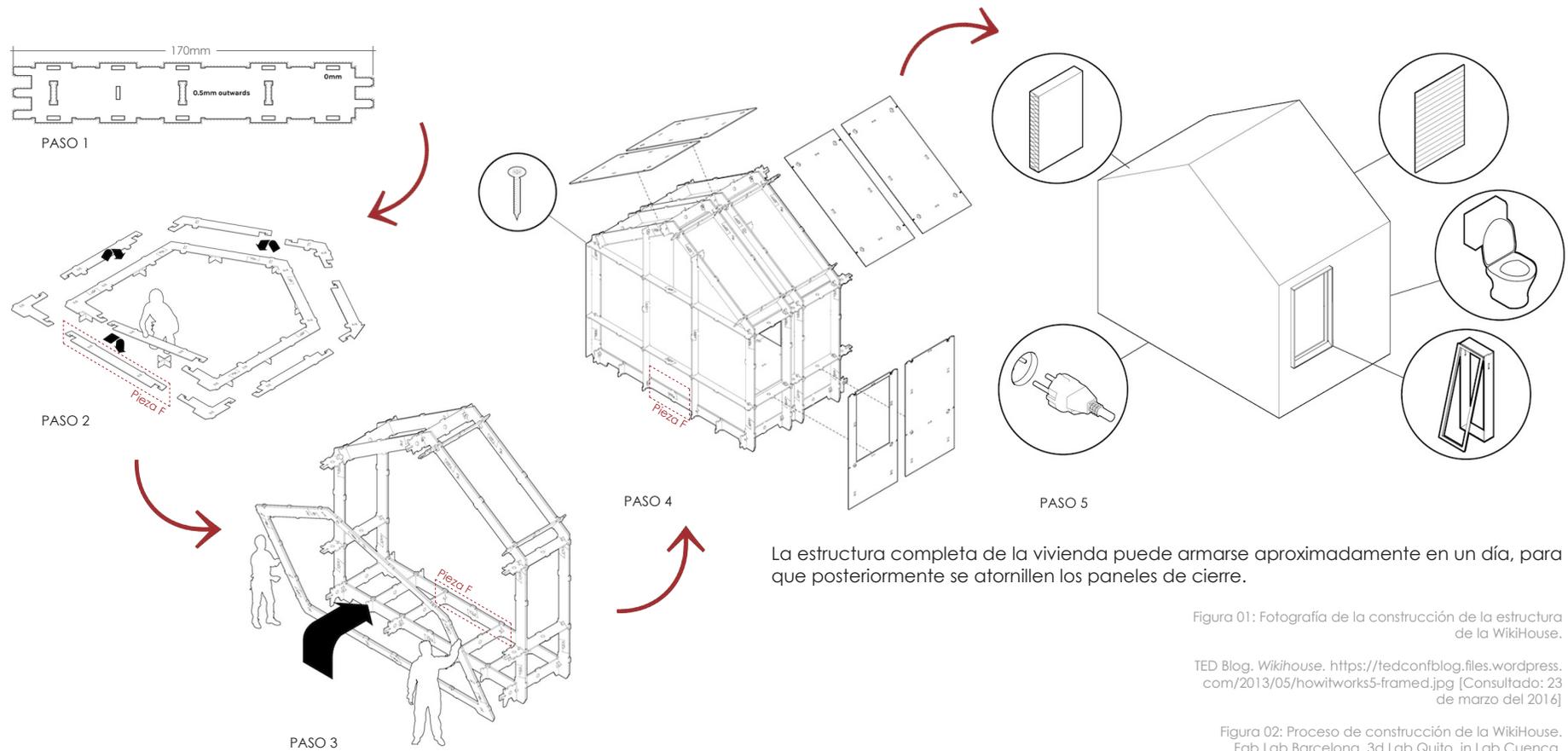


Figura 01: Fotografía de la construcción de la estructura de la WikiHouse.

TED Blog. *Wikihouse*. <https://tedconfblog.files.wordpress.com/2013/05/howitworks5-framed.jpg> [Consultado: 23 de marzo del 2016]

Figura 02: Proceso de construcción de la WikiHouse. Fab Lab Barcelona, 3d Lab Quito, in.Lab Cuenca, Cuenca Ciudad Universitaria, Marzo 2016

2.2.3 Estudio de elementos constituyentes

a. Elementos

Footings (vigas de cimentación): Se llama así a las vigas de madera que conforman la base en donde el conjunto edificado será asentado. Éstas se disponen de manera paralela y a un mismo nivel, y a su vez pueden estar apoyadas en cualquier tipo de cimentación (Figura 03).

Boxframe o costilla: Conjunto de piezas que en unión a otras de la misma clase conforman la estructura de la vivienda. Son cajas de madera que armadas pueden conformar piezas con espesores entre 200 a 250mm.

Los boxframe se ensamblan a partir de cuatro componentes:

- F PIECES (piezas F): Son las que

conforman el marco principal de la boxframe (Figura 04)

- REINFORCERS (refuerzos): Estos refuerzos sirven para rigidizar las esquinas, soportan las fuerzas que atraviesan las uniones de los separadores. En algunos casos es necesario que estos se adhieran a las piezas F y en otros que se añadan sin ningún tipo de pegamento (Figura 04).

- SPACERS (espaciadores): Son las piezas largas y delgadas, ubicadas longitudinalmente. Van entre las piezas F para formar el boxframe (Figura 04).

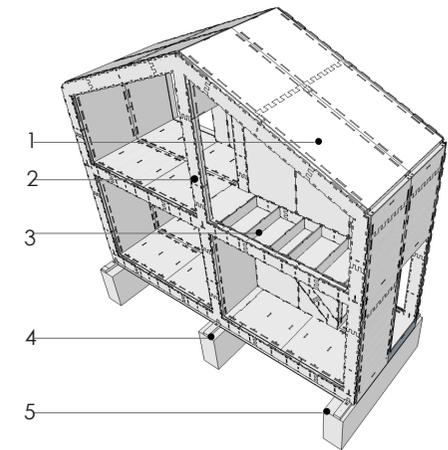
- SPACE INVADER (invasores de espacio): Piezas pequeñas y delgadas, ubicadas transversalmente cada cierto tramo (Figura 04).

Los marcos están conformados por

varios box-frame, éstos se deben unir en una superficie plana, para luego ser levantados y puestos cada 1,20m. El aislamiento de la edificación se ubica al interior de esta estructura durante el proceso de armado.

Connectors (conectores): Existen dos tipos de conectores, primarios y secundarios (o pegs). Se utilizan generalmente en las esquinas y piso. Están ubicados en las paredes entre los marcos, en cada esquina y en los pisos se ubican continuamente, en ambos casos se utilizan para confinar la estructura (Figura 03).

Panels (paneles): Los paneles en este caso no se utilizan solo de cierre, también cumplen la función de rigidizar la estructura. Los mismos que son atornillados cada 150mm. Esta estructura es la que conforma las paredes de la edificación (Figura 05).



03

1. Panel de exterior de cierre (cubierta-pared)
2. Estructura de costilla conformada por **Box-frame**
3. Rigidizadores de Suelo - **Connectors**
4. Vigas de cimentación - **Footings**
5. Cimentación de Hormigón

Figura 03: Componentes estructurales del Sistema WikiHouse.
Gráficos obtenidos del archivo digital facilitado por la WikiHouse Fab Lab Barcelona, 3d Lab Quito, in.Lab Cuenca, Cuenca Ciudad Universitaria, Marzo 2016

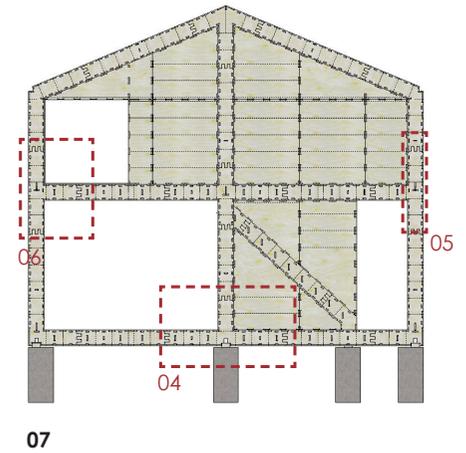
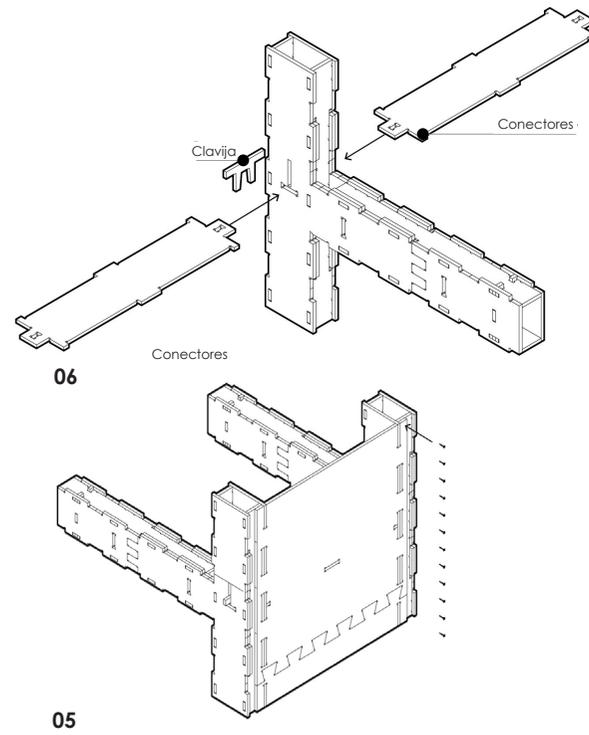
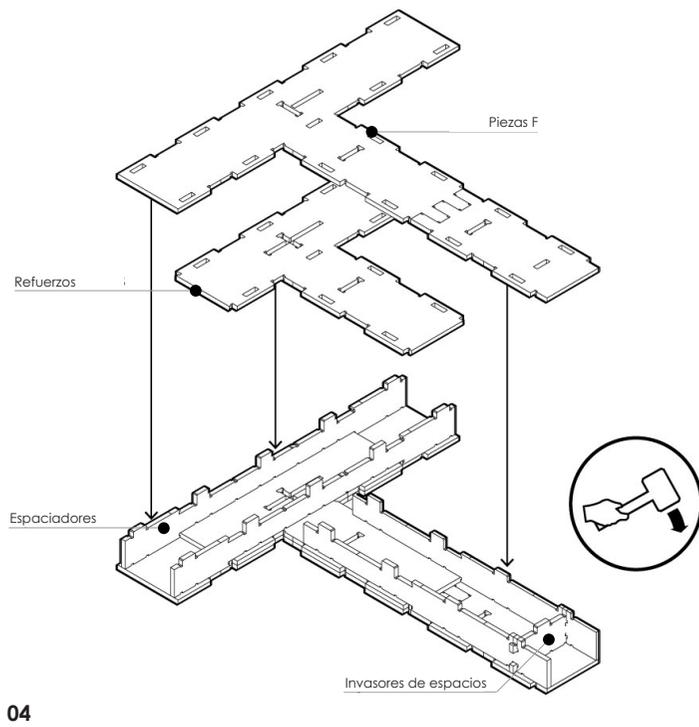


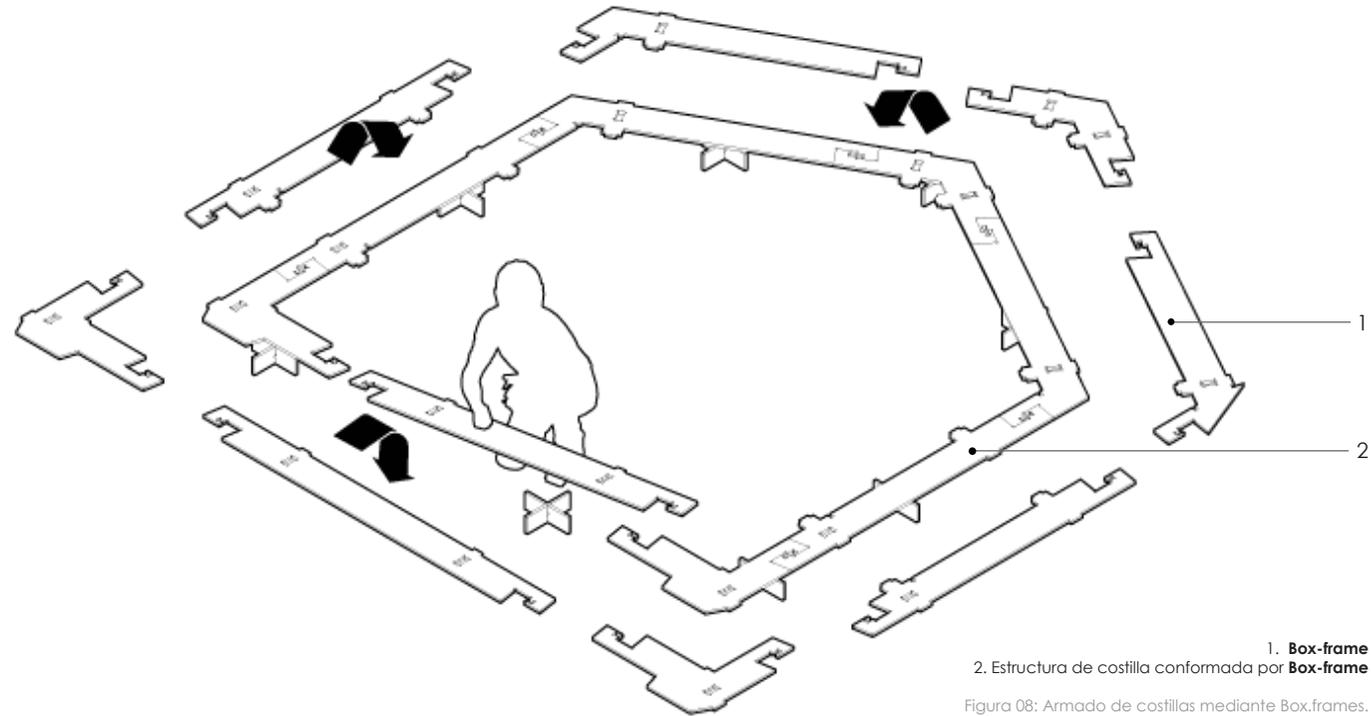
Figura 04: Componentes de una pieza F que conforman una box-frame.
 Figura 05: Panel de exterior de cierre.
 Figura 06: Detalle disposición "conectores".
 Figura 07: Elevación frontal de la vivienda WikiHouse.

Detalles obtenidos del archivo digital facilitado por la WikiHouse, Fab Lab Barcelona, 3d Lab Quito, in.Lab Cuenca, Cuenca Ciudad Universitaria, Marzo 2016

b. Uniones

El sistema de uniones que utiliza ésta edificación se basa principalmente en los costillas de madera a manera de lego, es decir, no utiliza elementos externos de unión a más de simples ensambles entre piezas (Figuras 08, 09,10,11). Las uniones de las piezas son simplemente por empalmes entre los dentajes de madera, o por cuñas y clavijas, y en otras ocasiones es necesario un adhesivo entre las mismas para asegurar su resistencia (esto debe ser analizado y comprobado mediante un ingeniero).

En su mayoría se compone de módulos repetitivos de 30 cm de ancho, todos numerados. Existen 4 tipos de módulos diferentes que se ensamblan para formar el cajón que estructura la edificación, éstos cajones o box-frames se ubican cada 1,20m.



1. **Box-frame**
2. Estructura de costilla conformada por **Box-frame**

Figura 08: Armado de costillas mediante Box.frames.
THENEWSTACK. WikiHouse: Open Source Sustainable House Designs That Anyone Can Build. <http://thenewstack.io/wikihouse-open-source-sustainable-house-designs-that-anyone-can-build/> [Consultado: 15 de Diciembre del 2016]

Las juntas en su mayoría son con dentajes tipo S (Figura 11) y deben ser reforzadas con tornillos.

Como ya se hablo anteriormente los paneles exteriores rigidizan la estructura, y éstos se colocan mediante tornillos.

El sistema tiene unos conectores (pegs), que se usan generalmente para reforzar las uniones de las esquinas, éstos utilizan el mismo material del resto de elementos (láminas de contrachapados); para lograr que las piezas se acoplen adecuadamente se utiliza un mazo (mallet) de la misma madera para facilitar y mejorar el ensamble.

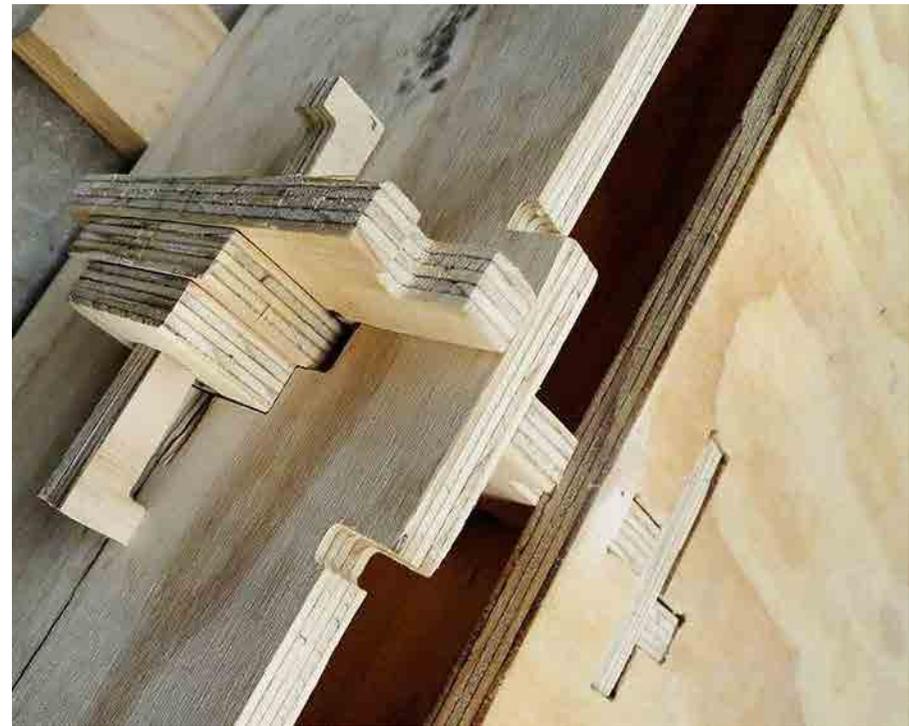
La estructura conformada, en algunos casos, es rellena con poliestireno expandido para tener un mayor control acústico, o a su vez se rellena con materiales como el papel



09



10



11

Figura 09: Unión de cumbre, piezas F. ABOUT ROOFING.COM. Tyvek Supro Breathable Roof Underlay Felt 145gsm. <http://www.aboutroofing.com/supro-breathable-roof-underlay-felt-145gsm-50mtr-x-1-5mtr-50mtr-x-1mtr.html> [Consultado: 23 de marzo del 2016]

Figura 10: Piezas numeradas. Space craft system. DEVELOPING WIKIHOUSE IN NEW ZEALAND. <http://spacecraft.co.nz/structure-development-update/> [Consultado: 22 de marzo del 2016]

periódico reciclado. Sin embargo existe la posibilidad de que hayan varios espacios vacíos al introducir este aislamiento. Por lo que no es el óptimo para la edificación, entonces se debería optar por un aislamiento lo suficientemente compacto.

Como regla general, para un mejor funcionamiento estructural, las articulaciones entre piezas deben estar ubicadas a dos módulos de las esquinas, y nunca en el centro del marco.

La unión con las vigas de cimentación (footings) y la estructura es mediante un perfil de acero, pues ésta unión es una de las principales ya que soporta toda la estructura de la edificación. Las vigas están ancladas a la cimentación de hormigón, o en también a dados de hormigón (Figura 12).

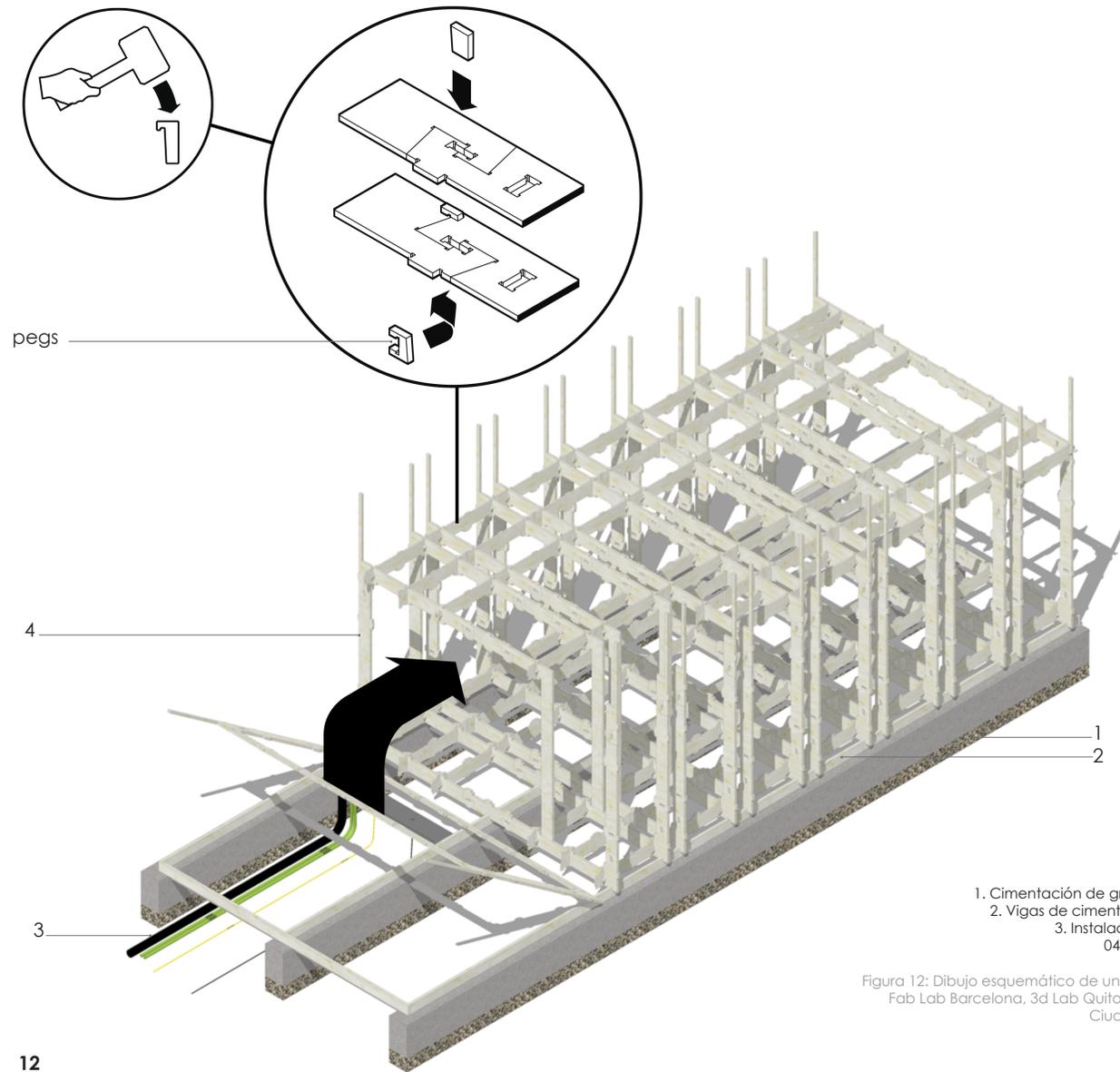
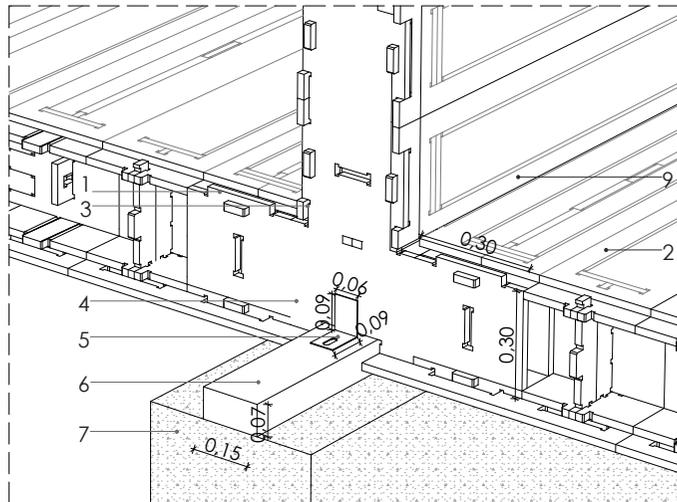
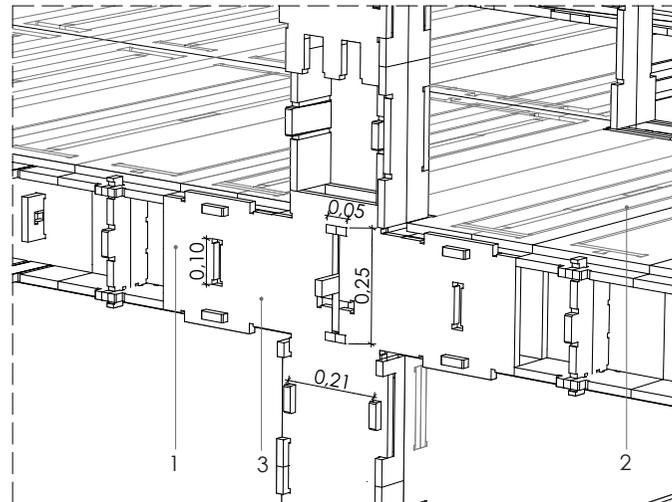


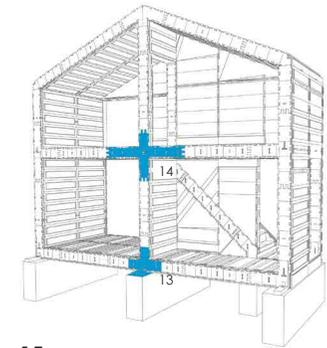
Figura 12: Dibujo esquemático de unión entre piezas.
 Fab Lab Barcelona, 3d Lab Quito, in.Lab Cuenca
 Ciudad Universitaria,
 Marzo2016



13



14



15

1. Rigidizadores transversales
2. Paneles estructurales de piso.
3. Conectores Pegs.
4. Pieza central T invertida
5. Perfil metálico.
6. Vigas de cimentación (footings).
7. Cimentación (dados de hormigón).
8. Pieza longitudinal tipo F, dentaje en S.
9. Paneles laterales rigidizadores.

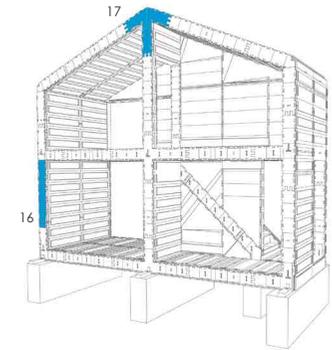
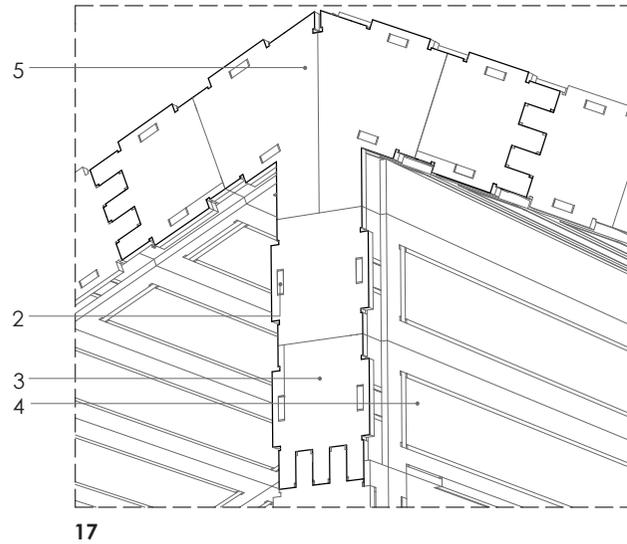
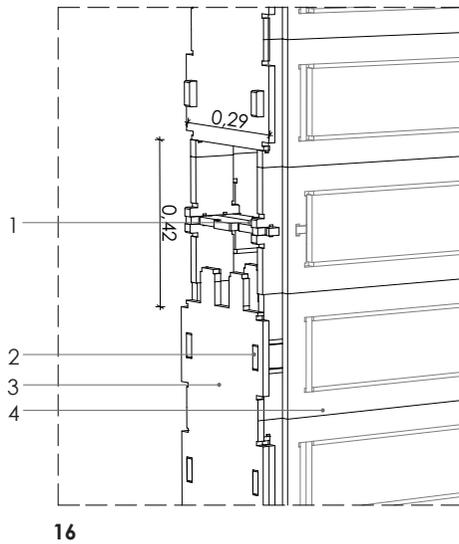
Figura 13: Unión con cimentación.

Figura 14: Unión intermedia del entrepiso.

Figura 15: Perspectiva de la estructura, ubicación de uniones.

Detalles obtenidos del archivo digital facilitado por la Wikihouse Fab Lab Barcelona, 3d Lab Quito, in.Lab Cuenca Ciudad Universitaria.

Marzo 2016



- 18**
1. Rigidizadores transversales
 2. Conectores Pegs
 3. Pieza longitudinal tipo F, dentaje en S
 4. Paneles laterales rigidizadores
 5. Pieza de cumbrero

Figura 16: Gráfico de unión de piezas F laterales (box-frame).

Figura 17: Gráfico de unión de cumbrero.

Figura 18: Perspectiva de la estructura, ubicación de uniones.

Detalles obtenidos del archivo digital facilitado por la Wikihouse Fab Lab Barcelona, 3d Lab Quito, in.Lab Cuenca Ciudad Universitaria. Marzo 2016

c. Características físicas de los materiales

El sistema de construcción de la WikiHouse está diseñado para usarse con cualquier panel estructural de madera certificado, pero usualmente se usa el contrachapado de 1220x2440x18mm con espesores desde 4 a 18mm (1200x2400x18mm en Europa). Se debe evitar que los paneles se encuentren expuestos por tiempos prolongados al sol o a la humedad, ya que, ésto provoca que se expandan o contraigan y se de una deformación desfavorable en sus propiedades estructurales (Figura 19).

En el Ecuador el contrachapado está fabricado con un número impar de chapas de madera colocadas una sobre otra de manera que forman un ángulo recto entre las fibras de dos capas adyacentes. “Las chapas de madera son unidas por un proceso de presión y temperatura, mediante una resina, creando un ensamble



19

Figura 19: Unión de piezas de plywood. Archicake daily. WIKIHOUSE. http://www.mmag.com.tw/ad/20141107-construction_materials-1003 [Consultado: 25 de marzo del 2016]

con características de resistencias iguales o superiores a la madera solida.”¹

Para el recubrimiento exterior se usa una membrana de ventilación que cubre toda la estructura completa, en este caso, se recomienda usar una membrana resistente al agua, ya que brinda eficiencia térmica mediante la reducción de infiltración de aire. Se comercializan en rollos de 1,50x50,00m, la masa por unidad de área es de 145g/m² y la transmisión de vapor de agua es de 0,015m (Figura 20).

En el país las membranas de ventilación que se tienen en el mercado son de PVC para impermeabilización de cubiertas o poliméricas para impermeabilización de cubiertas. Las mismas se oferta en espesores de 1,2 mm, de color gris claro y en presentaciones de rollos de

2,00x25,00m, según especificaciones del catálogo de productos de la línea Sikaplan - Sarnafil membranas flexibles de PVC, Sika.

Para lograr un aislamiento acústico y térmico adecuado se recomienda que se rellene el interior de los cajones estructurales con lana de oveja o productos reciclados como papel periódico reciclado. Así también, existen otros tipos de aislamiento como la fibra de vidrio o el poliestireno expandido que brindan un mejor acoplamiento y evitan espacios de aire (Figura 21).

En cuanto a los elementos que se utilizan para la unión de los paneles exteriores, como ya se mencionó anteriormente se usan tornillos de cuerpo recto, ya sean sin punta o autorroscante (con punta). Es recomendable que la relación del diámetro externo del tornillo respecto



20



21

1. Tablecom tableros y complementos. Plywood. <http://www.tablecom.com.ec/index.php/component/virtuemart/plywood/plywood-detail?Itemid=0> [Consultado: 23 de marzo del 2016]

Figura 20: Membrana de ventilación Tyvek Supro. ABOUT ROOFING.COM. Tyvek Supro Breathable Roof Underlay Felt 145gsm. <http://www.aboutroofing.com/supro-breathable-roof-underlay-felt-145gsm-50mtr-x-1-5mtr-50mtr-x-1mtr.html> [Consultado: 23 de marzo del 2016]

a su diámetro interior sea el más alto posible, es decir de hilo profundo, esto garantiza uniones de mayor resistencia y duración. Se utilizan básicamente tres tipos de tornillos para el ensamble o para reforzar la estructura, los tornillos de acero M8 (rosca de 8mm de grosor), arandelas y tuercas mariposa, los tornillos para madera con una cruceta de 4x50mm y tornillos para madera con una cruceta de 4x30mm (Figuras 22, 23, 24).



22



23



24

Figura 22: Unión con tornillos de acero M8 de refuerzo.
 Figura 23: Unión superior con tornillos de acero M8.
 Figura 24: Detalle de unión entre piezas de madera de la WikiHouse de Nueva Zelanda. Casopea. WikiHouse. <http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/WikiHouse> [Consultado: 23 de marzo del 2016]

2.2.4 Lógicas de trabajo del sistema estructural

a. Elementos constituyentes de la estructura

El sistema WikiHouse fue diseñado para implementarse en Europa, por lo que la edificación estructuralmente no tiene la capacidad de resistir a sismos fuertes.

Los paneles exteriores cumplen dos funciones principales, la de cierre y la de rigidizar en el sentido longitudinal. De esta manera, toda la edificación funciona como un sistema resistente a esfuerzos de compresión principalmente.

La disposición de la forma es importante para tener una mejor transmisión de los esfuerzos. Al ser de dos aguas, los nodos en la planta alta se someten a esfuerzos menores,

ya que las fuerzas se distribuyen uniformemente (Figura 25). Hay que tomar en cuenta que las cargas de viento y lluvia son despreciables, es por eso que no se las toman en cuenta en éste análisis descriptivo.

La finalidad de una estructura es de recibir y transmitir las cargas a las que están sometidas (carga muerta, carga viva, cargas de viento y lluvia) y llevarlos al suelo sin que ninguno de los elementos de toda la edificación se deforme. En el caso del sistema WikiHouse la estructura transmite las cargas principalmente a través de las costillas conformadas por box-frames que están dispuestas cada 1,20m. Los tableros de recubrimiento de suelo son los primeros en recibir las cargas en cuanto a peso vivo, esta carga está distribuida en toda su superficie, y son transmitidas por

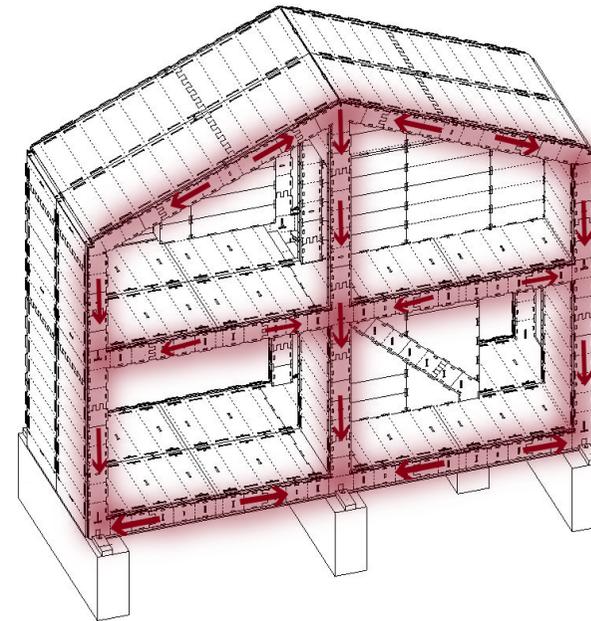


Figura 25: Transmisión de cargas existentes en el sistema estructural de la WikiHouse
Fab Lab Barcelona, 3d Lab Quito, in.Lab Cuenca
Ciudad Universitaria.
Marzo 2016

los box-frames, luego son llevadas a las vigas de cimentación (footings) para que finalmente sean transmitidas a las vigas de hormigón en dónde la estructura se encuentra asentada y a su vez éstos al suelo, hay que tomar en cuenta que el terreno donde se emplaza no puede tener mayor inclinación.

Existen box-frames que están dispuestos horizontalmente los que trabajan a flexión y por otra parte los que están dispuestos verticalmente que trabajan a compresión axial.

En las especificaciones se dicta que se manejen luces máximas que en lo posible vayan entre 3,50 a 4,08m, en el sentido transversal, ya que en el longitudinal siempre se deberá mantener una separación de 1,20m para tener una mejor distribución de cargas para que cada elemento sucesivo no reciba grandes esfuerzos

que puedan deformar la estructura; se dice que no hay limitaciones en cuanto al número de tramos.

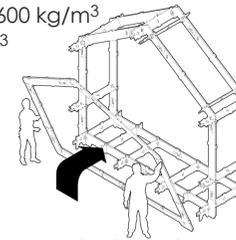
Se debe tener en cuenta que en la actualidad con este sistema estructural se alcanza dos plantas.

b. Estructura

El principio básico de toda estructura es el de concebir la organización de los elementos dispuestos en el espacio de modo que cada una de sus partes conformen una sola unidad, capaz de resistir su peso propio así como cargas vivas, muertas y cargas exteriores. Por lo que en este caso se debe calcular el peso que tiene cada elemento que conforma cada box-frame para calcular el peso de cada marco, incluyendo los tableros transversales, correspondiente al peso propio de la edificación,

Material usado: 18 tableros de plywood (18mm) para dos marcos y tableros transversales.

Peso específico: 600 kg/m³
Volumen: 0,535m³



La fórmula para calcular el peso propio es la siguiente:

$$PE = \frac{PESO}{VOLUMEN}$$

$$600\text{Kg/m}^3 = \frac{PESO}{18(2,44\text{m} \times 1,22\text{m} \times 0,18\text{m})}$$

$$PESO = 600 \times 9,64\text{kg}$$

$$PESO = 5784\text{kg}$$

esto, sumado a la carga viva que dispone la normativa, en este caso aplicando la norma NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción), donde:

$$CARGA\ TOTAL = CARGA\ MUERTA + CARGA + CARGAS\ EXTERNAS$$

Carga viva para residencia: 200kg/cm², (las cargas exteriores son despreciables por lo tanto se asume como 0)

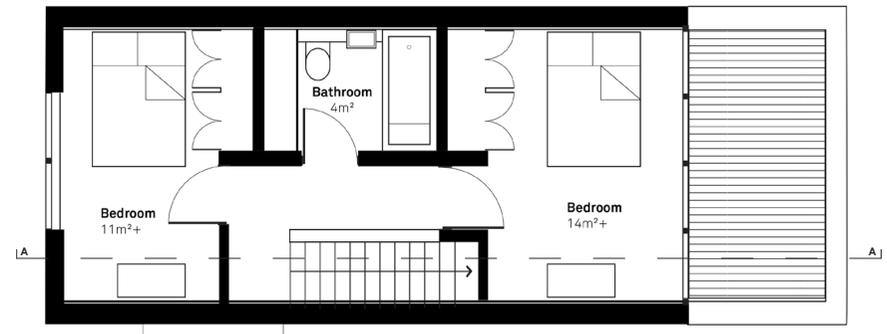
Toda esta carga es distribuida por las box-frames, en donde, a través de cada unión se forma un nodo de conexión y repartición de cargas. Hay que tener en cuenta que para que la edificación no sufra daños se deben asegurar las uniones, ya que de ellas dependen el correcto funcionamiento de todo el elemento.

Los esfuerzos que se provocan en la estructura tanto de compresión como de tracción y flexión, se deberán calcular a través de pruebas en el laboratorio del marco analizado, para obtener datos certeros del funcionamiento adecuado de la estructura de la WikiHouse, por lo que éste es un tema a ser tratado en una investigación posterior por la extensión del mismo.

2.2.5 Planos – imágenes – volumetrías



26



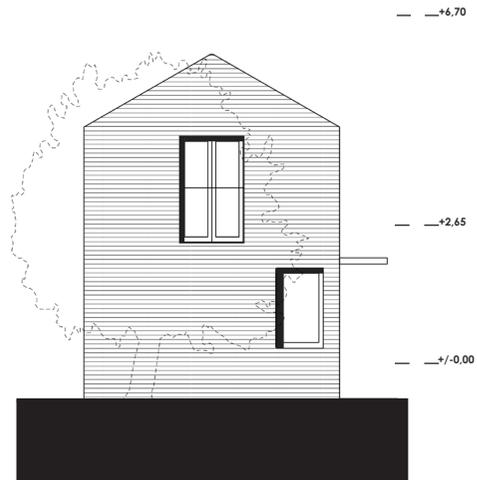
27

Figura 26: Planta baja WikiHouse 50k.
 Figura 27: Planta alta WikiHouse 50k.
 Fab Lab Barcelona, 3d Lab Quito, in.Lab Cuenca
 Ciudad Universitaria.
 Marzo 2016



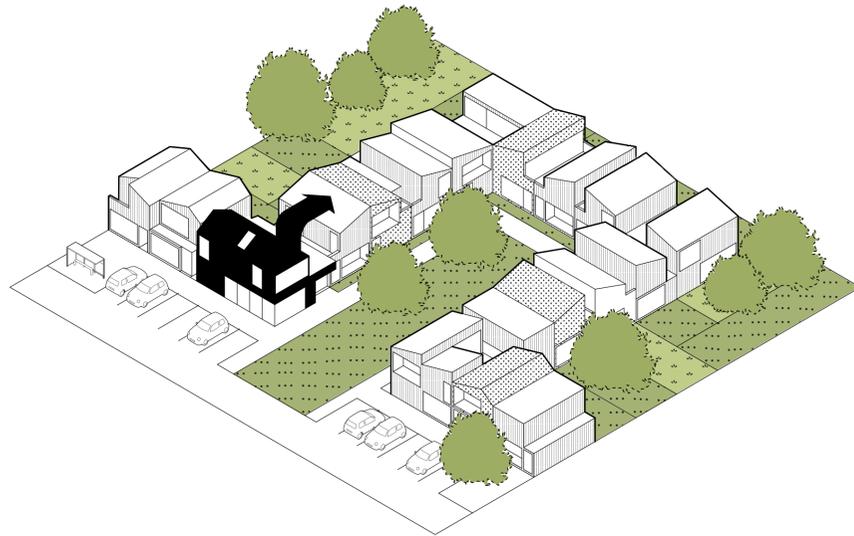
0,25 1,00 1,50 2,50

28



29

Figura 28: Sección Longitudinal A-A WikiHouse.
 Figura 29: Propuesta, conjunto de viviendas WikiHouse.
 Fab Lab Barcelona, 3d Lab Quito, in.Lab Cuenca
 Ciudad Universitaria.
 Marzo 2016



30



31



32



33

Figura 30: Propuesta de urbanización WikiHouse.
Fab Lab Barcelona, 3d Lab Quito, in.Lab Cuenca
Ciudad Universitaria,
Marzo 2016

Figura 31: Perspectiva interior A.

Figura 32: Perspectiva interior B.

Figura 33: Planta baja de WikiHouse

Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero
2016

2.3 Análisis y comparación de ejemplos de sistemas estructurales y caso de estudio

Los referentes analizados en el Capítulo 1 han determinado ciertos parámetros con los cuales se ha facilitado el entendimiento del sistema de costillas empleado en la estructura de los mismos. Así también el caso de estudio analizado con el sistema Wikihouse, replica la lógica del uso de elementos que conforman un sistema de costillas para estructurar la vivienda, es por eso que en los dos capítulos, los referentes analizados han sido abordados desde la función de la estructura de los mismos, tomando en cuenta que los sistemas constructivos aplicados se relacionan íntimamente por su lógica de concepción.

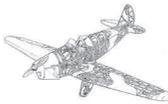
A continuación se describen aspectos importantes que se determinaron a partir del estudio realizado, los mismos que serán aplicados en el diseño posterior.

Referente a los elementos de arriostre,

en la embarcación, en donde se muestra las costillas dispuestas sobre un eje principal como elemento de arriostre llamado quilla que se encuentra sometido a esfuerzos de compresión, al mismo tiempo que el forro exterior que estructura y da forma a la embarcación teniendo tres elementos fundamentales en su estructuración.

Así también, en el caso del monoplano Chilton, en el fuselaje y en las alas, se encuentran las costillas que van unidas a través de largueros, los mismos que soportan mayoritariamente las cargas tanto a flexión como torsión. En el caso de las alas existen dos largueros principales los cuales soportan el esfuerzo ejercido por el tren de aterrizaje, de la misma manera que en la embarcación el forro exterior da la forma y proporciona estabilidad al aeroplano.

Casos de estudio analizados según características del sistemas de costillas aplicados en cada caso

	LANCHA DE 5,2m DE ESLORA	MONOPLANO CHILTON	WIKIHOUSE
CARACTERÍSTICAS			
Materiales	Madera: Roble, Pino de Oregón	Madera: Pino amarillo, planchas contrachapado	Madera: Planchas de contrachapado
Elemento central estructural de costillas	Quilla	Larguero	Box - frames
Seccion de elementos centrales	68x68mm	40x180mm	300x120x18mm
Dimensiones de espesores de costillas	68mm	127mm	18mm
Capacidad de carga viva	93,33 kg/m ²	66,92kg/m ²	200kg/m ²

01

Tabla 01: Casos de estudio analizados según características del sistema de costillas aplicados en cada caso
Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero
2016

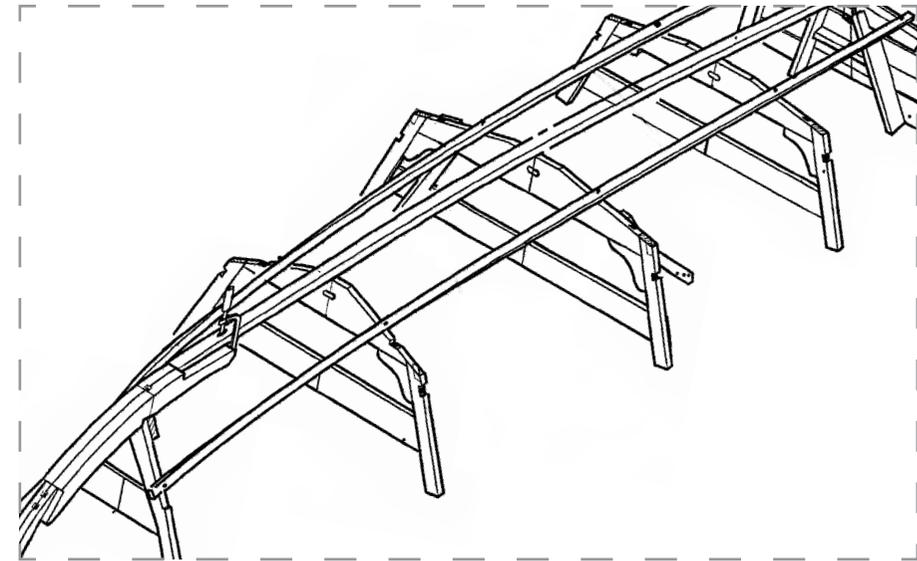
Por último en la edificación WikiHouse, su sistema constructivo basado en elementos de madera unidos a través de ensamblajes, conforman a la vez un sistema de costillas, donde cada costilla compuesta por varios box-frame se dispone cada 1,20m y soportan principalmente esfuerzos de compresión, arriostrados por planchas de contrachapado que forman el recubrimiento lateral de la edificación, teniendo dos elementos principales costillas y cerramiento que estructuran la vivienda, en éste caso se prescinde de largueros ya que el cerramiento exterior suplente la necesidad de éste elemento sin afectar en su estabilidad.

Al analizar cada uno de los elementos que conforman estos sistemas mencionados, se concluye que las secciones utilizadas en los mismos tienen dimensiones laminares, es decir dimensiones mínimas; para las

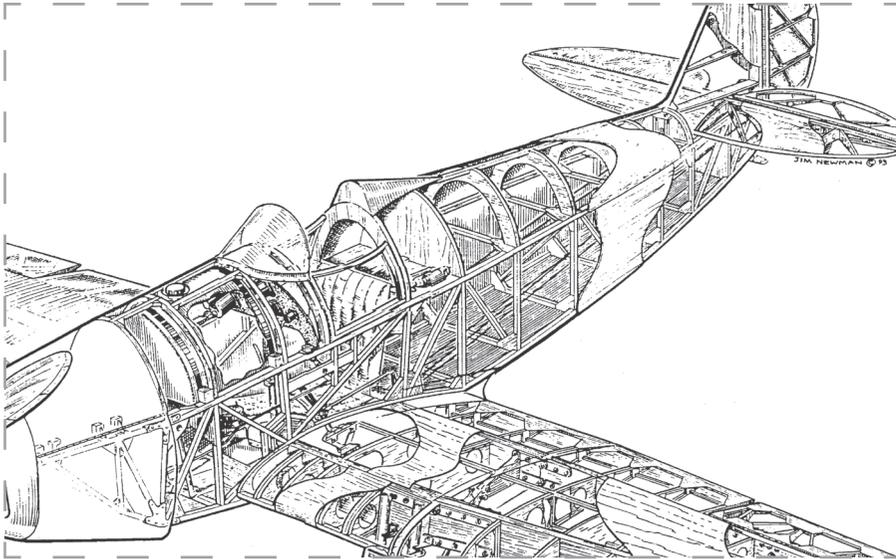
costillas de la embarcación se utiliza una sección de 32x68mm, y para el larguero principal una sección de 68x68mm; para las costillas del fuselaje del monoplano Chilton se utiliza un espesor de 127mm y para el larguero una sección de 40x180mm, por último los elementos que estructuran la vivienda de la WikiHouse son piezas de madera contrachapada de 18mm de espesor por 300mm de ancho aproximadamente.

Sin embargo, se debe hacer una diferenciación en cuanto a cargas que soporta cada estructura. En el caso de la lancha, soporta esfuerzos de las aguas del mar y la carga viva de tripulación que admite 6 personas de aproximadamente 75kg cada uno, es decir, esta diseñada para soportar una capacidad de carga viva de 93,33kg/m². Mientras que el monoplano Chilton diseñado únicamente para un solo tripulante,

SISTEMA DE COSTILLAS LANCHA TIPO

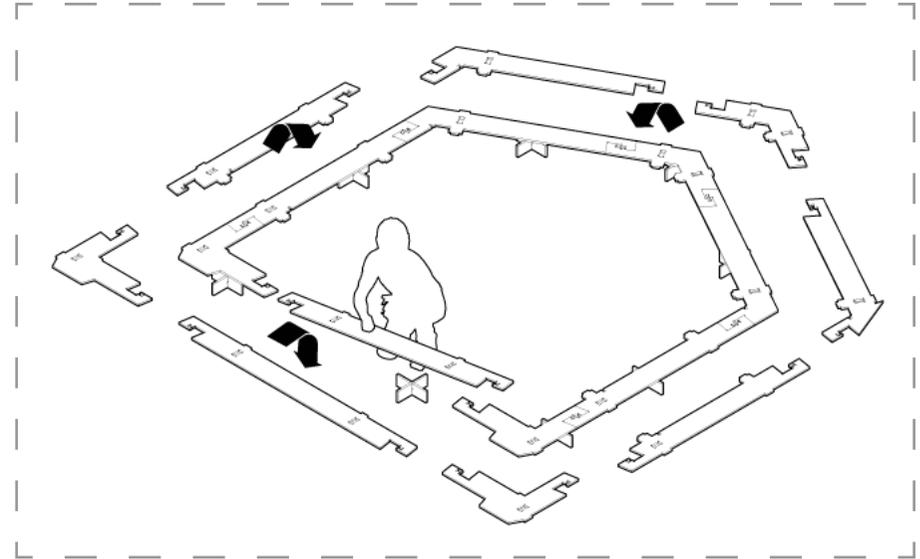


SISTEMA DE COSTILLAS MONOPLANO CHILTON



35

SISTEMA DE COSTILLAS WIKIHOUSE



36

Figura 34: Gráfico detalle conformación de costillas de Lancha tipo.

Figura 35: Gráfico detalle conformación de costillas de Monoplano Chilton.

Figura 36: Gráfico detalle conformación de costillas de la WikiHouse.

Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero
2016

soporta las cargas provocadas por el viento y una capacidad de carga viva de 66,92kg/m².

Finalmente, la vivienda WikiHouse soporta la carga viva considerada para una edificación, que según normativa es de 200Kg/m² (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC), a más del peso propio y cargas exteriores, que son considerados en todos los casos de estudio.

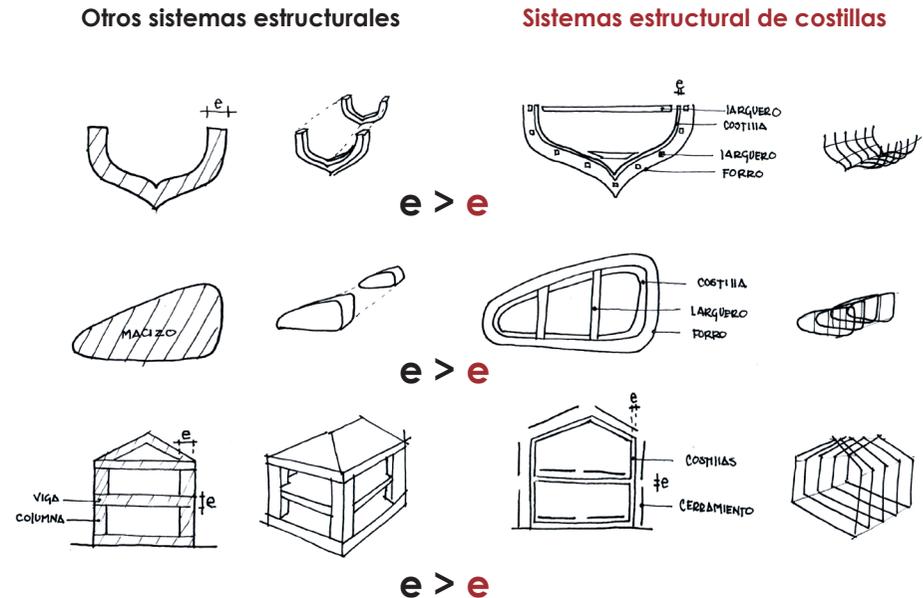
En base a esto, se determina que no se puede realizar una comparación entre estas dimensiones laminares, pues son aplicadas a diferentes esfuerzos y cargas, es por ello la diferencia de dimensiones de las mismas.

No obstante, usan el mismo concepto estructural en cuanto a costillas se trata, sin importar espesores, ni resistencias que la estructura soporta. Las cargas de peso propio y las cargas exteriores se

distribuyen uniformemente mediante esfuerzos normales de compresión y/o tracción.

Se debe tener en cuenta que todos los referentes analizados han empleado en sus uniones de la madera, pegamento y clavos, y en el caso de la WikiHouse además de éstos, pernos para anclar el cerramiento exterior de tablas de contrachapado, guiando la investigación hacia uniones de fácil ejecución.

Es así que el sistema de costillas evidencia la reducción de espesores, siendo un método con grandes aportes de trabajabilidad, ya que si se empleara otros sistemas constructivos a los casos analizados, se debería manejar espesores considerables para soportar las cargas a las que se someten las estructuras, es así como podemos apreciar en el gráfico esquemático realizado (figura 37), donde se evidenció la efectividad del sistema.



37

Figura 37: Gráfico esquemático de comparación de características físicas analizadas en casos de estudio referido al sistema de costillas. Elaboración: Luis Fernández - Cristina Lucero 2016

2.4 Conclusiones

- Existen diversos sistemas constructivos que crean áreas habitables que conllevan un análisis de cada uno de los elementos que lo componen y estructuran, sean éstos referidos a todas las áreas donde se ve inmersa la ingeniería y el ingenio de diseñar y construir, es así que muchos **principios fundamentales** en estos sistemas han sido llevados directamente a la arquitectura, como se muestra en los casos analizados tanto de una embarcación y de una aeronave, donde el concepto de costillas se replica y el mismo es empleado en el caso estudio de la WikiHouse.
- En la conformación de las costillas de la WikiHouse, la uniformidad de los elementos se logra a través de la correcta aplicación de uniones entre piezas estructurantes (box-frame).
- El arriostramiento en el sentido longitudinal en éste sistema, se logra por el empleo de tableros de contrachapado que a su vez conforman el acabado final de cerramiento de la vivienda. En éste caso el cerramiento cumple la función estructural que en la embarcación o en el monoplano suplían los largueros.
- De acuerdo a lo analizado en el caso de estudio WikiHouse la posible prefabricación de los elementos que conforman la estructura agilitan los procesos constructivos de la edificación.
- Las **costillas son un aporte estructural** por que sin importar contra que esfuerzos trabaje o el uso al cual vaya destinado, disminuye la sección

de sus elementos, ya que conforme a lo referido en la Norma Ecuatoriana de Construcción una vivienda con sistema estructural de pórticos necesita de columnas de mínimo 20x20cm, mientras que con la aplicación de dicho sistema estas secciones se reducirían considerablemente.

- El sistema de costillas ha sido poco desarrollado, sin embargo se puede denotar su eficacia al ser aplicado en estructuras que soportan grandes esfuerzos, al mismo tiempo que es un **sistema apropiado** para el empleo de construcciones que estén encaminadas a la **autoconstrucción** por parte de los usuarios, pues la lógica de armado analizada en la WikiHouse es sencilla en comparación de otros métodos empleados, por lo tanto es un sistema constructivo completamente **replicable para vivienda**.



2.5 Bibliografía

TESIS

Crespo Cabillo, I. (2005). Control gráfico de formas y superficies de transición (Doctorado). Universidad Politécnica de Catalunya.

PUBLICACIONES

Wikihouse Fab Lab Barcelona, 3d Lab Quito, in.Lab Cuenca Ciudad Universitaria, Marzo 2016.

PÁGINAS WEB

(2014). Developing wikihouse in New Zealand. Retrieved from Spacecraft system website: <http://spacecraft.co.nz/structure-development-update/>

(2012, November). Wikihouse. Retrieved from BuenasTareas.com website: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Wikihouse/6628435.html>

